

Министерство образования и науки Российской Федерации

**Международная академия наук высшей школы
Санкт-Петербургское отделение**

**Центральный экономико-математический институт РАН
Центр по изучению проблем информатики
Института научной информации по общественным наукам РАН
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова-Ленина**

Санкт-Петербургский государственный экономический университет

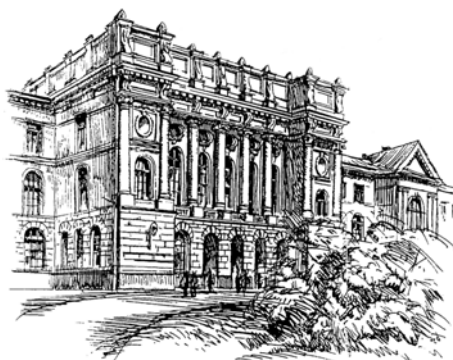
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПЕТРА ВЕЛИКОГО
ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ

**Сборник научных трудов
XX Международной научно-практической конференции**

29 июня – 1 июля 2016 года

Часть 1



**Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2016**

Министерство образования и науки Российской Федерации

Международная академия наук высшей школы
Санкт-Петербургское отделение

Центральный экономико-математический институт РАН
Центр по изучению проблем информатики
Института научной информации по общественным наукам РАН
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова-Ленина
Санкт-Петербургский государственный экономический университет

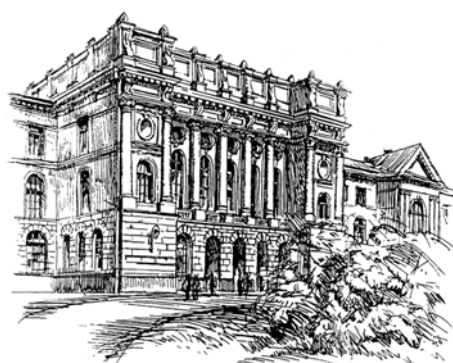
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПЕТРА ВЕЛИКОГО
ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ

Сборник научных трудов
XX Международной научно-практической конференции

29 июня – 1 июля 2016 года

Часть 1



Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2016

УДК 303.732
ББК 32.965я73

Системный анализ в проектировании и управлении: Сборник научных трудов XX Междунар. науч.-практич. конф. Ч. 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 480 с.

В сборник научных трудов научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении», проводимой Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого совместно с Южным Федеральным университетом, Санкт-Петербургским отделением Международной академия наук высшей школы, Центральным экономико-математическим институтом РАН, Центром по изучению проблем информатики Института научной информации по общественным наукам РАН, Санкт-Петербургским государственным электротехническим университетом «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова-Ленина и Санкт-Петербургским государственным экономическим университетом, включены работы ведущих ученых, работающих в области теории систем и системного анализа, из ряда вузов и организаций России, Беларуси, Украины, Австрии, Норвегии, США, Швеции, Франции.

Включенные в сборник статьи сгруппированы по различным теоретическим и прикладным направлениям.

Председатель Оргкомитета конференции – научный руководитель СПбПУ академик РАН, д-р техн. наук, профессор **Ю. С. Васильев**.

Сопредседатели Оргкомитета конференции:

Заместитель председателя СПб отделения МАН ВШ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ **В. Н. Козлов**; член МАН ВШ, д-р экон. наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ **В. Н. Волкова**, д-р экон. наук, профессор ЮФУ, заслуженный работник высшей школы РФ **В. Е. Ланкин**.

Члены Оргкомитета: чл.-корр. РАН, зам. директора, д-р экон. наук, проф. **Г. Б. Клейнер** (ЦЭМИ РАН, г. Москва); чл.-корр. МАН ВШ, д-р экон. наук, проф. **И. А. Брусакова** (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»); член МАН ВШ, д-р техн. наук, проф. **Г. В. Горелова** (ЮФУ, г. Таганрог); д-р экон. наук, проф. **С. В. Гриненко** (ЮФУ, Таганрог); д-р экон. наук, проф. **И. А. Кацко** (Кубанский гос. аграрный университет, г. Краснодар), чл.-корр. МАН ВШ, д-р экон. наук, проф. **Б. Л. Кукор** (СПбГЭУ); член МАНВШ, д-р техн. наук, проф. СПбПУ **Ю. И. Лыпарь** (СПбПУ); чл.-корр. МАН ВШ, д-р техн. наук, проф. СПбПУ **А. Н. Фирсов** (СПбПУ), руководитель Центра по изучению проблем информатики ИНИОН РАН, канд. филос. наук **Ю. Ю. Черный** (Москва); член МАНВШ и МАОР, д-р экон. наук, проф. **Г. П. Чудесова** (СПбИТМО); д-р экон. наук, проф. **В. Н. Юрьев** (СПбПУ) чл.-корр. МАН ВШ, д-р экон. наук, проф. СПбГЭУ **Е. А. Яковлева** (СПбГЭУ)

Зарубежные члены оргкомитета: Professor Østfold University College **J-E. Andreassen** (Норвегия); д-р техн. наук, профессор-сенатор Морской Академии Польши, член комиссии Польской Академии наук по проблемам организации и управления **И. Б. Арефьев** (Польша); Doctor of Economics, Professor of Montclair State University/USA **Leon Bazil** (США); д-р экон. наук, профессор Берлинского института прикладных наук **В. Бобров** (Германия); профессор, эксперт Европейского совета по бизнес-образованию (EQUIS) **В. Djonson** (Великобритания); Speaker's Biographical Information Department of Mathematics and Statistics Curtin University of Technology **V. Rumchev** (Австралия); член МАН ВШ, д-р техн. наук, проф. **Н. Д. Панкратова**, (Украина, Институт проблем системного анализа); Dr. Prof. **В. Fleishman** (США). Dr. Prof. **Reinhold Wessely** (Austria, Viena).

Ученые секретари конференции – чл.-корр. МАН ВШ, канд. техн. наук доцент СПбГПУ **С. В. Широкова**, канд. экон. наук, доцент СПбГПУ **А. В. Логинова**, **И. С. Богомоллова**, канд. экон. наук, доцент ЮФУ (Таганрог).

© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2015

*Посвящается 110-летию
Доктора технических наук, профессора
Федора Евгеньевича Темникова,
Основателя первой школы прикладной
теории систем – Системотехники*

Научно-педагогическая школа «Системный анализ в проектировании и управлении» объединяет ученых, развивающих теорию систем и системного анализа в различных вузах России и др. стран.

В Ленинградского политехнического института (ныне Санкт-Петербургский университет Петра Великого) с 1973 года на факультете технической кибернетики д-р технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ **Анатолий Алексеевич Денисов** начал исследовать проблемы общности процессов в системах различной физической природы и предложил теорию информационного поля и информационный подход к анализу систем.

В 1994 году д-р техн. наук профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Владимир Николаевич Козлов** переименовал возглавляемую им кафедру Технической кибернетики в кафедру «Системный анализ и управление» и открыл совместно с заслуженным деятелем науки и техники РФ, д-ром физ.-мат. наук, профессором, **Владимиром Александровичем Троицким** новое одноименное направление подготовки бакалавров и магистров многоуровневой системы высшего профессионального образования, что сыграло важнейшую роль в становлении в Политехническом университете научно-педагогической школы «Системный анализ в проектировании и управлении».

Школа считает себя преемницей:

школы Московского энергетического института, в котором д-р техн. наук, профессор **Федор Евгеньевич Темников** (1906–1993), создал в 1970 году первую в стране кафедру по направлению теории систем и системных исследований – кафедру Системотехники; ученицей **Ф. Е. Темникова** является один из основателей и научных руководителей школы «Системный анализ в проектировании и управлении» в Политехническом доктор экономических, кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ **Виолетта Николаевна Волкова**, работающая в Политехническом с 1980 года;

школы Ленинградского политехнического института (ЛПИ), в котором с 1973 года на факультете технической кибернетики **Анатолий Алексеевич Денисов** (1934–2010) исследовал общность процессов в системах различной физической природы и развивал информационный подход к анализу систем.

Научные результаты школы представлены в ежегодно выпускаемых сборниках научных трудов, в коллективных учебниках и монографиях, подготовленных участниками этих конференций.

В настоящее время это направление развивается как научное направление подготовки бакалавров и магистров на кафедре «Системный анализ в проектировании и управлении» Института компьютерных наук и технологий СПбПУ (зав. кафедрой в н. в. – канд. физ.-мат. наук, доцент **Артем Александрович Ефремов**).

Проводимые ежегодно конференции способствуют развитию идей теории систем и системного анализа и их использованию в учебных планах и программах не только нашего вуза, но и других вузов страны. В 2015–2016 гг. по данным РИНЦ **В. Н. Волкова** входит в Топ-100 самых цитируемых ученых по направлению «Информатика» (28-я в списке, более 1800 цитирований), наиболее часто цитируется подготовленный ею совместно с **А. А. Денисовым** учебник, «Теория систем и системный анализ», изданный впервые в 1997 г. в Политехническом и неоднократно корректируемый и переиздаваемый в издательстве «Высшая школа» и «Юрайт», этот учебник удостоен знака «Выбор вузов».

Важным достоинством школы является развитие методологических основ и терминологического аппарата теории систем и системного анализа на основе широкого спектра математических методов. Большое влияние на реализацию и распространение этой концепции оказывают учебные пособия кафедры «Системный анализ и управление», и в частности, учебное пособие **В. Н. Козлова** «Системный анализ, оптимизация и принятие решений» (М.: Изд-во «Проспект», 2010) и учебник «Моделирование систем» (под ред. **В. Н. Волковой** и **В. Н. Козлова**), изданный в 2013 г. и переизданный уже в этом году в издательстве «Юрайт». В числе авторов учебника ученые других вузов, принимающие активное участие в ежегодно проводимых школой конференциях «Системный анализ в проектировании и управлении».

Ученики научной школы успешно применяют полученные знания и теоретические результаты в своей практической деятельности. И я надеюсь, что это приносит им удовлетворение. Школа выполняет важную миссию по подготовке научных кадров высшей квалификации. За период ее становления и функционирования защищено по тематике школы и смежным направлениям 13 докторских и более 50 кандидатских диссертаций.

Председатель Оргкомитета конференции
Академик РАН
Ю. С. Васильев

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 303.732

Козлов Владимир Николаевич,
д-р техн. наук, профессор
Волкова Виолетта Николаевна,
д-р экон. наук, профессор

СТАНОВЛЕНИЕ, РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ СИСТЕМ

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Россия, Санкт-Петербург, (812) 297–14–40
saiu@ftk.spbstu.ru

Аннотация. Излагается краткая история становления, развития и современного состояния теории систем и системного анализа как прикладной теории систем.

Ключевые слова: системный анализ, теория систем, управление

Vladimir N. Kozlov,
Doctor of Technical Sciences, Professor
Violetta N. Volkova,
Dr. of Economics, Professor

FORMATION, DEVELOPMENT AND PRESENT STATE OF THE SYSTEMS THEORY

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Russia. St. Petersburg, (812) 297–14–40
saiu@ftk.spbstu.ru

Abstract. We present a brief history of the formation, development and modern state of the theory of systems and system analysis as an applied systems theory.

Keywords: system analysis, system theory, control.

0. Введение

В конце XIX века по мере развития производственных процессов, науки и технологий, исследований функционирования и развития живых организмов стало резко увеличиваться число комплексных проектов и проблем, требующих участия *специалистов различных областей знаний*. Появились *проблемы, которые не решаются с помощью традиционных математических методов*, усложнился эксперимент, доказывающий адекватность формальной математической модели, и все большее место

стал занимать собственно *процесс постановки задачи*. Проявился интерес к системным представлениям как к *средству постановки задач с большой начальной неопределенностью*.

Исследование процессов постановки задач, процесса разработки сложных проектов позволили обратить внимание на особую роль *человека*, который является носителем *целостного восприятия, сохранения целостности при расчленении проблемы*, при распределении работ, носителем системы ценностей, критериев принятия решения. Для того чтобы организовать процесс проектирования, начали создаваться системы организации проектирования, системы управления разработками и т. п. Понятие «система», ранее употреблявшееся в обыденном смысле, превратилось в специальную общенаучную категорию, начали появляться обобщающие научные направления, которые исторически иногда возникали параллельно на разной прикладной или теоретической основе и носили различные наименования.

2. Междисциплинарные направления XX века

К XX в. сложилось две формы культуры – естественнонаучная и гуманитарная, различающиеся методами познания. Гуманитарное мышление формирует *образ, целостность*, связано с определением *смысла, назначения, целесообразности*, цели. Вершиной гуманитарного знания традиционно считается *философия*. Формальное мышление обеспечивает отображение элементов и законов их взаимодействия, и традиционно базируется на *математике*.

В XX веке была осознана необходимость интеграции гуманитарного и формального знания при решении прикладных задач, и между философией и математикой появился спектр дисциплин, которые сочетают средства гуманитарного познания, помогающего отобразить содержание исследуемого объекта, и формальных методов, отражающих изученные законы строения и функционирования объектов и помогающих в развитии познания в обозримые сроки.

Роль интеграции наук, организации взаимосвязей и взаимодействия между различными научными направлениями во все времена выполняла *философия* – наука наук, которая одновременно являлась и источником возникновения ряда научных направлений. Однако философская терминология не всегда легко преломляется к практической деятельности. Поэтому потребности практики почти одновременно со становлением теории систем привели к возникновению ряда направлений, в которых стало уделяться внимание средствам постановки задачи.

Важный вклад в становление системных представлений внес в начале XIX века *А. А. Богданов (Малиновский)*, предложивший всеобщую

организационную науку *тектологию*¹, который сделал попытку найти и обобщить организационные законы, проявления

которых прослеживаются на неорганическом, органическом, психическом, социальном, культурном и пр. уровнях.

Это научное направление используется в настоящее время в большей мере как основа теории организации.

Затем возникло междисциплинарное направление «*исследование операций*» (англ. *operations research*, инициированная исследованиями в военной сфере и занимающаяся постановкой задач с учетом многокритериальности, отбора релевантных факторов, разработкой вариантов решения², нахождением оптимальных решений на основе использования различных методов математического моделирования³, статистического моделирования⁴ и различных эвристических подходов в различных областях человеческой деятельности.

В конце 1943–1944 гг. идея общности процессов в различных средах и науках появилась на объединенном совещании инженеров, физиологов и математиков, организованном *Н. Винером* совместно с *Дж. фон Нейманом* в Принстоне^{6,29}, на котором была предпринята попытка создания единой для различных наук терминологии. Фактически можно считать, что на этом совещании формировались идеи прикладных системных представлений. Но выбран был термин «*кибернетика*», который использовался в Древней Греции *Платоном* (χρητηνρεβυ – кормчий, рулевой), введен в научный оборот *А. М. Ампером*⁵, который в своём фундаментальном труде «Опыт о философии наук» (1834–1843) определил кибернетику как науку об управлении государством. В современном понимании – связан с именем *Н. Винера* и стал сенсацией после публикации его книги в 1948 г. одновременно в Париже и американском Кембридже^{6,с.55}. В становлении и практическое применение кибернетики в СССР большую роль сыграли академик *А. И. Берг*, создавший и возгла-

¹Богданов А. А. Всеобщая организационная наука: Тектология. В 2-х кн. – М.: 1905 – 1924. Богданов А. А. Тектология: Всеобщая организационная наука. В 2-х книгах. Москва, «Экономика», 1989.

²Морз Ф., Кимбелл Дж. Методы исследования операций. — М.: Советское радио, 1956.

³Акофф Р. Л., Сасиени М. Методы исследования операций / Пер. с англ.— М.: Мир, 1971.— 536 с. (см. также другие работы Р. Акоффа, Р. Беллмана, Дж. Данцига, Т. Саати, Р. Чермена, А. Кофмана и др.).

⁴Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. — М.: Наука, Главная редакция физ.-мат. лит., 1980.

⁵Поваров Г. Н. Ампер и кибернетика. – М.: Советское радио, 1977. – С. 55.

⁶Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине / пер. с англ. И. В. Соловьева под ред. Г. Н. Поварова. М.: Советское радио, 1958. – 214 с. Wiener N. Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine. The Technology Press and John Wiley & Sons, Inc., New York – Hermann et Cie, Paris, 1948.

вивший в 1959 Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика» при Президиуме АН СССР, *В. В. Солодовников*, инициировавший издание серии инженерных монографий по технической кибернетике, вышедших под его редакцией.

В 1957 г. вышла первая в мире книга по системной инженерии (*Systems Engineering*) *Г. Х. Гуда* и *Р. Э. Макола* (перевод вышел в СССР В 1961 г.⁷). Авторы рассматривали системную инженерию как дисциплину, дающую ключ к разработке крупных, сложных, высокоавтоматизированных технических систем, впервые описав основные признаки систем большого масштаба и указав на то, что при их создании широко используются коллективные методы работы и возникают проблемы не только технического, но и организационно-управленческого характера. При издании книги в СССР в редакции издательства «Советское радио» не понравился буквальный перевод «системная инженерия» или «инженерия систем», и был изобретён термин «*системотехника*». Автором слова был профессор Московского энергетического института *Ф. Е. Темников*⁸. В 1969 г. в МЭИ была создана первая в СССР кафедра системотехники (зав. кафедрой *Ф. Е. Темников*). Постепенно подобные кафедры возникли во многих технических вузах страны, и к середине 1980-х годов их было более тридцати.

В 1960-1970-е годы при постановке и исследовании сложных проблем проектирования и управления термин системотехника получил довольно широкое распространение как обобщающая наука о системах, чему способствовало издание монографии и справочника по системотехнике⁹ и монографии *А. Д. Холла*¹⁰. Однако в последующем, поскольку в термине в явном виде звучала «техника», термин стал использоваться в основном в приложениях системных методов к техническим направлениям и утратил первоначальный смысл междисциплинарного подхода.

Когда термин системотехника стал использоваться в основном к техническим приложениям был предложен термин **системология**. (от др.-греч. σύνθεσις – целое, составленное из частей; λόγος – «слово», «мысль», «смысл», «понятие»). Термин предложен в 1965 г. *И. Б. Новиком* и широко использовался *Б. С. Флейшманом* [17],

⁷ Гуд Г. Х., Макол Р. Э. Системотехника. Введение в проектирование больших систем, пер. с англ., М., 1962 (Goode, Harry H., Robert E. Machol. System Engineering: An Introduction to the Design of Large-scale Systems, 1957).

⁸ Волкова В. Н. Из истории теории систем и системного анализа. – СПб.: Изд-во Изд-во СПбГПУ, 2004. 288 с.

⁹ Справочник по системотехнике / Под ред. Р. Макоаа; пер. с англ. под ред. А. В. Шиллейко. – М.: «Сов. Радио», 1970. – 688 с.

¹⁰ Холл А. Опыт методологии для системотехники. – М.: Сов. радио, 1975. – 448 с. A Methodology for System Engineering by Arthur D. Hall. – New York, 1965)..

В. Т. Куликом¹¹, В. В. Дружининым и Д. С. Конторовым¹² для исследования систем как технической, так и биологической природы, и в последующем для исследования лингвистических аспектов кибернетики и теории систем¹³.

3. Теория систем Л. фон Берталанфи

Понятие «система» и «теория систем» стали широко использоваться в различных областях знаний после того, как стали известны работы Л. фон Берталанфи [2] и были изданы сборники работ по теории систем [3, 4]. Основной идеей общей теории систем, предложенной Берталанфи, является *организмический* подход к биологическим и социальным объектам и явлениям, в соответствии с которым исследование частей таких объектов не дает возможность понять свойства целого (в последующем эта закономерность названа закономерностью эмерджентности или целостности) и введение понятия «открытые системы» – системы, постоянно обменивающиеся веществом, энергией и информацией с внешней средой. Эта идея была впервые высказана Берталанфи в 1937 г. на семинаре по философии в Чикагском университете. Однако первые его публикации на эту тему появились только после Второй мировой войны¹⁴.

Важное отличие открытых систем от закрытых по Берталанфи состоит в том, что при соответствующих условиях в открытых системах *«возможен ввод негэнтропии. Поэтому подобные системы могут сохранять свой высокий уровень и даже развиваться в сторону увеличения порядка и сложности, что действительно является одной из наиболее важных особенностей жизненных процессов»* (см. Bertalanffy L. von. General System Theory // “General System”, vol. 1. 1956. p. 1–10) [4, с. 42]).

Таким образом, Л. фон Берталанфи фактически открыл новую закономерность, противодействующую классическому второму закону термодинамики, которая проявляется на всех уровнях развития материи,

¹¹Кулик В. Т. Современная теория организации систем – системология. – Киев: Знание, 1971. – 24 с.

¹²Дружинин В. В., Конторов Д. С. Проблемы системологии. Проблемы теории сложных систем / С предисловием В. М. Глушкова. — М.: Советское радио, 1976.

¹³Мельников Г. П. Системология и языковые аспекты кибернетики. — М.: Советское радио, 1978. — 368 с.

¹⁴Bertalanffy L. von. Vom Sinn und der Einheit der Wissenschaften // “Der Student”, Wien, vol 2, 1947, № 7 – 8. Bertalanffy L. von. Zu einer allgemeinen Systemlehre // “Biologia Generalis”, vol. 19, 1949, S. 114-129. Bertalanffy L. von. An Outline of General System Theory // British Journal for the Philosophy of Science”, vol 1, No 2? Aug, 1950, p. 134–165. Bertalanffy L. von. General System Theory // “General System”, vol. 1. 1956. p. 1–10. Bertalanffy L. von. General System Theory – a Critical Review // General System, vol. VII, 1962, p. 1–17. Берталанфи Л. фон. История и статус общей теории систем // Системные исследования: Ежегодник, 1972. – М.: Наука, 1973. – С. 20–37.

но особенно становится важной для введенного им понятия «открытая система», которое является важным классом прикладной теории систем.

4. Системный анализ

Поскольку теорию систем исходно и до сих пор в библиотечных классификациях относят к философским наукам, для прикладных исследований стали возникать другие термины. Вначале применяли термин «системный подход». В последующем и в настоящее время прикладным направлением теории систем считается «*системный анализ*», который впервые появился в работах корпорации RAND в связи с задачами военного управления в 1948 г.¹⁵ в отечественной литературе получил распространение после перевода книги *С. Оптнера* "Системный анализ деловых и промышленных проблем"¹⁶, и в 1980-е гг. был включен в учебные планы инженерных специальностей заместителем Министра высшего и среднего специального образования того периода *Ф. И. Перегудовым* [22].

Термин «системный анализ» используется в публикациях неоднозначно. В одних работах системный анализ определяется как «*приложение системных концепций к функциям управления, связанным с планированием*»^{17, с.38} или даже со стратегическим планированием и целевой стадией планирования. В других – термин "системный анализ" употребляется как синоним термина "анализ систем"¹⁸ или "системное управление организацией"¹⁹. Однако, независимо от того, применяется термин "системный анализ" только к формированию целей и функций системы, к планированию, или к исследованию системы в целом, включая и цели, и организационную структуру, работы этого направления отличаются от других направлений системных исследований тем, что в них предлагается *методика* проведения системного исследования, организации процесса принятия решения, делается попытка предложить подходы к выполнению этапов методики в конкретных условиях. И второе важное отличие – работа с *целями* (их исследование, формулирование, структуризация или декомпозиция). Некоторые авторы даже в определении системного анализа подчеркивают, что это методология исследования целенаправленных систем [14]. При этом разработка методики и выбор методов и приемов выполнения ее этапов базируется на использовании понятий и закономерностей теории систем.

¹⁵ *Лопухин М. М.* ПАТТЕРН – метод планирования и прогнозирования научных работ. М.: Сов. радио, 1971. 160 с

¹⁶ *Оптнер С.* Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. – М.: Сов. радио, 1969. – 216 с.

¹⁷ *Клиланд Д., Кинг В.* Системный анализ и целевое управление. – М.: Сов. радио, 1979. – 279 с.

¹⁸ *Квейд Э.* Анализ сложных систем. – М.: Сов. радио, 1969. – 520 с.

¹⁹ *Янг С.* Системное управление организацией. – М.: Сов. радио, 1972. – 455 с.

5. Системные исследования

Таким образом, между философией и математикой сложился спектр прикладных междисциплинарных научных направлений. В табл. 1 приведены основные направления, сложившиеся в нашей стране.

Таблица 1.

Направления	Дата становления	Наиболее известные ученые
Философия		
Тектология	903 – 1924 гг	А.А. Богданов (Малиновский)
Теория систем и системный подход	1930 – 1950 гг. В СССР – с 1960-х гг.	Л. фон Берталанфи, К. Боулдинг, Дж. ван Гиг, М. Месарович; В.Г.Афанасьев, И.В.Блауберг, В.Н.Садовский, Э.Г.Юдин В.С.Тюхтин, А.И. Уёмов, С.П. Никаноров, Ю.А.Урманцев и др.
Системология	1970-е гг.	В.Т.Кулик, И.Б.Новик, Б.С.Флейшман, Б.Ф. Фомин и др.
Системный анализ (прикладная теория систем)	1965 г. С 1970 гг. .	Корпорация RAND, Э. Квейд, В. Кинг, Д. Клиланд, С. Оптнер, С. Янг, Э. Янч; Е.П. Голубков, Н.Н. Моисеев, Ю.И. Черняк, Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко, В.Н. Сагатовский, В.З.Ямпольский, С.А.Валуев, В.Н. Волкова, А.А. Денисов, В.Н. Козлов, Д.Н. Колесников, Ю.И. Дегтярев, А.А. Емельянов и др.
Системотехника System Engineering	1962 г.	Г. Гуд, Р. Макол, Ф.Е. Темников, В.В. Дружинин, Д.С. Конторов, В.И. Николаев, А. Холл, Г.Честнат
Синергетика	1960-е гг. .	И. Пригожин, И. Стенгерс, Г. Хакен, А.П. Руденко и др.
Кибернетика	1934 –1948 гг.	Н. Винер, У.Р.Эшби; А.И. Берг, Л.П. Крайзмер, Н.Е. Кобринский, Л.Т. Кузин, Е.З. Майминас, Л.А. Растрингин и др.
Исследование операций	60-е гг. XX в.	Р. Акофф, Е.С. Вентцель, Т. Саати, М. Сасиени, У. Черчмен, Ф.Эмери и др.
Специальные дисциплины		

Эти направления нередко объединяют общим термином «системные исследования». С 1969 г. стал издаваться ежегодник с таким названием [7].

Во многих работах системный анализ ориентирован на использование математических методов [8, 16, 31 и др.]. Н. Н. Моисеев связывает системный анализ с принятием решений с помощью математических ме-

тодов, но в то же время считает, что «системный анализ – это обширная синтетическая дисциплина, включающая в себя целый ряд разделов, носящих характер самостоятельных научных дисциплин» [16, с. 7].

В учебных программах, ориентированных на приложение теории систем к конкретным задачам принятия решений нередко термин «системный анализ» трактуют как прикладная теория систем и называют дисциплины и соответствующие им учебники «Теория систем и системный анализ» [24, 32 и др.].

Параллельно с направлениями, развивающими общую теорию систем, развивалась синергетика (от греч. synergetikos) – совместный, согласованно действующий. Термин ввел немецкий физик Г. Хакен при исследовании механизмов кооперативных процессов в лазере. Однако еще раньше, в 1960-е годы. И. Пригожин²⁰ пришел к идеям синергетики (хотя вначале этот термин не использовал) из анализа химических реакций. Теоретической основой его моделей является нелинейная термодинамика. Для прикладной теории систем значимым является понятие синергетического эффекта, синергизма как варианта закономерности эмерджентности.

В 1990-е гг. английскими учеными Р. Фладом и М. Джексоном²¹ была предложена другая классификация прикладных направлений системных исследований, которая позволяет проследить историю развития системных представлений, ориентированных на решение конкретных прикладных проблем, возникающих в социальной сфере и менеджменте.

Классификация сформирована как двухмерная. В ней принято разделение систем (табл. 2):

1) на простые и сложные;

2) по виду участия элементов и подсистем (индивидов, групп) в социальной системе:

- 1. Унитаризм – высокая степень согласия относительно целей, ценностей, установок. Все принимают участие в принятии решений.
- 2. Плюрализм – интересы и ценности могут различаться, но согласие все же достижимо за счет компромиссов и выработки приемлемых решений, принимаемых всеми участниками.
- 3. Принуждение – интересы, цели, ценности и установки различны, что нередко приводит к конфликтам, в результате чего одна часть системы навязывает свои решения другой части.

²⁰ Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986. 431 с.

²¹ Flood R. L., Jackson M. C. Creative Problem Solving. Total Systems Intervention. Chichester: Wiley, 1991. Плотинский Ю. М. Модели социальных процессов: Учебное пособие для высших учебных заведений. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Логос, 2001.-296 с.

Основные методологии системного анализа

Системы	Унитаризм	Плюрализм	Принуждение
Простые	1. Исследование операций. Системотехника	3. Черчмен У. Методология стратегических предположений	5. Ульрих В. Методология критических систем
Сложные	2. Бир С. Методология жизнеспособных систем	4. Акофф Р. Методология интерактивного планирования Чекленд П. Методология мягких систем	6.

6. Отечественные концепции теории систем

В СССР теория систем стала развиваться после издания первых сборников переводов [3. 4], содержащих статьи ряда ученых, имена которых стали в последующем значимыми в теории систем (*К. Боулдинг*²², *У. Росс Эшби*²³, *Р. Л Акофф*²⁴, *М. Месарович*²⁵, *А. Д. Холл*²⁶ и др.), ра-

²² Боулдинг К. Общая теория систем скелет науки// (*Boulding K. General System Theory – the Skeleton of Science / General System, vol. 1, 1956, p. 11÷17*);

²³ Эшби У. Росс. Общая теория систем как новая научная дисциплина // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 125-142. Эшби У. Р. Теоретико-множественный подход к механизму и гомеостазису // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 398-441. Эшби У. Р. Принципы самоорганизации // В кн.: Принципы самоорганизации. Пер. с англ. Под ред. и с предисловием д-ра техн. наук А. Я. Лернера, М.: «Мир», 1966, сс.314-343. Эшби У. Р. Введение в кибернетику. – М.: ИЛ, 1959. – 432 с. Эшби У. Р. Введение в кибернетику: пер. с англ. / Под. ред. В. А. Успенского. Предисл. А. Н. Колмогорова. Изд. 2-е, стереотипное. — М.: «КомКнига», 2005.

²⁴ Акофф Р. Л. Системы, организации и междисциплинарные исследования // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 143-165. Акофф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах / Перевод с англ. под. ред. И. А. Ушакова. – М: Сов. радио, 1974. – 272 с.

²⁵ Месарович М. Общая теория систем и ее математические основы // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 185-180. Месарович М., Такаха Я.; Общая теория систем: математические основы / Пер. с англ. Э. Л. Нанпельбаума; под ред. В. С. Емельянова. — М.: «Мир», 1978; Месарович М., Мако Д., Такаха И. Теория иерархических многоуровневых систем. Пер. с англ. Под ред. И. Ф. Шахнова. Предисл. чл.-кор. АН СССР Г. С. Поспелова. М.: «Мир», 1973; Месарович М. Теория систем и биология: точка зрения теоретика. В кн.: Системные исследования. Ежегодник. — М.: «Наука», 1970. — 208с., сс.137-163

²⁶ Холл А. Д. и Фейджин Р. Е. Определение понятия системы // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 252-282.

боты которых в последующем были переведены и опубликованы в СССР.

Большую роль в пропаганде идей теории систем играли инициаторы и редакторы переводов Э. Л. *Нанпельбаум*, который читал публичные лекции по теории систем в Политехническом музее, В. Н. *Садовский* [14], Э. Г. *Юдин*, И. В. *Блауберг*²⁷, публиковавшие, помимо переводов, собственные научные работы с обсуждением проблем становления и сущности системного подхода, инициатор переводов значимых монографий С. *Оптнера*²⁸ и С. *Янга*²⁹ С. П. *Никаноров*, предложивший впоследствии принципом генетического проектирования и методология концептуального анализа и проектирования³⁰.

На развитие теории систем существенное влияние оказали работы: А. И. *Уёмова* [8], предложившего концепцию структуры системы, учитывающую элементы, свойства и отношения («вещи», «свойства», «отношения») и двойственное определение системы, на основе которого разработана одна из методик структуризации целей и функций систем управления [24–26 и др.]; П. К. *Анохина* [9], Ю. А. *Урманцева* [10], предложившего вариант теории систем; В. С. *Тюхтина* [11], связавшего теорию отражения с исследованиями по кибернетике и теории систем; Афанасьева [12], который исследовал проблему целостности и разрешил спор о материальности и нематериальности систем, В. А. *Лефевра*³¹, разработавшего основы теории рефлексивных игр; В. А. *Лекторского*³²; М. И. *Сетрова*³³; Б. В. *Бирюкова*³⁴; А. А. *Малиновского*³⁵, развивавшего в продолжение идей А. А. *Богданова* концепцию целостности на основе взаимодействия активных элементов.

²⁷ *Блауберг И. В., Юдин Э. Г.* Становление и сущность системного подхода. – М.: Наука, 1973. – 112 с.

²⁸ *Оптнер С.* Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. – М.: Сов. радио, 1969. – 216 с

²⁹ *Янг С.* Системное управление организацией. – М.: Сов. радио, 1972. – 455 с

³⁰ *Никаноров С. П.* Теоретико-системные конструкты для концептуального анализа и проектирования. – Сер.: Концептуальный анализ и проектирование. История направления. – М.: Концепт, 2006.

³¹ *Лефевр В. А.* Конфликтующие структуры. — М., 1967.,

³² *Лекторский В. А.* О принципах исследования систем // Вопросы философии, 1960, № 8; (в соавт.).

³³ *Сетров М. И.* Общие принципы организации систем и их методологическое значение. Л.: «Наука», 1971; *Сетров М. И.* Принцип системности и его основные понятия // В кн.: Проблемы методологии системного исследования. М.: «Мысль», 1970, сс.49-63; *Сетров М. И.* Степень и высота организации систем // В кн.: Системные исследования. Ежегодник. — М.: «Наука», 1969. — 203с., сс.156-168

³⁴ *Бирюков Б. В., Гутчин И.Б.* Машина и творчество. Результаты, проблемы, перспективы. – М.: Издательство «Радио и связь». 1982

³⁵ *Малиновский А. А.* Механизмы формирования целостности систем // Системные исследования: Ежегодник, 1973. – М.: Наука, 1973. – С. 62 – 62.

На развитие исследований в области кибернетики и информатики, а в последующем – на становление прикладной теории систем оказали влияние работы математиков и специалистов по кибернетике, теории информации и теории автоматического управления. В частности, работы *А. Н. Колмогорова*³⁶, основополагающие результаты которого в топологии, математической логике, теории сложности алгоритмов, теории информации, теории функций, теории множеств, теории динамических систем, функциональном анализе и в ряде других областей математики, внесли большой вклад в развитие математической теории систем; *А. А. Ляпунова*³⁷, который в середине 1950-х годов вёл на мехмате МГУ кибернетический семинар, получивший заметную известность в Москве и инициировавший по его совету первые в СССР книги по кибернетике, подготовленные участниками семинара *И. А. Полетаевым*³⁸ (который инициировал перевод и был научным редактором ряда зарубежных книг по кибернетике и исследованию операций) и *М. Г. Гаазе-Рапопортом*³⁹; *Н. П. Бусленко*, внесшего вклад в развитие теории управления и математического моделирования сложных систем⁴⁰. *Л. Е. Садовского* и *Садовского А. Л.*, разрабатывавших алгебраические методы моделирования больших, в том числе иерархических систем. В этих работах принимал участие *Г. Б. Клейнер*, применяющий в последующем системный подход для развития экономической теории⁴¹.

В конце 1960-х гг. идеи междисциплинарных научных направлений начали обсуждаться на семинарах и конференциях.

Одним из первых был семинар *Г. П. Щедровицкого*⁴²

³⁶ См., напр.: *Колмогоров А. Н.* Теория информации и теория алгоритмов. — М.: Наука, 1987. — 304 с

³⁷ См., напр.: *Ляпунов А. А.* Об управляющих системах живой природы // Проблемы кибернетики, сб. № 10. Государственное издательство физико-математической литературы: 1963, сс.179-193; *Ляпунов А. А.* Связь между строением и происхождением управляющих систем. В кн.: Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник. — М.: «Наука», 1973, сс.251-257..

³⁸ *Полетаев И. А.* Сигнал. О некоторых понятиях кибернетики. — М.: Издательство: Советское радио, 1958. — 401 с.

³⁹ *Гаазе-Рапопорт М. Г.* Автоматы и живые организмы. — М.: Государственное издательство физ.-мат. лит., 1961. — 224 с. *Гаазе-Рапопорт М. Г.* О становлении кибернетики в СССР // Кибернетика: прошлое для будущего. — М.: Наука, 1989. — С. 46—85.

⁴⁰ *Бусленко Н. П.* Моделирование сложных систем. — М.: Наука, 1968. — 400 с.

⁴¹ *Садовский А. Л., Клейнер Г. Б., Иоффе Л. Ш.* Алгебраические методы в теории больших систем. — М.: МИИТ, 1976. — 112 с. *Садовский А. Л., Клейнер Г. Б., Иоффе Л. Ш.* Вопросы моделирования иерархических систем // Известия АН СССР. Техническая кибернетика, № 2, 1977.. — М.: МИИТ, 1976. — 112.

⁴² *Щедровицкий Г. П.* Московский методологический кружок: развитие идей и подходов. / Из архива Г. П. Щедровицкого. Т. 8. Вып. 1. — М., 2004. — 352 с.

Г. П. Щедровицкий предложил подход, который теперь называют деятельностным. Он предложил структуру педагогической деятельности, отличную от традиционной. Структура Щедровицкого, наряду с традиционными составляющими педагогики – *содержание, принципы, методы, средства* обучения, включала еще и *цели* (мотивации ученика), что должно способствовать созданию целостной системы обучения и восприятия разнородных предметов учеником.

В Политехническом музее ведущие ученые читали популярные лекции. В частности, Ю. А. Шрейдер⁴³ читал лекцию «Математика и лингвистика», Э. Л. Наппельбаум – по теории систем.

Возникли семинары в вузах, что было инициировано развитием технологий, разработкой человеко-машинных комплексов, автоматизированных систем управления (АСУ) и их первой очереди – автоматизированных информационных систем (АИС) и необходимостью подготовки кадров для этих работ.

В Московском энергетическом институте В. И. Сифоров проводил философский семинар, на котором обсуждались новые научные направления. Так, на этом семинаре впервые обсуждались идеи теории систем и системотехники Ф. Е. Темникова⁴⁴, идеи моделирования внешнего мира в памяти ЭВМ Д. А. Поспелова⁴⁵, ставшие в последующем основой его теории ситуационного управления, идеи биоинформатики И. М. Когана и др.

В Московском инженерно-физическом институте при кафедре Кибернетики активно работал семинар под руководством зав. кафедрой, научного руководителя широко известной отечественной кибернетической школы Л. Т. Кузина⁴⁶.

В Московском государственном университете работал семинар нейрофизиолога д-ра биол., наук, зав. лабораторией алгоритмического

⁴³ Шрейдер Ю. А., Шаров А. А. Системы и модели. – М.: Радио и связь, 1982. – 152 с. Шрейдер Ю. А. Равенство, сходство, порядок. – М.: Наука, 1971. – 254 с. Шрейдер Ю. А. Логика знаковых систем. – М.: Знание, 1974. – 43 с.

⁴⁴ Темников Ф. Е. Высокоорганизованные системы//В кн.: Большие системы: Теория, методология, моделирование. – М.: Наука, 1971. – С. 85÷94.

⁴⁵ Поспелов Д. А., Пушкин В. Н. Мышление и автоматы.- М.: Советское радио, 1972 «Мышление и автоматы» (1972, переведена на чешский), где впервые сформулированы модели, лежащие в основе метода ситуационного управления большими системами, теория которого изложена в монографии. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: Теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 284 с.

⁴⁶ Кузин Л. Т. Основы кибернетики: Учебное пособие для студентов ВТУЗов. В 2-х т. – М.: Энергия. – Т. 1. Математические основы кибернетики. – 1973. – 503 с. – Т. 2. Основы кибернетических явлений. – 1979. – 574 с.

анализа работы мозга кафедры ВНД Биологического факультета МГУ *А. В. Напалкова*⁴⁷, на котором обсуждались проблемы нейрокибернетики.

При Доме ученых им. М. Горького, в Московском Доме научно-технической пропаганды (МДНТП) им. Ф. Э. Дзержинского, в Ленинградском Доме научно-технической пропаганды (ЛДНТП) создавались секции, на заседаниях которых возникали дискуссии. Материалы семинаров публиковались.

Стали открываться специальности подготовки кадров разработки АСУ и создаваться соответствующие кафедры.

В Московском энергетическом институте в 1969 г. была создана кафедра Системотехники (первый зав. кафедрой автор этого термина д-р техн. наук, профессор *Ф. Е. Темников*, который в последующем чаще стал использовать термин «теория высших систем» [6 и др.]) и Проблемная лаборатория автоматизированных информационных систем высшей школы (ПЛ АИС ВШ) [36, 37]. После проведения Всесоюзного совещания вузов по проблемам разработки АСУ ВШ был создан ежемесячный семинар для обсуждения этих проблем. Материалы публиковались⁴⁸.

В 1973 г. при ВНТОРЭС им. А. С. Попова в Москве были созданы семинары [36]: «Теория систем» (науч. рук. – *Ф. Е. Темников*), и «Системный анализ и его применение в АСУ» (науч. рук. *Ю. И. Черняк*, автор первых монографий по применению системного анализа в экономике [14]). В работе семинаров активное участие принимали *С. П. Никаноров*, *Ю. А. Шрейдер*, *М. Г. Гаазе-Рапопорт*, *Ф. В. Широков*, руководители организаций, разрабатывавших АСУ – зам. директора Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института отраслевых АСУ (ВНИПИ ОАСУ), автор первых брошюр по разработке АСУ *Б. М. Якобсон*, директор Московского института систем сетевого планирования и управления в промышленности (МНИПИ СПУ) *Л. С. Вальков*⁴⁹, который предоставил помещение для первого заседания семинара в МНИПСПУ. Из Риги приезжал *Л. А. Растрегин*⁵⁰, из Томска – *В. З. Ямпольский* и *Л. А. Кочнев*, из Одессы – *Л. С. Загадская (Болотова)*; из Харькова – *А. Т. Ашеров* и др., из

⁴⁷ *Напалков А. В.* Информационная структура мозга. – М.: Знание, 1969. – 31 с.; *Напалков А. В.* Эвристическое программирование. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1971. – 127 с. И др.

⁴⁸ Сб. докладов Всесоюзной научно-технич. конф. по разработке автоматизированной системы высшей школы. – М.: МЭИ, 1970 – 98 с.. *Сборник тезисов докладов Всесоюзного Межвузовского семинара: Опыт разработки и внедрения элементов автоматизированной информационной системы управления ВУЗом* / Под ред. *Ф. Е. Темникова*. – М.: МЭИ, 1971 – 102 с.

⁴⁹ law-order.ru/catalog/enciklopedia/reference/ru_v/

⁵⁰ *Растрегин Л. А.* Современные принципы управления сложными объектами. – М.: Радио и связь, 1980. – 228 с. *Растрегин Л. А.* Адаптация сложных систем. – Рига.: Зинатне, 1981. – 375 с.

Ленинграда – *А. А. Денисов*, который в 1973 г. предложил концепцию информационного анализа систем [18], и в 1974 г. впервые изложил ее на семинаре.

По результатам работы семинаров подготовлены две коллективные монографии [19, 20] и первый учебник по системному анализу [21].

После создания НИИ проблем высшей школы (НИИВШ) семинары нередко организовывались совместно и проводились в разных городах [36, 37]. В 1975 г. эти семинары были объединены [35]. С 1981 г. этот семинар работает при Доме ученых им. М. Горького в Ленинграде – Санкт-Петербурге [35].

В 1976 году был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт системных исследований (ВНИИСИ) Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике и Академии наук СССР (Институт возглавил и бессменно руководил им на протяжении 17 лет академик *Д. М. Гвишиани*⁵¹). На Институт, как филиал Международного института прикладного системного анализа (МИПСА) при Римском Клубе, были возложены функции головной организации по научно-методическому обеспечению прогнозирования и планирования по аналогии с RAND Corporation. Основной тематикой исследований ВНИИСИ была разработка методов системных исследований по важнейшим прикладным междисциплинарным и межотраслевым проблемам, включая разработку методов управления созданием и функционированием сложных организационных и технических систем. В 1992 г. Институт получил новое название – Институт системного анализа (ИСА) РАН. В институте проводились семинары. Был инициирован перевод работы *Э. Янча* «Прогнозирование научно-технического прогресса»⁵². Институт издавал Ежегодник «Системные исследования»⁵³, игравший важную роль в развитии, распространении идей теории систем и системного анализа и их применении для решения конкретных прикладных проблем.

В 1973 г. в Ленинградском политехническом институте *А. А. Денисов* предложил концепцию информационного анализа систем, которую начал использовать в учебном процессе [18].

С 1979 г. д-р техн. наук, профессор *В. Н. Козлов* начал проводить исследования в области теории и приложений нелинейных операторов,

⁵¹ *Гвишиани Д. М.*, Организация и управление: социологический анализ буржуазных теорий, М. Наука 1970. *Гвишиани Д. М., Поспелов Г. С.* и др., Проблемы программно-целевого планирования и управления, М. Наука 1981.

⁵² *Янч Э.* Прогнозирование научно-технического прогресса (Technological forecasting in Perspective, by Erich Jantsch, Paris, 1967). – М.: Прогресс, 1970. *Янч Э.* Прогнозирование научно-технического прогресса (Technological Planning and Social Futures by Erich Jantsch, London, 1972) / Пер. с англ.; общ. ред. и предисловие *Д. М. Гвишиани*. Изд. 2-е, дополн. – М.: Прогресс, 1974. – 586 с.

⁵³ *Системные исследования: Ежегодник.* – М.: Наука, 1969, 1970, ... , 1983.

развивать теорию негладких нелинейных операторов, ставшую основой важного направления математических методов теории систем и системного анализа. В 1994 г. *В. Н. Козлов* переименовал возглавляемую им кафедру Технической кибернетики в кафедру «Системный анализ и управление» и открыл одноименное направление подготовки бакалавров и магистров многоуровневой системы высшего профессионального образования.

С 1997 г. сформировалась Научно-педагогическая школа «Системный анализ в проектировании и управлении» [38].

Школа проводит ежегодную конференцию, объединяющая ученых, развивающих теорию систем и системный анализ в вузах России, Украины, Польши, и подготовила ряд коллективных монографий и учебников по теории систем и системному анализу [25–33], способствующих подготовке специалистов для решения прикладных задач с применением идей и методов теории систем и системного анализа.

Школа активно сотрудничает со школами Центрального экономико-математического института РАН (науч. рук. школы, развивающей применение системного анализ в экономических исследованиях, – член-корреспондент РАН, д-р экон. наук, профессор *Г. Б. Клейнер*); Южного Федерального университета (науч. рук. школы «Применение системного анализа в экономике» – д-р экон. наук, проф. *В. Е. Ланкин* [27], науч. рук. школы когнитивного моделирования – д-р техн. наук, профессор *Г. В. Горелова*⁵⁴); Института прикладного системного анализа (Киев, Украина, науч. рук. – зам. директора ИПСА, д-р техн. наук, профессор *Н. Д. Панкратова*); Морской академии Польши – *Akademia Morska, Szczecin, Poland* (науч. рук. – д-р техн. наук, профессор *И. Б. Арефьев*); Томского государственного университета (науч. рук. – д-р техн. наук, профессор *Ф. П. Тарасенко* [22, 23]; школой логико-лингвистической моделирования при Санкт-Петербургском государственном экономическом университете (науч. рук. – д-р экон. наук, профессор *Б. Л. Кукор*), школой информатизации управления корпоративными ресурсами Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» (науч. рук. – д-р техн. наук, профессор *И. А. Брусакова*).

В монографиях и учебниках, подготовленных на основе обсуждений проблем теории систем и системного анализа на конференциях, изложены основные положения теории систем и системного анализа.

⁵⁴ *Горелова Г. В., Захарова Е. Н., Радченко С. А.*. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход - Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2006. – 332 с.

Проведены систематизация и классификация исследуемых объектов и процессов (табл. 3) и предложена многоуровневая аксиоматика, соответствующая разным классам систем [35].

Таблица 3

Классификации проблем и систем

Признаки классификации			Методы моделирования
Степень неопределенности	Сструктурированность	Степень организованности	
С достаточной определенностью	Хорошо структуризованные	Хорошо организованные	Аксиоматика Евклида (Евдокса) Аксиомы формальной логики Аристотеля
С неопределенностью	Плохо структуризованные	Плохо организованные или диффузные	Аксиоматика С. Н. Бернштейна и А. Н. Колмогорова. И др. Теорема Бернулли. Статистические закономерности. Понятие «выборки».
С большой начальной неопределенностью	Неструктуризованные	Самоорганизующиеся или развивающиеся	Аксиомы логического базиса и законы алгебры логики. Аксиоматика теории множеств и математической лингвистики. Законы диалектики. Закономерности теории систем.

Исследованы принципиальные особенности и закономерности строения, функционирования и развития систем (рис. 1).



Рис. 1. Классификация закономерностей систем

Разработаны и обобщены формализованные подходы и методы теории систем⁵⁵ (рис. 2)



Рис. 2. Классификация методов моделирования систем

Разработана классификация моделей систем [33] (рис. 3), в которую включены признанные зарубежные концепции и основные развиваемые в настоящее время отечественные концепции⁵⁶.

⁵⁵ Волкова В. Н. Темников Ф. Е. Методы формализованного представления (отображения) систем: Лекции. – М.: Ин-т повышения квалиф. информационных работников (ИПКИР) при ГКНТ СМ СССР, 1974. – 114 с. Волкова В. Н., Денисов А. А., Темников Ф. Е. Методы формализованного представления систем: учеб. пособие. СПб.: СПбГТУ, 1993. – 107 с.

⁵⁶ Поспелов Д. А. Ситуационное управление: Теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 284 с. Клыков Ю. И. Ситуационное управление большими системами. – М.: Энергия, 1974. – 135 с.; Загадская Л. С., Клыков Ю. И. Практическое применение ситуационной модели управления // Техническая кибернетика. – № 2. – М.: АН СССР, 1971. – С. 18–25.

Игнатьев М. Б. Кибернетическая картина мира. Теория сложных систем. – СПб, 2011, 468 с.; Ignatyev M. B. Linguo-Combinatorial Simulation of Complex Systems // Journal of Mathematics and System Science. – USA, January, 2012. – Vol. 2. – Number 1. – P. 58–66.

Кукор Б. Л. Семиотика системного анализа и семантическая система логико-лингвистической модели предметной области // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. трудов XIII Междунар. научно-практич. конф. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – Ч. 1. – С. 164 – 169.

Арефьев И. Б., Кезлинг Г. Б., Кукор Б. Л. Интегрированные АСУ в машиностроении. – Л.: «Машиностроение». 1988. – 224 с. Арефьев И. Б. Прогнозирование и контроль состояния объекта управления в среде системы PERT (метод интегральных характеристик) – СПб., СЗТУ. 2010. – 305 с.; Арефьев И. Б.. Логико-рефлексивное

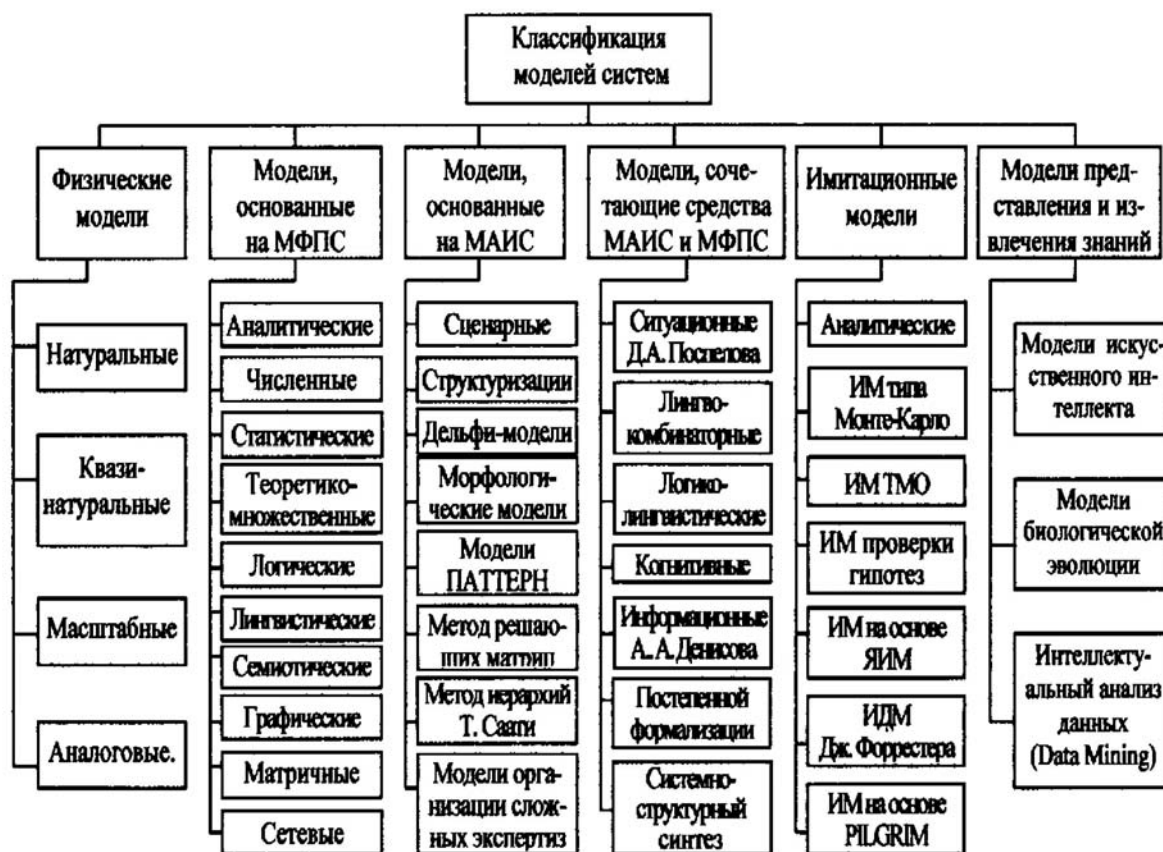


Рис. 3. Классификация моделей систем

Регулярно уточняется терминологический аппарат теории.

Разработаны методики системного анализа, модели организации сложных экспертиз [21, 24–26, 28–34].

Заключение. В статье рассмотрена краткая история становления и развития теории систем и ее прикладного направления – системного анализа. Показана роль отечественных ученых в развитии современной прикладной теории систем. Приведены сложившиеся к настоящему времени

моделирование технологии изготовления промышленных деталей. – Калининград, Изво БФУ им. И. Канта. – 2012.

Горелова Г. В., Захарова Е. Н., Радченко С. А. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход - Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2006. – 332 с.

Форрестер Дж. Мировая динамика. – М.: Наука, 1978. – 167 с. Федотов А. В. Моделирование макроэкономических процессов: учеб. пособие / А. В. Федотов. – Л.: ЛПИ, 1987. – 84 с. Федотов А. В. Моделирование и управление вузом / А. В. Федотов.. – Л.: ЛГУ, 1985. – 107 с.

Компьютерная имитация экономических процессов / Под ред. А. А. Емельянова. – М.: Маркет ДС, 2010. – 464 с.

Паклин Н. Б., Орешков В. И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. – СПб.: Питер, 2009. – 624 с.

Нечаев В. В. Введение в теорию метамоделирования систем. М.: Междунар. изд-во «Информациология», 1997. 64 с.

классификации проблем и систем, закономерностей и методов теории систем, моделей систем, основанных на развиваемых в настоящее время зарубежных и отечественных концепциях междисциплинарных направлений системных исследований.

Список литературы

1. *Богданов А. А.* Всеобщая организационная наука: Тектология. В 2-х кн. – М.: 1905 – 1924. *Богданов А. А.* Тектология: Всеобщая организационная наука. В 2-х книгах. Москва, «Экономика», 1989.
2. *Берталанфи Л. фон.* Общая теория систем: критический обзор // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23–82. *Берталанфи Л. фон.* История и статус общей теории систем // Системные исследования: Ежегодник, 1972. – М.: Наука, 1973. – С. 20–37.
3. *Общая теория систем* / Пер. с англ. *В. Я. Ахтаева* и *Э. Л. Наппельбаума.* – М.: Мир, 1966. – 187 с..
4. *Исследования по общей теории систем:* Сб. переводов / Общ. ред. и вступит. Статья *В. Н. Садовского* и *Э. Г. Юдина.* – М.: Прогресс, 1969. – 520 с.
5. *Гуд Г. Х., Макол Р. Э.* Системотехника. Введение в проектирование больших систем, пер. с англ., М., 1962 (*Goode, Harry H., Robert E. Machol.* System Engineering: An Introduction to the Design of Large-scale Systems, 1957). Справочник по системотехнике / Под ред. *Р. Макоаа*; пер. с англ. под ред. *А. В. Шиллейко.* – М.: «Сов. Радио, 1970. – 688 с.
6. *Темников Ф. Е.* Высокоорганизованные системы // В кн.: Большие системы: Теория, методология, моделирование. – М.: Наука, 1971. – С. 85–94.
7. *Системные исследования:* Ежегодник. – М.: Наука, 1969, 1970, ... , 1983.
8. *Бусленко Н. П.* Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1968. – 400 с.
9. *Уёмов А. И.* Системный подход и общая теория систем. – М.: Мысль, 1978. – 272 с. *Уёмов А. И.* Системы и системные параметры // Проблемы формального анализа систем. — М., Высшая школа, 1968. — С. 15-34; *Уёмов А. И.* Логический анализ системного подхода к объектам и его место среди других методов исследования // В кн.: Системные исследования. Ежегодник. — М.: «Наука», 1969. — 203с., с.80-96.
10. *Анохин П. К.* Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. М., 1971. *Анохин П. К.* Системогенез как общая закономерность эволюционного процесса. Бюлл. эксп. биол. и мед. 1948, Т.26, № 8, с.81-99; *Анохин П. К.* Узловые вопросы теории функциональных систем. М.: «Наука», 1980.
11. *Урманцев Ю. А.* Опыт аксиоматического построения общей теории

систем // Системные исследования: 1971. М., 1972, сс.128-152.

12. *Тюхтин В. С.* Отражение, система, кибернетика: Теория отражения в свете кибернетики и системного подхода. – М.: Наука, 1972. – 256 с.

13. *Афанасьев В. Г.* Проблема целостности в философии и биологии. – М.: Мысль, 1964. – 416 с. *Афанасьев В. Г.* О системном подходе в социальном познании // Вопросы философии, 1973, №6.- С. 98-112. *Афанасьев В. Г.* О целостных системах // Вопросы философии. 1980. №6. С.62-78.

14. *Садовский В. Н.* Основания общей теории систем: Логико-методологический анализ. – М.: Наука, 1974. – 279 с.

15. *Черняк Ю. И.* Системный анализ в управлении экономикой. – М.: Экономика, 1975. – 191 с.; *Черняк Ю. И.* Системный анализ в управлении экономикой. М.: Экономика, 1975. 191 с.; *Черняк Ю. И.* Простота сложного. М.: Знание, 1975. 206 с.

16. *Моисеев Н. Н.* Элементы теории оптимальных систем. – М.: Наука, 1975. *Моисеев Н. Н.* Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981.– 488 с.

17. *Флейшман Б. С.* Основы системологии. – М.: Радио и связь, 1982. – 272 с.

18. *Денисов А. А.* Теоретические основы кибернетики: Информационное поле. Л.: ЛПИ, 1975. 40 с. *Денисов А. А. Колесников Д. Н.* Теория больших систем управления: Учебное пособие для студентов вузов. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 288 с.

19. *Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В. Н. Волкова, В. А. Воронков, А. А. Денисов и др.* – М.: Радио и связь, 1983. – 248 с.

20. *Системное проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В. Н. Волкова, А. П. Градов, А. А. Денисов и др.; под ред. В. А. Мясникова и Ф. Е. Темникова.* – М.: Радио и связь, 1990. – 296 с.

21. *Системный анализ в экономике и организации производства: Учебник для студентов вузов / Под ред. С. А. Валуева, В. Н. Волковой.* – Л.: Политехника, 1991. – 398 с.

22. *Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П.* Введение в системный анализ: Учебное пособие. – М.: Высш. школа, 1989. – 367 с.

23. *Тарасенко Ф. П.* Прикладной системный анализ. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. – 186 с.

24. *Волкова В. Н., Денисов А. А.* Основы теории систем и системного анализа: учебник для студентов вузов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. – 510 с. Изд. 2-е – 1999. – 512 с. Изд. 3-е – Изд-во Политехн. ун-та, 2005. – 520 с.

25. *Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник / Под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова.* – М.: Высшая школа, 2004. – 616 с.

26. Волкова В. Н., Денисов А. А. Теория систем: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 2006. – 512 с.

27. Ланкин В. Е. Принципы и модели теории автоматического управления в социально-экономических системах. – СПб.: Изд-во Политехн. университета, 2009. – 160 с.

28. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник / Под ред. В. Н. Волковой и А. А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2006 – 848 с.; изд- 2-е – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2009. – 848 с.

29. Денисов А. А. Современные проблемы системного анализа: учебник. – СПб.: 3-е изд. Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 304 с.

30. Волкова В. Н. Денисов А. А. Методы организации сложных экспертиз – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 128 с.

31. Козлов В. Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений – М.: Проспект, 2010. 176 с.

32. Волкова В. Н., Денисов А. А. Теория систем и системный анализ: учебник для академического бакалавриата. – М.: Изд-во Юрайт, 2010. – 680 с. 2-е изд., переработанное и дополненное. – М.: Изд-во Юрайт, 2014. – 616 с. – Серия: Бакалавр. Академический курс.

33. Моделирование систем и процессов: учебник для академического бакалавриата / В. Н. Волкова, Г. В. Горелова, В. Н. Козлов и др. Под ред. В. Н. Волковой, В. Н. Козлова. – М.: Изд-во Юрайт, 2014. – 592 с. – Серия: Бакалавр. Академический курс.

34. Волкова В. Н. Теория информационных процессов и систем: учебник и практикум для академического бакалавриата. – М.: Изд-во Юрайт, 2014. – 502 с. – Серия: Бакалавр. Академический курс.

35. Волкова В. Н. Об аксиоматическом построении теории систем // Системный анализ в проектировании и управлении: Сборник научных трудов XVIII Междунар. науч.-практич. конф. Ч. 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – С. 13–17. Волкова В. Н., Черный Ю. Ю. О проблеме аксиоматического построения междисциплинарных научных направлений // Проблемы управления в социальных системах. Т. 7, вып. 11. – Томск: Изд-во Томского университета, 2014. – С. 129 – 137.

36. Волкова В. Н. Из истории развития системного анализа в нашей стране // Экономическая наука современной России. 2001. № 2. С. 138-152.

37. Волкова В. Н., Романкова Л. И. НИИ высшего образования – 30 лет: Секреты организации научных исследований / Под ред. – А. Я. Савельева. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2004. – 160 с.

38. Волкова В. Н., Козлов В. Н. Научно-педагогическая школа «Системный анализ в проектировании и управлении» // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. трудов XIX Междунар. науч.-практич. конф. Ч. 1. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 488 с. – С. 5–16.

Взятышев Виктор Феодосьевич
Д-р техн. наук, профессор кафедры ОРТ

**ШКОЛА ФЕДОРА ЕВГЕНЬЕВИЧА ТЕМНИКОВА.
ЦЕНТРОТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА, СИСТЕМОТЕХНИКА⁵⁷**

Национальный исследовательский университет (МЭИ)
Москва, Россия
vitaidea@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена 110-летию доктор технических наук профессора Федора Евгеньевича Темникова. Излагаются основные достижения в области предложенных им научных направлений – центротехники, информатики, системотехники.

Ключевые слова: информатика, метод развертывающего время-импульсного преобразования, системотехника, центротехника.

Victor F. Vzyatyshev
Doctor of Technical Sciences, Professor

**SCHOOL OF FEDOR EVGENYEVICH TEMNIKOV.
TSENTROTEHNIKS, INFORMATICS, SYSTEMS ENGINEERING**

National Research University (MEI)
Moskau, Russia
vitaidea@yandex.ru

Abstract: The article is devoted to the 110th anniversary of Doctor of Technical Sciences Professor Theodore Paton Temnikova. It outlines the major achievements in the field of his proposed research directions - tsentrotehniks, Informatics, Systems Engineering

Keywords Informatics, the Scanning method is time-pulse conversion, Systems Engineering, Tsentrotehnika

⁵⁷ Статья подготовлена на основе текста Юбилейного издания «80 лет МЭИ. история, годы, люди» и Выпуска ИДО-08 В-225 к встрече в Москве инициативной группы по подготовке совместного Семинара ИНИОН РАН, ИПИ РАН и ИСТО МЭИ по обсуждению и развитию идей, предложенных доктором технических наук профессором МЭИ Ф.Е. Темниковым. М.:ИСТО МЭИ, 10 апреля 2013 г.

0 Введение.

В середине 1930-х годов по результатам конкурса научных работ Федор Евгеньевич Темников был приглашен в Московский энергетический институт и проработал в МЭИ практически всю жизнь, пройдя путь от ассистента до профессора. Он стоял у истоков создания кафедры автоматики и телемеханики, основателем и первым заведующим которой был М.А. Гаврилов, а впоследствии Р.М. Жданов.

До начала работы в МЭИ Ф.Е. Темников уже имел опыт практической инженерной работы, что существенно повлияло на его вклад в становление и развитие новой специальности. После окончания Горьковского государственного университета в 1930 г. он работал инженером на Луганском тепловозостроительном заводе, через два года стал начальником технического сектора, а затем заместителем директора по научной части в Центральном научно-исследовательском институте организации и управления промышленности.

В 1934 г. Федор Евгеньевич предложил метод развертывающего время-импульсного преобразования для измерительных устройств, названный им методом динамической компенсации. Ранее для измерения физических величин применялись электрические датчики с обычными измерительными приборами (прямое преобразование) либо более совершенные следящие преобразователи с органами сравнения.

На предложенный метод в 1935 г. было получено авторское свидетельство. Исследования показали существенные преимущества данного метода по сравнению с измерениями и использованием следящих преобразователей: значительно большая точность измерений, легкость преобразований аналоговых сигналов в цифровую форму и обратного преобразования, простота построения многоканальных измерительных приборов, а также высокая помехоустойчивость при дистанционной передаче в системах телеизмерения.

В дальнейшем были исследованы возможности нелинейных преобразований с нелинейной разверткой, использования частотной развертки, пневматической и гидравлической развертки для измерения давления и т.д., а также применения развертки для управления. Принцип развертывающего преобразования быстро получил признание научной и инженерной общественности.

В 1939 г. Ф.Е. Темникову по совокупности работ была присуждена ученая степень кандидата технических наук и присвоено звание доцента, а в 1959 г. по данной тематике им была защищена докторская диссертация. Его имя и работы стали известны практически во всех вузах страны, занимающихся измерениями и информационной техникой, появилось много последователей и учеников. Так формировалась научная школа.

В 1951–1955 гг. Ф.Е. Темников возглавлял кафедру автоматики и телемеханики. Ему вместе с сотрудниками кафедры пришлось с нуля создавать учебные лаборатории автоматического контроля и телеизмерений, подготавливать и читать соответствующие курсы лекций.

1. Центротехника

В конце 1950-х и в 1960-е годы актуальной задачей в стране было создание и промышленное использование централизованных систем автоматического контроля технологических процессов. Этим занимались многие НИИ, КБ, заводы, а также вузы. По инициативе Ф.Е. Темникова на кафедре было создано студенческое конструкторское бюро «Центротехника», целью которого была разработка и реализация централизованных систем контроля, основанных на принципе кодовой развертки, а также приобщение студентов, аспирантов и инженеров кафедры к практической исследовательской работе.

Разрабатывались экспериментальные образцы систем: «Центротехника-минутка», «Центротехника-секунда», система с пневматической разверткой. Результаты работ, выполненных в студенческом КБ, использовались, в частности, в Воронежском филиале ОКБ автоматики и в учебном процессе кафедры.

2. Информатика

Федор Евгеньевич Темников постоянно отслеживал новые, перспективные тенденции развития информационной техники в мировом масштабе, поддерживал контакты со многими учеными, работающими в этой области, был высокоэрудированным ученым. После публикации фундаментальных работ К. Шеннона (США) по статистической теории информации в мире появилось много исследований по приложениям идей К. Шеннона в различных областях науки и техники (связь, вычислительная техника, распознавание образов, управление, генетика и т.д.) и с различными целевыми функциями (семантическая теория информации, целевая информация, качественная теория информации, дивергенция).

Понимая актуальность и перспективность этого направления, ученые кафедры подготовили и читали учебные курсы по теории информации и кодирования, информационной технике и автоконтролю, обработке и отображению информации, передаче информации.

Принято считать, что термин «информатика» (informatics) впервые использован французскими учеными. При этом в одних источниках называются 60-е годы, в других - начало 1970-х. Термин означал *обработку* или *преобразование* информации.

Однако еще раньше, в 1963 г. независимо от французов этот термин был введен Ф.Е. Темниковым в более широком смысле - применительно к системам *сбора, передачи, хранения и обработки* данных. При этом Федор Евгеньевич определил информатику как *науку об информации* вообще, состоящую из трех частей: 1) теории *информационных элементов*; 2) теории *информационных процессов* и 3) теории *информационных систем*.

Позднее, к сожалению, термин «информатика» стали использовать в более узком смысле, сводя понятие информатики к техническим и программным средствам хранения и обработки информации на ЭВМ. В настоящее время во многих работах (в том числе размещенных в сети Интернет) утверждается, что именно определение Ф.Е. Темникова следовало бы возродить и принять в качестве обобщающего определения науки об информации.

3. Системтехника

В 1961 г. при переводе монографии Г. Гуда и Р. Макола «System Engineering» Ф. Е. Темников предложил термин «системотехника». Редакции издательства «Советское радио» (в последующем «Радио и связь») не нравился буквальный перевод «системная инженерия» или «инженерия систем», и Федор Евгеньевич предложил обобщающее понятие, имея в виду не *системотехнику* в точном смысле, а *системотехнологию*⁵⁸.

Термин «системотехника» в то время будоражил прогрессивный научный мир Москвы и вошел в историю становления системных исследований в нашей стране, хотя и претерпел некоторые изменения по сравнению с первоначальным смыслом. В дальнейшем так была названа новая кафедра факультета, где Федор Евгеньевич поставил и начал читать *первый в стране курс лекций по теории систем*.

Если бы термин «System Engineering»⁵⁹ был принят редакцией «Советское радио» в более точном переводе «системная инженерия» или хотя бы «системотехнология», то, возможно, не потребовалось бы поиска

⁵⁸ Технология – наука о деятельности человека. И в этом смысле «системотехнология» больше связана с деятельностью человека, чем «системотехника». Уместно подчеркнуть, смена идеологических акцентов с «техники» на «технологию» произошла в документах и выступлениях высшего руководства России произошла только в 2010-х годах, т.е. почти через полвека после обсуждаемых предложений В.Е. Темникова.

⁵⁹ Примерно такое же искажение смысла названия при переводе произошло при издании на русском языке известной англоязычной книги по инженерному проектированию Дж. Диксона «Проектирование систем». Мне представляется, что издательства того времени неправильно понимали смысл английского слова «Engineering». ВВФ

новых терминов для прикладных направлений теории систем. Но поскольку в термине в явном виде звучала «техника», термин «системотехника» довольно быстро стал использоваться в основном в приложениях системных методов только к техническим направлениям.

Однако, предложив термин «системотехника», Ф. Е. Темников публиковал свои работы под названием «Высшие системы» или «Высокоорганизованные системы» и пользовался терминами «теория систем» и «общая теория систем».

Интересен тот факт, что публикация в одном из сборников трудов МЭИ вначале вышла с осторожной сноской «Статья печатается в порядке обсуждения». В этой статье Ф. Е. Темников впервые привел обширную библиографию работ, на основе которых зарождались идеи системных исследований.

4. Организация кафедры системотехники

В 1960-х годах в связи с быстрым развитием и использованием вычислительной техники многие развитые страны стали разрабатывать и широко применять автоматизированные системы управления (АСУ) производством и технологическими процессами.

В 1968 г. по инициативе Ф.Е. Темникова к МЭИ была образована проблемная лаборатория автоматизированных информационных систем высшей школы (ПЛАИС ВШ) под руководством Федора Евгеньевича, а в 1969 г. в МЭИ была организована кафедра системотехники, куда вошла и проблемная лаборатория. Профессор Ф.Е. Темников возглавлял кафедру до 1972 г.

Перед проблемной лабораторией были поставлены широкие задачи - от разработки методологических основ создания АСУ ВШ до координации разработки АИС-вуз, начатых в ряде вузов Москвы и других городов и проводимых инициативно возникшими группами при кафедрах и вычислительных центрах вузов часто независимо друг от друга даже в одном вузе.

Основная научная задача кафедры и проблемной лаборатории на первом этапе состояла в упорядочении и автоматизации информационных потоков на различных уровнях управления учебным процессом. Были разработаны технические проекты АИС-кафедра и АИС-вуз.

Для координации научных исследований по решению Минвуза СССР было проведено Всесоюзное координационное совещание по проблемам разработки АСУ высшей школы, которое состоялось в мае 1971 г., а затем был создан постоянно действующий семинар по проблемам АСУ ВШ. Научным руководителем семинара стал Ф.Е.Темников, а ученым секретарем - В.Н. Волкова, аспирантка Федора Евгеньевича, в будущем доктор наук. Работа семинара способствовала формированию

коллектива единомышленников в масштабах страны. Были созданы предпосылки для разработки единого координационного плана по проблемам АСУ ВШ, который и был разработан ПЛАИС ВШ и вскоре утвержден Минвузом СССР.

Проблемная лаборатория существовала до 1973 г., а созданный при кафедре системотехники семинар в дальнейшем стал основой семинара по теории систем при Всесоюзном научно-техническом обществе радиотехники, электроники и связи (ВНТОРЭС) им. А.С. Попова.

В 1974 г. на базе объединения ПЛАИС ВШ, информационного центра ВШ и ряда лабораторий вузов был создан НИИ проблем высшей школы (НИИВШ, теперь НИИ высшего образования - НИИВО), где ряд учеников Ф.Е. Темникова продолжали развивать его системные идеи применительно к проблемам высшей школы.

Кафедра системотехники начала подготовку инженеров системотехников по разработке и эксплуатации АСУ, в том числе и в рамках ускоренного обучения. Преподаватели осваивали и читали новые курсы, такие как «Техническое обеспечение АСУ», «Информационное обеспечение АСУ», «Программное обеспечение АСУ», «Исследование операций» и др.

В 1970-х годах направление, связанное с АСУ, в учебном процессе и научных исследованиях было основным. В дальнейшем в связи с быстрым развитием ЭВМ и микропроцессорной техники, появлением систем телеобработки и вычислительных сетей профиль подготовки специалистов существенно изменился, что и определило в середине 80-х годов изменение специальности выпускников и название кафедры. Она стала именоваться кафедрой вычислительных машин, систем и сетей. Кафедра стала оснащаться вычислительной техникой, потом появилась локальная сеть с выходом в Интернет. Создавались новые курсы и лаборатории. Ф.Е. Темников продолжал работать на ней в должности профессора.

5. Информатика — систематика — интеллектика

Поскольку термин «системотехника» стал утрачивать первоначальный смысл прикладной теории (технологии) систем. Ф.Е. Темников искал новые термины для названия программ принятия решений в сложных системах. Результатом явился ряд публикаций, в которых информатика — систематика — интеллектика трактовались как специальные программы принятия решений или новые методы обработки информации для принятия решений. В этих работах *информатика* трактовалась как класс программ, использующих категории, законы, языки, формы и меры информации; *систематика* – как класс программ, оперирующих с

целесообразно организованными техническими структурами: *интеллектика* – класс программ, реализующих высшие формы мышления.

Таким образом, термину «информатика», был придан новый смысл, учитывающий роль информации в принятии решений. К сожалению, эти работы пока не получили дальнейшего развития, хотя в них приводятся модели принятия решений и их графическая интерпретация, которые представляют интерес для современной теории систем.

6. Курс лекций «Теория систем»

У Федора Евгеньевича была обширная литература по теории систем — труды международных симпозиумов, проведенных после публикации концепции Л. фон Берталанфи (часть которых была переведена). Он знакомил с ней студентов, принося книги на лекции.

Федор Евгеньевич Темников дал свое определение системы как «организованного множества», позднее он провел и опубликовал анализ других определений системы. Но основу курса составляла не история возникновения теории систем и не терминология, а классификация методов моделирования систем.

Кафедру системотехники Ф.Е. Темников первоначально ориентировал на развитие системотехники как прикладной теории систем, инженерии систем. Однако только он и некоторые аспиранты могли читать курс «Теория систем», а большинство преподавателей продолжали заниматься традиционными исследованиями, которые были начаты до создания новой кафедры, и подготовкой курсов, не связанных с системным анализом. Управлять такой кафедрой ему было сложно.

Федор Евгеньевич в первую очередь был ученым, главное внимание он уделял науке, аспирантам и проблемной лаборатории, а заниматься управлением кафедрой, разрешением неизбежных конфликтов он не хотел и не умел. В результате в 1972 г. он написал заявление с просьбой об освобождении от должности заведующего кафедрой, оставшись профессором.

Как-то на одном из его юбилеев, которые отмечались в МЭИ до конца его жизни, с юмором оценил себя: «Я два раза создавал кафедры и два раза их отдавал другим; видимо, это не мое дело».

Одновременно с работой по системному направлению Ф.Е. Темников продолжал исследования в области информационно-измерительной техники, развертывающих и комбинаторных систем, которыми он занимался ранее. В последние годы работал над развитием теории систем.

7. Научно-общественная деятельность

Федор Евгеньевич Темников был авторитетным и известным ученым. Он постоянно участвовал в крупных конференциях страны. Неоднократно выступал с основополагающими лекциями, которые | публиковались отдельными брошюрами в издательстве «Знание».

Он был председателем отделения Общества советско-польской дружбы при МЭИ, имел регулярные контакты с учеными Польши и ГДР.

В 1970-е годы, в период становления теории систем в нашей стране, по этой тематике часто проводились семинары и дискуссии, проходившие в Москве в Доме научно-технической пропаганды им. Ф.Э. Дзержинского, в Политехническом музее, в Московском доме ученых им. М. Горького, во Всесоюзном научно-техническом обществе радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова и на конференциях в разных городах.

В семинарах принимали участие те, кто интересовался в то время исследованием операций, кибернетикой, системотехникой, управлением предприятиями и научно-исследовательскими организациями, разработкой АСУ. Впоследствии Федор Евгеньевич создал свой семинар, вначале на кафедре системотехники, а затем при ВНТОРЭС.

8. Работа с аспирантами и студентами

Федор Евгеньевич был необыкновенно внимателен к аспирантам. Еженедельно ездил в Дом книги на Калининский проспект (самый большой в то время книжный магазин, в котором раньше, чем в других, появлялись новые научные издания), покупал несколько книг, делал в них закладки для аспирантов с учетом их интересов и давал им книги на какой-то период.

Он помогал извлекать из прочитанного полезную информацию об авторах и издательствах и рекомендовал семинары, которые следует посетить по выбранному направлению. Для обсуждения прочитанного и своих диссертационных идей Федор Евгеньевич предлагал аспирантам приходить на близлежащий стадион, где он ежедневно гулял по вечерам с 22 до 23 часов.

Аспирантов у него было много, каждый решал проблемную задачу. Они посещали регулярно проводимые научные семинары, на которые приглашались известные специалисты по кибернетике, генетике, химии, ведущие математики. Каждый аспирант работал самостоятельно и первым оппонентом полученных результатов был сам Федор Евгеньевич. Если аспирант убеждал его в своих достижениях, то можно было быть уверенным, что можно доложить и защитить свою работу перед любой аудиторией слушателей.

Характерной особенностью его работы со студентами являлось их постоянное привлечение к научно-исследовательским работам, чтобы зародить в них интерес к исследовательской работе. Федору Евгеньевичу приписывают ныне широко известное изречение: «Студент не сосуд, который нужно наполнить, а факел, который следует зажечь!». Следуя этому кредо, он считал более важным обсудить проблемы студента, работающего над курсовым проектом, чем трудности аспирантов.

Федор Евгеньевич был обаятельнейшей, интеллектуальной личностью, интересовался музыкой, живописью и современной литературой, любил театр. Достаточно сказать, что у него были дружеские отношения с С.И. Бэлзой - известным деятелем культуры. Его интеллигентность, доступность и внимательность привлекали к нему **студентов** и инженеров, многие из которых стали его учениками и последователями.

Если говорить о Ф.Е. Темникове как о руководителе научной школы, то можно отметить его «дальнозоркость». Он видел проблемы, которые еще только возникали на горизонте науки, и далее старался воодушевить окружающих на решение этих проблем.

Под руководством профессора Ф.Е. Темникова и при его помощи защищено свыше 60 кандидатских и докторских диссертаций. Ф.Е. Темников опубликовал более 200 научных работ, получивших известность во многих странах. Его труды явились основой целого ряда учебных дисциплин, читаемых в МЭИ и других вузах страны. Для своих учеников он был генератором новых идей, живой энциклопедией, никогда не отказывал в помощи и приучал их к самостоятельной творческой работе, честности и порядочности в науке.

9. Некоторые ключевые идеи Ф.Е. Темникова

Классификация методов формализованного представления систем⁶⁰

Важнейший вклад Ф.Е. Темникова в становление и развитие теории систем – это классификация математических методов моделирования систем.

В большинстве первоначально применявшихся при исследовании систем классификаций выделяли *детерминированные* и *вероятностные* (статистические) методы или классы моделей, которые сформировались в конце прошлого столетия. Затем появились классификации, в которых в самостоятельные классы выделились *теоретико-множественные представления, графы, математическая логика* и некоторые новые разделы

⁶⁰ Этот и последующий разделы – текст В.Н.Волковой из другой статьи об учителе (вероятно, той, которая указана в ссылке на список литературы).

математики. Например, в классификации математического аппарата для инженеров **В. П. Сигорского** [50].

В классификации Ф.Е. Темникова выделены следующие обобщенные группы (классы) методов:

- *аналитические* (методы классической математики, включая интегро-дифференциальное исчисление, методы поиска экстремумов функций, вариационное исчисление и т.п.);
- методы математического программирования; первые работы по теории игр и т.п.);
- *статистические* (включающее и теоретические разделы математики – теорию вероятностей, математическую статистику, и направления прикладной математики, использующие стохастические представления – теорию массового обслуживания, методы статистических испытаний, основанные на методе Монте-Карло, методы выдвижения и проверки статистических гипотез А. Вальда и др. методы статистического имитационного моделирования);
- *теоретико-множественные, логические и графические* (включающие теорию графов и разного рода графические представления информации типа диаграмм, гистограмм и других графиков).

При этом каждая группа методов охарактеризована своими особенностями, отличиями от других, основной терминологией, сферами и границами применения класса методов.

Развитие этой классификации Ф. Е. Темников поручил своей аспирантке В. Н. Волковой в реферате к кандидатскому экзамену, который в то время был обязательным. В последующем в этой классификации были добавлены *лингвистические, семиотические* представления [27], которые вместе с теорией графов, составляют теоретическую основу разработки языков моделирования, автоматизации проектирования, информационно-поисковых языков.

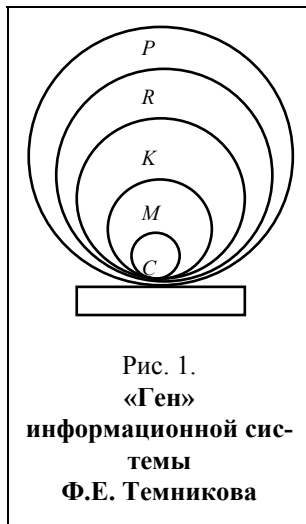
Включение в число математических методов *математической лингвистики* (несмотря на то, что этот термин, включающий понятие «*математическая*», уже существовал) оказалось небесспорным. Но ведь и теория множеств Г. Кантора с ее парадоксами долгое время не признавалась математикой, а французские математики (школа Н. Бурбаки) включали же теорию множеств в математику.

С учетом сказанного, чтобы не спорить с математиками, для названия классификации было решено использовать более аккуратный термин – «Методы формализованного представления систем». Этот термин и был использован в первой публикации этой классификации [27] в Институте повышения квалификации информационных работников (ИПКИР) при Госкомитете по науке и технике СМ СССР.

В МЭИ ее не удалось опубликовать. Ректором ИПКИР в тот период была считавшая себя ученицей Ф.Е. Темникова **В.И. Горькова**, которая проявляла интерес ко всему новому и приглашала для чтения лекций в ИПКИР необщепризнанных новаторов.

«Ген» Темникова и идея постепенной формализации

В 1970 г. Федор Евгеньевич предложил модель информационной системы в форме основных функций любой системы (рис. 1):



сложной развивающейся системы, необходимая и достаточная для ее реализации.

Для относительно простой технической системы, в которой происходит движение информации в какой-либо форме, достаточно только переноса информации в пространстве (рис. 2 а), т. е. функции C , после применения которой система попадает в точку $A = f(G)$ (например, системы передачи информации, телефонной связи и т. п.).

Более сложными являются технические системы с *памятью*, в которых, наряду с передачей информации предусматриваются блоки ее *задержки* во времени, хранения, т. е. выполняются функции C и M . В результате (рис. 2 б) система попадает в точку $B = f(G, t)$.

Для того, чтобы систему можно было назвать *информационной*, в ней должна осуществляться еще и обработка информации, т.е. выполняться три функции – C , M и K (рис. 2 в), после применения которых система попадает в точку $D = f(G, t, J)$.

C – связь (communication), регистрация, передача информации, перемещение ее в пространстве;
 M – память (memory), хранение информации, перенос ее во времени;
 K – расчет, обработка информации (от «калькулятор», «компьютер»);
 R – рассудок (reason), разум;
 P – «политика».

Этот набор функций – утверждал Ф.Е. Темников – отличительная особенность любой

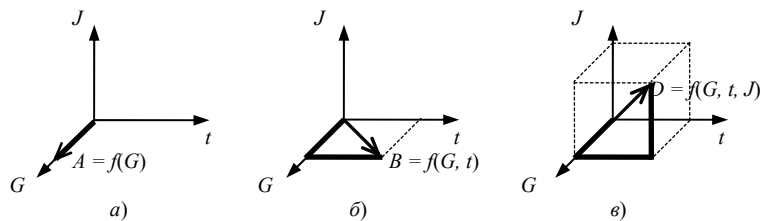


Рис. 2. Функции C , M , K в координатах «время t », «пространство G » и «Обработка информации J »

В живых системах недостаточно способности к обработке информации типа расчетов, появляется еще и рассудок, разум. А в более сложно организованных социальных системах – еще и функция политики *P*.

Изображение в форме окружностей Темников назвал «контурами» *связи, хранения, расчета, рассудка и политики*, которые должны формироваться в сложной системе. Для *информационной* системы достаточно первых трех контуров.

Для пояснения полезности предлагаемого набора функций Ф. Е. Темников предложил эксперимент с помещением разработчика в комнату с практически нулевой начальной информацией, т. е. в ситуацию с большой начальной неопределенностью, и постепенным ее накоплением для развития системы.

Пусть Вас поместят в изолированную комнату, и дадут Вам средства *связи* (телефон, телетайп), «*памяти*» (хотя бы средства для организации картотеки хранения информации) и «*расчета*», т. е. какие-то средства обработки информации, хотя бы простейшие вычислительные устройства. В то время не было персональных компьютеров, которые могли бы одновременно обеспечить в небольшой комнате функции *M* и *K*, а тем более сети Internet, которая обеспечивает все три функции *C*, *M*, *K*.

Первый же звонок по телефону: «В какой группе учится студент Иванов?» позволяет Вам понять, что в системе есть «студенты», «группы», и Вы начинаете создавать картотеку студентов, пользуясь опять-таки средством связи с другими помещениями той среды, в которую Вас поместили. Следующие вопросы из внешней и внутренней среды о преподавателях, научных исследованиях, о неисправностях какого-либо оборудования и т. п. заставят Вас создавать все новые картотеки, упорядочивать их и т. д.

Так и будет постепенно развиваться информационная система.

Таким образом, вместо того, чтобы обследовать существующую сложную систему управления, “перечислять” все ее элементы, с чего обычно начинались все разработки автоматизированных информационных систем, Ф. Е. Темников предлагал подход постепенного накопления информации о системе на основе набора функций, необходимого для системы данного класса.

В последующем этот набор контуров-функций (которые, разумеется, можно детализировать) мы стали называть «геном» Темникова. Думаю, что и сейчас еще не до конца осознана значимость определения «гена» для развивающейся системы.

«Ген» Ф. Е. Темникова не сразу был понят. Особенно включение «контур *политики*». Важность этой функции была осознана только в 1990-е гг., когда этот «контур» начал активно проявляться в нашем обществе.

А в тот период на меня повлиял не столько «ген», сколько эксперимент с помещением разработчика в комнату с практически нулевой начальной информацией (т.е. в ситуацию с большой начальной неопределенностью), и постепенное ее накопление для развития системы.

Под влиянием этого подхода в последующем у ученицы Ф. Е. Темникова В. Н. Волковой родилась идея *постепенной формализации* моделей принятия решений, которая была положена в основу ее кандидатской диссертации и имеет достаточно длительную историю развития, кратко рассмотренную в брошюре «Из истории теории систем и системного анализа» [52]. Этот подход Ф. Е. Темников назвал вначале *сигнатурным* (знаковым) [24, 25], стремясь подчеркнуть использование в процессе «выращивания» модели различных знаковых систем. Позднее из-за экзотичности этого термина все же было принято название «постепенной формализацией модели принятия решений с попеременным использованием методов из групп МАИС и МФПС» [38, 39, 41].

Федор Евгеньевич мечтал издать книжку “Искусство формализации”, в которой в популярной форме рассматривался бы этот подход. Но в тот период не удалось найти форму изложения. Издательству «Наука» эта книжка казалась слишком популярной. А издательству «Знание» – слишком сложной. Брошюру с таким названием, с изложением идеи постепенной формализации в упрощенном варианте для школьников, изданную в СПбГТУ в 1999 г. В. Н. Волковой, которая посвятила ее своему учителю Федору Евгеньевичу Темникову [53].

«Ген» Темникова – это продолжение его идей развертывающих систем. Первоначально для информационных систем Федор Евгеньевич предложил трехмерное информационное пространство в виде множеств $\{XNT\}$ (см. выше и в [32]), а, занявшись разработкой автоматизированных систем управления, расширил число координат этого пространства.

Основные труды Ф. Е. Темникова ⁶¹

1. **Темников Ф.Е.** Диспетчерское управление автоматизированным производством азотной кислоты//Организация управления. 1935. № 6. С. 87–104
2. **Темников Ф.Е.** Автоматический контроль и учет в машиностроении. – М.-Л.: ОНТИ НИТП, 1935. – 132
3. **Темников Ф.Е.** Дистанционный контроль в промышленности. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1940.

⁶¹ Список заимствован из публикации В.Н. Волковой «ФЕДОР ЕВГЕНЬЕВИЧ ТЕМНИКОВ И ЕГО ВКЛАД В РАЗВИТИЕ ИНФОРМАТИКИ И ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (К 100-летию со дня рождения) .. В журнале.: Датчики и системы., № 6 (49), июнь 2003. С. 40-45.

4. **Темников Ф.Е.** Приборы автоматического контроля, основанные на методе динамической компенсации//Химическая промышленность. 1947. № 8.
5. **Темников Ф.Е., Харченко Р.Р.** Электрические измерения неэлектрических величин. – М.: Госэнергоиздат, 1948. – 348 с.
6. **Темников Ф.Е.** Метод динамической компенсации в автоматике и телемеханике//Электричество. 1948. № 3.
7. **Темников Ф.Е.** Мультиплицированные измерительные системы // Электричество. 1948. № 8.
8. **Темников Ф.Е.** Автоматический контроль. – М.: ВСНТО, 1949. – 16 с.
9. **Темников Ф.Е.** Автоматические регистрирующие приборы. – М.: Машгиз, 1954. – 372 с.; 2-е изд.: 1960 – 372 с. Изд. 3-е перераб. и дополн.: М.: Машиностроение, 1968, –383 с.
10. **Темников Ф.Е.** Центротехника. Управляющие центры автоматического производства // Приборостроение. 1958. № 4.
11. **Темников Ф.Е.** Информатика // Известия ВУЗов: Электромеханика, 1963, № 11.
12. **Проблемы** центротехники: Труды МЭИ. Вып. 52 /Под ред Ф.Е. Темникова. – М.: МЭИ, 1963. – 214 с.
13. **Темников Ф.Е.** Теория разветвляющихся систем. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 168 с.
14. **Темников Ф.Е. и Шенброт И.М.** Машины и системы централизованного контроля. – М.: ГОСИНТИ, 1964.
15. **Темников Ф.Е.** Некоторые аспекты теории информации//В Сб. докл. н.-т. конф. МЭИ. Подсекция автоматике и телемеханики. – М.: МЭИ, 1965.
16. **Темников Ф.Е.** Телемеханика и теория информации: Информационные системы: Электротехнический справочник. Т.3, кн. 2. – М.: Энергия, 1966.
17. **Темников Ф.Е.** Высшие системы // В сб. докл. научно-техн. конф. По итогам НИР за 1966-1967 гг. Секция Автоматики и вычислительной и измерительной техники. Подсекция автоматике и телемеханики. Ч. II. – М.: МЭИ, 1967. – С. 3 – 12.
18. **Темников Ф.Е.** Каноническая форма информатики//В сб. докл. научно-техн. конф. По итогам НИР за 1966-1967 гг. Секция Автоматики и вычислительной и измерительной техники. Подсекция автоматике и телемеханики. Ч. II. – М.: МЭИ, 1967. – С. 3 – 18.
19. **Ф.Е.Темников, В.Н.Волкова, И.В.Макарова.** Специальные программы исследования операций и принятия решений//В Сб: Прикладные проблемы исследования операций и систем. – М.: МДНТП им. Ф.Э.Дзержинского, 1969. – С.52–61
20. **Темников Ф.Е., Славинский В.Л.** Математические разветвляющиеся системы. – М.: Энергия, 1970. – 120 с.
21. **Prof. F.E.Temnikov, Dipl.-Ing. V.N.Volkova I.V.Makarova/** Systematik, Informatik und Intellektik als neue Verfahren der Datenverarbeitung//Rechentechnik Datenverarbeitung, 1. Jahrgang Beiheft, 1/2. Die Elektronisch Datenverarbeitung im Hochschulwesen der wissenschaftlichen: Konferenz der DDR. – Berlin, 1970. – P.18-22 (русский текст – **Ф.Е.Темников, В.Н.Волкова, И.В.Макарова.** Информатика – системати-

- ка – интеллектика – новые методы обработки данных//В сб. статей: Научная организация учебного процесса во вузах. – М.: Высш. школа, 1972. – С. 221–226).
22. **Темников Ф.Е., В.А.Афонин, В.И.Дмитриев** Теоретические основы информационной техники. – М.: Энергия, 1971. – 424 с. Изд. 2-е исправл. и дополн. – 1979. – 512 с.
 23. **Темников Ф.Е.** Высокоорганизованные системы//В сб.: Большие системы: Теория, методология, моделирование. – М.: Наука, 1971. – С. 85–94
 24. **Темников Ф.Е., Волкова В.Н.** Сигнатурные модели и их применение//Материалы II Всесоюзн. Симпозиума: Проблемы системотехники. – Л.: Судостроение, 1972. – С. 219–221
 25. **Темников Ф.Е., Волкова В.Н.** О применении сигнатурных моделей при проектировании автоматизированных информационных систем//В сб. трудов Второй Межвузовской н.-т. конф.: Достижения и перспективы развития технической кибернетики – М.: МВТУ, 30 мая – 2 июня 1972. – С. 66–5.
 26. **Темников Ф.Е.** Вопросы теории и методологии систем//В сб. трудов Московского ордена Ленина Энергетического института. Вып. 158. Системотехника. – М.: МЭИ, 1973. – С. 3–9.
 27. **Волкова В.Н., Темников Ф.Е.** Методы формализованного представления (отображения) систем: Текст лекций. – М.: ИПКИР, 1974. – 114 с.
 28. **Темников Ф.Е.** Основные положения теории систем//В сб. Проблемы больших систем: Матер. семинара. – М.: МДНТП им. Ф.Э.Дзержинского, 1974. – С. 3–15.
 29. **Темников Ф.Е.** Проблемы управления народным хозяйством и радиоэлектроника: Выступление на Всесоюзном семинаре-совещании лекторов «Радиоэлектроника и научно-технический прогресс». – М.: Знание, 1975. – 46 с.
 30. **Кувырков П.П., Темников Ф.Е.** Комбинаторные системы. М.: Энергия, 1975. – 152 с.
 31. **Темников Ф.Е.** Техническая информатика//Сб.: Автоматическое управление и вычислительная техника. Вып. 11. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 14–30.
 32. **Развертывающие системы**/Сб. статей под ред. В. Л. С л а в и н с к о г о. – М.: Энергия, 1976. – 279 с.
 33. **Темников Ф.Е.** Общая теория систем и интеграция знаний//Материалы семинара: Общая теория систем и интеграция знаний. – М.: МДНТП, 1976. – С. 3–11.
 34. **Темников Ф.Е., Федотов А.Г.** Принцип единого сигнального пространства и его применение в информационно-измерительных системах//Метрология, 1977. № 3.
 35. **Темников Ф.Е., Титов Е.А.** Развитие информационно-измерительных систем, работающих на принципе развертывающего преобразования//Измерения, контроль, автоматизация. 1980. № 3–4.
 36. **Темников Ф.Е.** Концепция поля времени в теории распределенных ИИС//В Сб. тезис. докл. VI Всесоюзн. Конф. по измерительным информационным системам. – Львов: 1981. Ч. 1.

37. **Темников Ф.Е.** Синхронные поля общения//Труды МЭИ. – М.: МЭИ, 1983. Вып. 603.
38. **Теория** систем и методы системного анализа в управлении и связи/Под ред. В.Г.Лазарева, В.Н.Рогинского, Ф.Е. Темникова, В.Н. Волковой – М.: Радио и связь, 1983. – 248 с.
39. **Темников Ф.Е.** Методы и модели разветвляющихся систем – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с.
40. **Системное** проектирование радиоэлектронных предприятий с гибкой автоматизированной технологией / В.Н.Волкова, А.П.Градов, А.А.Денисов и др. / Под ред. В.Н. Мясникова и Ф.Е.Темникова. – М.: Радио и связь, 1990. – 293с.
41. **Системный** анализ в экономике и организации производства: Учебник для студентов вузов / С.А. Валуев, В.Н.Волкова, А.П. Градов, А.А. Денисов, ... , Ф.Е.Темников и др./Под ред. С.А.Валуева, В.Н.Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – 398 с.
42. **Волкова В.Н., Денисов А.А., Темников Ф.Е.** Методы формализованного представления систем: Учебное пособие. – СПб.: СПбГТУ, 1993. – 107 с.

Список используемой литературы

43. **Жданов Г.М.** Телеизмерения. – М.–Л.: Энергоиздат, 1952. – 360 с.
44. **Семенюк Э.П.** Информатика: достижения. Перспективы, возможности. – М: Наука. 1988. – 176 с.
45. <http://nnn.rggu.ru/referat/lection/fyinf/11.htm>
46. **Михайлов А.И., Черный А.И., Гиляревский Р.С.** Информатика – новое название теории научной информации//Научно-техническая информация, 1966, № 12.
47. **Михайлов А.И., Черный А.И., Гиляревский Р.С.** Основы информатики. – М.: Наука, 1968. – 756 с.
48. **Михайлов А.И., Черный А.И., Гиляревский Р.С.** Научные коммуникации и информатика. – М.: Наука, 1976. – 435 с.
49. **Гуд Г.Х., Макол Р.З.** Системотехника: Введение в проектирование больших систем. – М.: Сов. радио, 1962. – 383 с.
50. **Сигорский В.П.** Математический аппарат инженера. – Киев: Техніка, 1977. – 766 с.
51. **Кухтенко А. И.** Об аксиоматическом построении математической теории систем //Кибернетика и вычислительная техника. – Киев: Наукова думка, 1976. – С. 3÷25.
52. **Волкова В.Н.** Из истории теории систем и системного анализа. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. – 252 с.
53. **Волкова В.Н.** Искусство формализации. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. 200 с.
54. **Якобсон Б.М., Козмидиади В.А.** Системы автоматизации управления производственными процессами и объектами. – М.: ЦНИИТЭИПРИБОР-ПРОМ, 1968;
55. **Якобсон Б.М., Розинкин А.Е.** Автоматизированные системы управления

*Victor Lankin*¹

Professor. Dr. of Economics

*John-Erik Andreassen*²

Associate Prof. ssor.

*Alexandr Shashkin*³

Associate Prof. ssor.

SOME PRINCIPLES AND CHARACTERISTICS OF THE DECENTRALIZATION PROCESSES IN OPEN SYSTEM

¹ Southern Federal University, Russia

² Ostfold University, Norway

³ State polytechnic University, Russia
lankin@tgn.sfedu.ru

Abstract The distribution of plenary powers between the managerial levels of the national, regional, firm`s etc., economical systems are the actual tasks and problems of the last decades.

In present work centralization and decentralization of economical authority is considered as a liberty degree in the organizational and financial behavior or lower levels of the system hierarchy with regards to the upper ones.

A criteria for political decision making on delegation more (less) economical freedom to the local or subordinated economical systems are the ability of rather independent functioning and parametric stability of mentioned systems on basis of self resources use within reasonable time frame.

Authors are proposing 4 foundations for decentralization purposes. Abundance of these foundations is providing the efficiency of the decentralization process. The balance of goals and means for any levels of system hierarchy is the main foundation of the decentralization goals realization.

In addition to mentioned above major aspects and characteristics of economical system stability and methods of quantitative evaluation are proposed.

Some examples of the Russian and West countries economical systems are presented in comparison.

Keywords: economical system, decentralization, economical liberty, stability, system persistence

Introduction

Interest to a problem of decentralization in economy again becomes especially actual at the end of XX century - time of crisis of a planned economy and fundamental social and economic transformations in the countries of former socialist camp.

The wave of similar transformations has touched the western countries with the advanced social and economic systems and, first of all, the countries with high degree of centralization of administrative authority like: Germany, Austria, Netherlands, Sweden and others. In these countries the centralism of administration managerial control, expedient during an epoch of post-war restoration and development, has turned to a serious obstacle to the further development of economy. It was especially showed in connection with integration of these countries into the European Union and, as consequence, rapid development of horizontal economic connections.

The wreck of systems of the Soviet type during this period (1990-92) was considered as the deciding proof of the superiority of the western model economic. However, continuation of an economic crisis in the Western Europe, some serious problems in the USA have a little shaken former belief.

Thus, theoretical and practical interest to the question of centralization and decentralization in economy remains rather actual for the countries with the most various sociopolitical and economic structures.

1. Decentralization of management in economic systems

Centralization or decentralization of management in social-economic systems concerns, first of all, to a problem of relations between managing center (authority of the national, regional, industrial ... economic systems) and the bottom levels of management of system.

Decentralization of management in economic systems is considered as the guaranteeing of some degree of freedom in decision-making of administrative and financial character at the lowest levels of hierarchical system in relation to the supreme.

2. Problems of decentralization of macroeconomic systems

Despite of basic difference of former socialist camp political systems of Soviet Union and the capitalist countries of the Western Europe and America, their social and economic systems developed in parallel but under rather similar script. Attempt to keep integrity and stability at extending economic freedom of market economy have resulted in strengthening of centralization of administrative authority of the advanced capitalist countries. In the former USSR the centralism of administrative and economic authority has been incorporated in a basis of the social - economic system of the country (fig. 1)

**Former URSS - pure 100 %
centralised system**

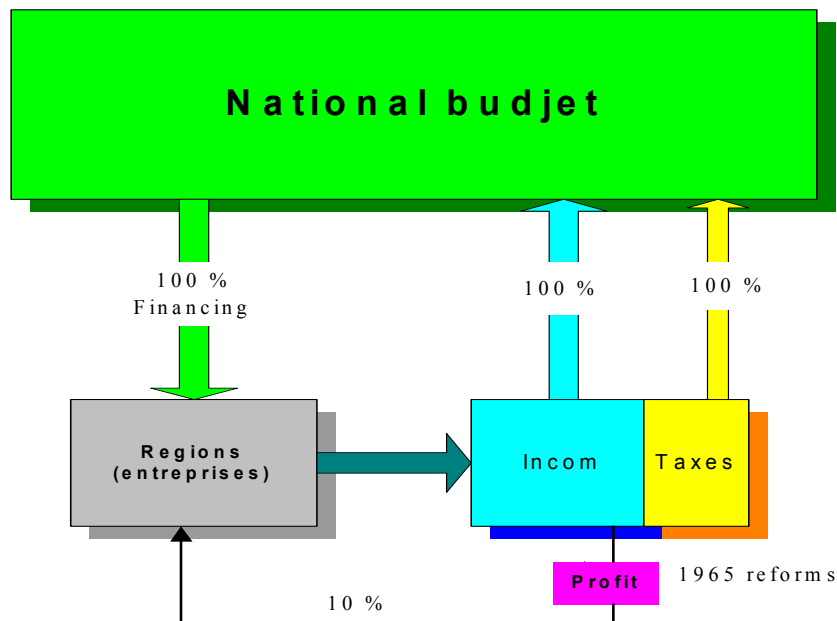


Fig. 1. The financial structure of former USSR

The beginning of 90th years of the last century is characterized by decentralization of management in Russia and strengthening of centralization in the Western countries, for example, in Netherlands, Germany, Sweden, etc.

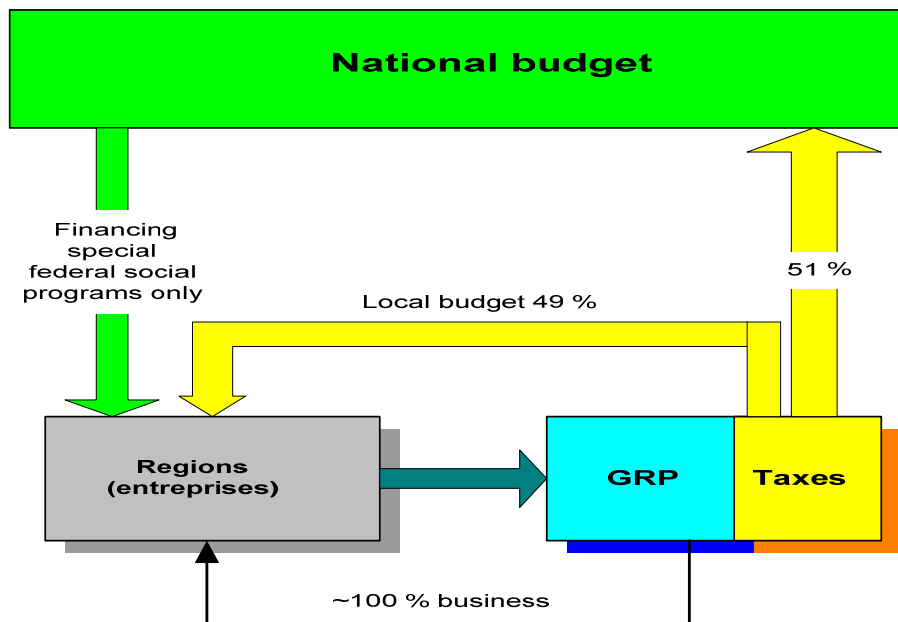


Fig.2. The financial structure of Russia now

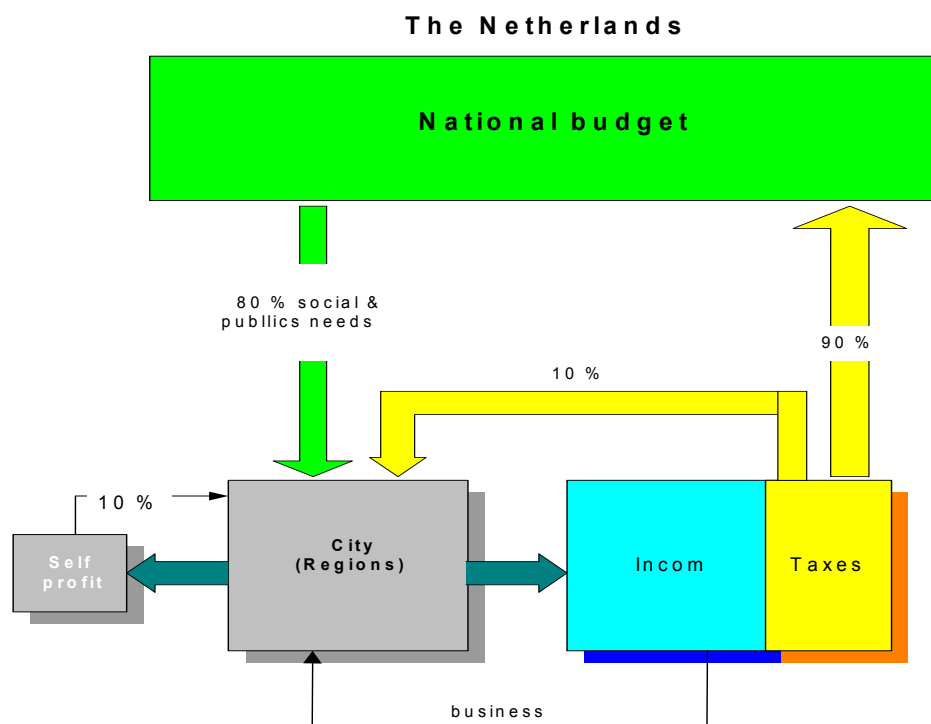


Fig. 3. The financial structure of The Netherlands

Excessive centralization of administrative authority, raising stability of social system, reduces efficiency economic on all her levels: макро, микро, regional and mezo. That finally has taken place in the former USSR. As it is not paradoxical, that occurs now in the countries of the Western Europe. The paradox is that Europe, being united on large, is concerned with decentralization of administration systems to please increases of economic efficiency. The same process is observed in economic systems: globalization of world business with simultaneous decentralization of microeconomic systems.

The basic idea and the purposes of decentralization of management is the increasing a system effectiveness as a whole due to improvement of functioning of her separate components. Efficiency of functioning of separate system components raises due to granting them "freedom of a choice» in the ways of achievement the general-system purposes [1].

This idea is not new. In technical cybernetics of times of 60th years this concept, reflected a method of a management efficiency increasing due to reduction the order of controlled system. This method follows from fundamental "Law Ashby" on necessity of the variety about managing system above controlled [2].

The concept of efficiency of economic system in this case is considered in the widest sense:

- More cheaply;
- Faster;
- Better quality;

- Great volumes of production.

One of most vivid examples of comparative advantages of centralization and decentralization of management in scale of national economies is competition of social- economic systems of the former USSR and the capitalist countries of the West in achievement of the high level of the people social protection. Examples of Swedish, German, French and Dutch "socialism" clearly show advantages market, decentralized economy before the centralized economy of former USSR of 1917-1990.

During socialism Russia some times tried to decentralize of the economic system: Lenin НЭП, Khrushchev "regional economic soviets", "internal self-financing" of prime-minister Kosygin and other less significant. However, all of them quickly damped due to insuperable contradictions between social system and rudiments of market economy, indispensable attribute of expansion of economic freedom. However, present China reforms shows a basic opportunity of similar decentralization in conditions of centralized social mode.

Here, to be fair, it is necessary to note, that centralization of management, both on макро-, and at micro levels of economic systems, under the certain conditions could be rather effective. Examples of that are unusually fast (less than 1 year) mobilization of industrial resources during the second world wars and the prompt (5-6 years) restoration of post-war economy in the USSR.

One of the major factor of success in restoration and further development of economy of post-war Japan was the integration of efforts of the private and public capital.

3. Main principles of the organization decentralized managements

The main rational criteria and principles for the system decentralization decisions making are the next [3]:

1-st principle - « Preservation of integrity » - during decentralization the system keeps the integrity, i.e. criterion function of an allocated subsystem or an element does not conflict to the basic purpose of system.

2-nd principle - « Balance of the purposes and means » - allocated subsystem has enough own resources for realization of her functions within the framework of all system. Subsystem possess by the relative financial

3-rd principle - "Stability" - . The allocated subsystem has to have "the stock of stability" which is necessary for indemnification of consequences of probable crisis;

4-th principle - "Operation speed" of an allocated subsystem and system as a whole is enough for activation of anti-recessionary resources during the required period of time.

4. Some methods of an estimation of the above-stated criteria.

4.1. Integrity reflects the balance of the basic system parameters like a

“balanced score cards” (BSC) of Norton and Kaplan [4] at a micro-level or “Leontjev economic sector balance” at a macro-level. The balance means the absence deficiency or surplus of resources which are necessary to company for effective functioning within the framework of strategic and tactical purposes. Unfortunately, authors cannot present the universal mathematical or other model of "balance" of economic system.

4.2. Balance of the purposes and means. Figure 4 evidently shows the ratio of the financial and information resources necessary for realization of management purposes at different levels of hierarchy - from the top management to the elementary operations at the lowermost level of the organization.

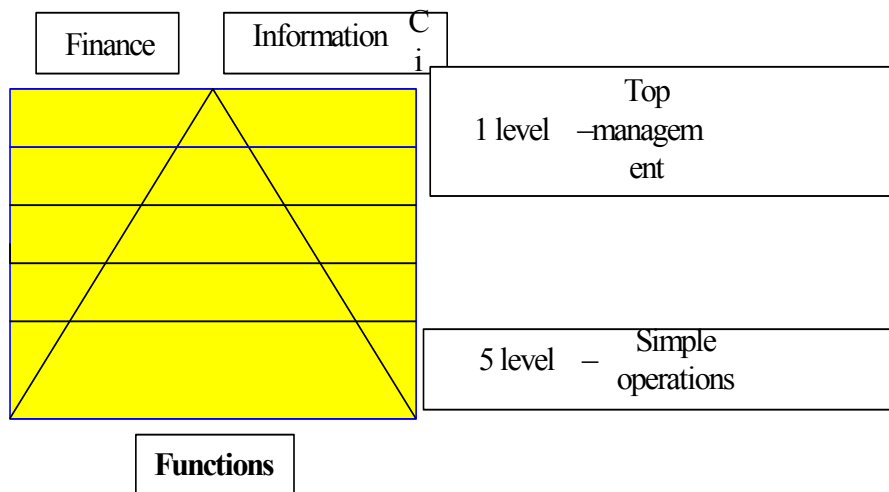


Fig. 4. Balance of the purposes and means of the organization hierarchies

As the top level of management has maximal responsibility for the result of organization activity it should have maximal freedom of decision-making and, accordingly, the maximal financial and information resources.

3. Stability of economic systems. In the general view "*stability*" means of system ability to restore initial or close to initial a mode at his{its} small infringement and to continue "normal" work after sharp infringement of a mode, keeping qualitatively former condition described by system of parameters [4].

With reference to economic systems it has to be practically to mark out the two basic kinds of stability, distinguished with mechanisms of its maintenance [5]:

- **Adaptive stability**
- **Stability of replacement** ("Postponed").

In a basis of *adaptive stability* the mechanism of indemnification of internal or external revolting influences is incorporated. As a matter of fact, it is a feedback mechanism or a homeostasis, well investigated in cybernetics and technical systems.

Stability of replacement: «postponed stability» means the presence at

system of an opportunity to leave from action of revolting factors .. Such leaving has **spatial** or **time** character.

Obviously, the opportunity the liquidation of the arisen crisis situations and return to a condition of balance depends, basically, from two moments [1]:

- Presence of the resources required for indemnification losses, caused by crisis - « a stock of stability»;

- «Speeds of activation of resources», required for output from a crisis situation.. Last remark characterizes the importance of time characteristics of economic systems - parameters *of the time lag* [6].

4.4. The operation speed of economic systems

This term reflects the speed of systems reaction (acceptance of measures on counteraction) on internal or / and external negative influence and depends from:

- Liquidities of enterprise property;
- The turnover of the enterprise actives,;
- Speeds of a revolution of money resources of national or regional economy;
- Speeds of a revolution "goods - money-goods";
- Duration of reproduction of a labor resources and other similar characteristics.

In work [5] **extensive** and **intensive** factors of stability are determined. **Extensive** factors determined the total amount of the resources controllable by system and **intensive** depends of reproduction abilities of system.

With reference to economic systems as examples of extensive factors can serve: material volume of monetary weight of macroeconomic system (M1, M2, M3) or volumes of actives of microeconomic system. In these cases intensive factors of stability are the *speed of monetary weight turnover V* in macroeconomic system and $V_a = 1/\tau$ - speed of the turnover actives of the enterprise (τ is the **lag effect** of microeconomic system).

In this treatment total of the energy controllable by system is $\mathbf{MxV}$. This volume characterizes a degree of its stability of macroeconomic system (« the Stock of stability. Equally it is possible to understand **M** as the resource potential of system or its material actives.

At division of economic system on n branches we have [6]:

$$M \cdot V = \sum_{i=1}^n (V_a \cdot \Delta A_a)_i,$$

Or

$$M = \sum_{i=1}^n \omega_i \bullet \Delta A_i,$$

Where $\omega_i = V_{ai} / V$ relative turnover value of i- branch. Actives

Obviously, to provide a necessary stock of stability it is possible in the extensive way of escalating of resource potential (economy of the USSR) or intensive - by its turnover acceleration during reproduction. In table 1 [6] the comparative data on speed of economic systems of the world are resulted

Table 1 Average values of economic systems speed (V) of some countries

<i>The countries</i>	<i>Compare values V</i>
The Great Britain	1.3
Germany	1.7
Switzerland	0.8
Sweden	2.1
Canada	2.1
THE USA	1.7
Russia (1985-1991)	2.2
Russia (1991-1995)	3.7
Russia (2014)	3.2 -3.4

For low inflationary countries (except for the world financial centers) low speeds of monetary circulation means growth of non-cash monetary weight in the form of deposits of bank system.. The last, obviously, is necessary to consider as investment resources.

The Fig. 4. illustrates concepts of "a stock of stability » and " of economic system *lag effect*.

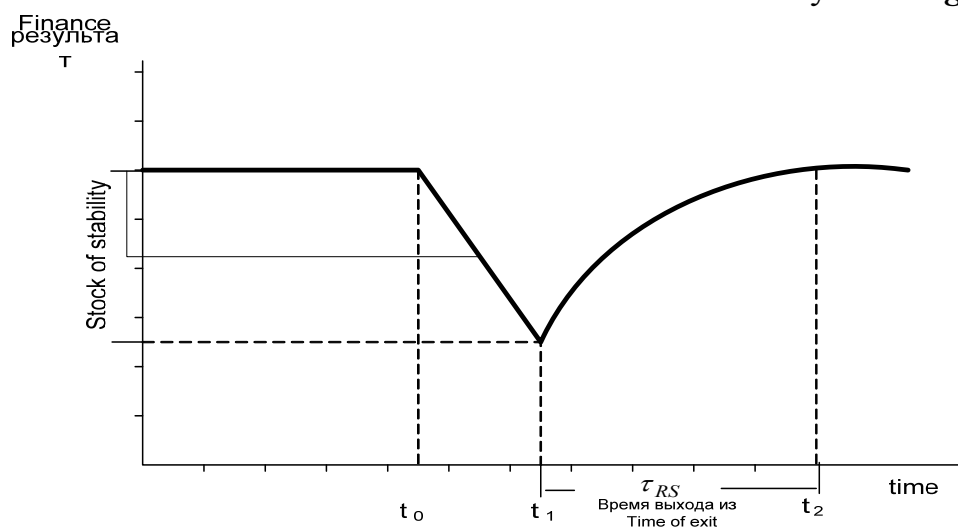


Fig. 5. The time diagram of development of financial crisis of the steady enterprise

For example, duration of an exit from post-war crisis of economy of the USSR makes by different estimations from 6 till 8 years that appeared possible in conditions of centralized of resources and managements. Time of restoration of economy of Russia after crisis and stagnations of domestic economy under different forecasts will borrow {occupy} from 8 till 15 years.

The quantitative estimation static (the stock of stability - **RS**) and dy-

namic (time of an output from crisis - τ_{RS}) [3] characteristics is possible with use of graphic interpretation of concept of liquidity of actives (A) which ranges them on time of realization - A (t) - fig. 6.

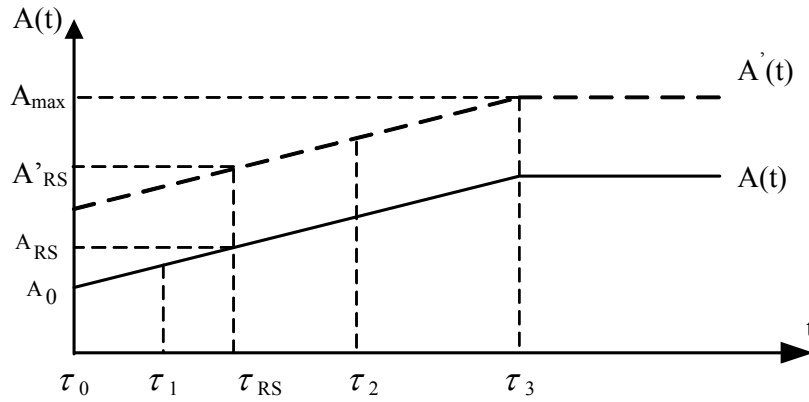


Fig. 6 Time dependences of liquidity of actives of the enterprise

$A_0(\tau_0)$ - absolutely liquid actives (the means monetary and equal to them);

$A_{1-3}(\tau_{1-3})$ - actives briefly, средне and long-term realization accordingly;

A_{max} - the sum of all actives of the enterprise;

$A'(t)$ - actives of the enterprise in view of a reserve on the unforeseen circumstances, equal

$$A_R = (A'_{RS} - A_{RS}).$$

Analytically, curve A (t) can be submitted by system of the equations:

$$A(t) = \begin{cases} A_0 + (A_{max} - A_0) \cdot t/\tau_3, & \text{при } 0 \leq t \leq \tau_3; \\ A_{max} & \text{при } t \geq \tau_3 \end{cases}$$

Thus, a stock of stability A_{RS} (or A'_{RS} at presence of reserve actives) of the enterprise and time of output from crisis τ_{RS} can be determined graphically (fig. 6) or analytically from the presented expressions. Presence of reserve actives, as it follows from figure, raises a stock of stability or reduces the time of the enterprise crisis consequences liquidation.

Here the financial result is used as an integrated parameter of activity of the enterprise. Excess of losses over « a stock of stability » means impossibility the exit from crisis without the help from the outside.

For an estimation of stability of economic systems in each separate case the complex of those or other time parameters is used. However, in any case speed τ_{RS} of system IRS depends on speed of the slowest process of activation of resources in a crisis condition.

Conclusion

Certainly, so brief article cannot reflect all extremely complicated problems of choice of methods in economic system management. However, authors are sure, that presented here observations and formulated criteria certainly will help to estimate opportunities of reasonable decentralization of a control system at a stage of decision-making and operational and tactical planning of actions on their implementation/.

References

- [1] Sapir J. Transition. Stabilization and Disintegration in Russia. The Political Economy of Country Unmaking // Emergo, 1995, Vol.2, № 4, pp 94-118
- [2] Ashby W.R. introduction in cybernetics. M., SILT. 1959, pp 27-34
- [3] Lankin V.E. Decentralization of management in social-economic systems (system aspect)., Taganrog, Russia, 2005 pp 156-181.
- [4] Kaplan R.S., Norton D.P. The balanced Scorecard Translating Strategy Action. Cambridg Mass. USA, 1996. pp 6-27
- [5] Urintcov A.I. Structural the analysis and designing of the distributed {allocated} economic information systems. " Economic-mathematical models and methods, T33 № 4. "Science", Moscow. Russia. 1997 pp 141-157
- [6] Lankin V.E., Olejnikova I.N., Dorovskoj S.B., Model of calculation of parameters of speed of monetary circulation in regional systems. «The Economic science of modern Russia », №1, Moscow, Russia 2000. pp 31-39

УДК 303.732

Reinhold Wessely,
Professor

MANAGEMENT BY OBJECTIVES IN THE SERVICE INDUSTRY. APPLICATION OF THE SYSTEM ANALYSIS CONCEPT

Austria, Vena
wessely@live.com

Abstract. The term “Management by Objectives” describes a process of defining “objectives” or goals for an organization which should be achieved by agreement between management and employees of that organization. In this process the motivation of all people involved is a prerequisite for the success of the business. Due to the fact that the employees of an organization have a key role in the process of setting goals and making decisions, this model can be called “participative management”.

Keywords: business, concept, management, participative management, system analysis.

Introduction

The principles of “Management by Objectives” can be applied to all types of enterprises, such as production, sales, marketing, finance, information systems and others. In the service industry the application of these principles are paramount.

Having explained the “Management by Objectives” concept as it might be used in the service industry, the author wants to explain how the problem solving technique of “System Analysis” can/shall be used/applied in Management by Objectives. System Analysis is "the process of studying a procedure or business in order to identify its goals and purposes and create systems and procedures that will achieve them in an efficient way".

System Analysis uses scientific approaches, methods and techniques in order to explain and manage various processes and activities. It means in a business operation that a financial input is used which – through a determined process – shall yield financial results which are better than the input.

The classical System Analysis is an indispensable element and tool for from the start on for the management of an enterprise which follows the rules of Management by Objectives. It is the “marriage” of two essential scientific experiences coming from different angles and resulting in common application of knowledge.

Modern management techniques follow the calls of the market for achievement of results and profits. Going back to Adam Smith [1] economic theories divide the economy into three sectors: the primary sector (raw materials), second sector (manufacturing) and the third sector (services). The economic goal of a business entity is to achieve continuous profits as a return of investment to the shareholders. This will be achieved by:

- growth of assets,
- increase in market share,
- excellent service to customers in order to keep them as customers,
- satisfaction of employees to motivate them,
- high productivity and efficiency,
- product innovation and development,
- and other means.

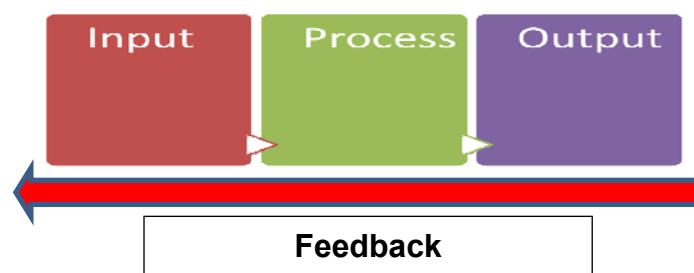
The service industry is no exception. Therefore, successful businesses in the service industry also follow the concept of Management by Objectives.

Management by objectives.

The term “Management by Objectives” has been introduced in modern management theories by Austrian born Peter Drucker [2] in 1954 in his book

“The Practice of Management”. In essence, it describes a process of defining “objectives” or goals for an organization which should be achieved by agreement between management and employees of that organization [3]. In this process the motivation of all people involved is a prerequisite for the success of the business. Due to the fact that the employees of an organization have a key role in the process of setting goals and making decisions, this model can be called “participative management”.

A key element of this process is the monitoring and – finally – the evaluation of the goals achieved. If the results of the process deviate from the originally established goals a “feedback” shall help to review and/or correct the original goals and start the process anew. This can be best described by the graphics below.



Graphic 1 – The input-process-output-feedback scheme.

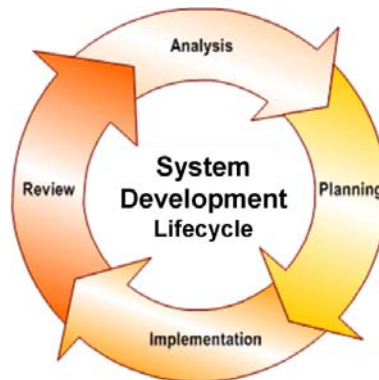
Description of the above

The goals which an entity, an organization, a corporation, any kind of business, want to achieve within a certain period (a business year, or a planning period of 3 to 5 years) are worked out jointly by management and key personnel of that organization. These goals represent the **input** into the process of realization. The **process** of realization of goals in a service organization might encompass

- number of new customers accounts,
 - reduction of costs by amounts or percent,
 - territorial expansion of the organization,
 - profit in terms of amounts or percent as returns on investment (ROI),
- etc.

During the implementation of the goals, but latest at the end of the business year or planning period, the results of the process (of the realization of the goals) emerge as **output** of the process. The output might be in line with the expected results, based on the goals, or might deviate from them. In this case, a **feedback** process as an analysis will start, followed by corrective measures to bring the results in line with the goals, or, in some instances, where the goals might be unrealistic, in line with adapted goals.

Thus, one could argue that the process as depicted above becomes a more permanent or cyclical process, or, as modern terminology has defined it, a **“lifecycle”** [4].

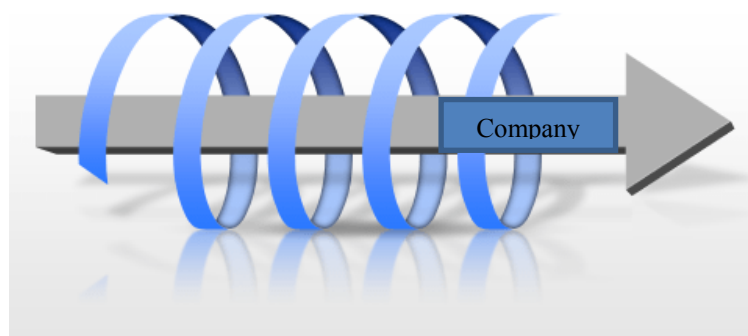


Graphic 2 – Lifecycle.

Another way to graphically describe the ever continuing process of input-process-output-feedback is shown below.

3D Spiral Chart

Enter your subheadline here



Graphic 3 – The lifecycle ever continuing input-process-output-feedback model.

The principles of Management by Objectives can be summarized as follows:

- strong motivation of employees based on job satisfaction,
- excellent communication and coordination between superiors and employees,
- clarity of jointly elaborated goals,
- responsibility for achieving goals,
- monitoring and evaluation of achievements throughout the process.

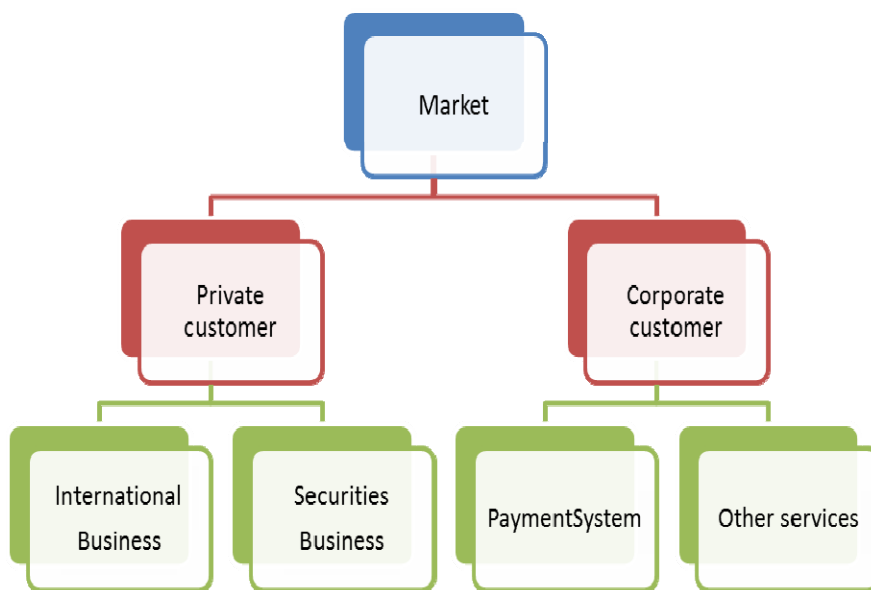
These principles can be applied to all types of enterprises, such as production, sales, marketing, finance, information systems and others. In the service industry the application of these principles are paramount.

Logical consequences in the service industry are to assign the responsibility for a certain customer, or customer group, to a specific person, the account manager. In this way, the development of a customer relationship and its development, including risk assessment, profitability of this relationship, is the responsibility of the account manager. He/she builds up the relationship, sets the objectives for further development, monitors the achievements and, finally is judged by the results and the profitability.

As an example, the development of banking can be used to explain briefly this management tool.

In the 1960s banking became more competitive and more global. This development led to a diversification and expansion of bank services. Private customers became more interesting and more lucrative for banks. At the same time, customers demanded more, better, and more personal and efficient services. This changed the organizational structure of banks in order to meet the demands of the customers and the whole banking market.

A modern bank organization can be depicted as follows:



Graphic 4 – modern banking organization.

This picture indicates that the personal account manager for private customers as well as the one for corporate customers is close to the market. He/she is a “universalist”, meaning he/she is responsible for the whole relationship with the specific customers.

The account manager is supported by the various product units, such as international business, securities business, payment system and other services.

Thus, the account manager is responsible for identifying a potential customer (as defined by the objectives developed by management and staff), acquiring a customer, maintaining the customer relationship and make it profitable, monitoring the risk and the planned achievements and, finally, harvest the profitable results. In case, deviations from the original goals are determined, corrective measures have to be taken. In case, the goals turn out to be unrealistic, they have to be adapted, in case the results are unsatisfactory corrections have to be made as far as applied methods and/or the involvement of the account manager is concerned [5].

As mentioned above, the basic principle, as defined by Peter Drucker, is to determine jointly (by management and employees) the objectives of the organization, to organize the process of their implementation and to monitor and evaluate the results and to start a feedback process.

From practice we can learn:

- Objectives are determined with the employees;
- Objectives are formulated at both quantitative and qualitative levels;
- Objectives must be challenging and motivating;
- Daily feedback on the state of affairs at the level of coaching and development instead of static management reports;
- Rewards (recognition, appreciation and/or performance-related pay) for achieving the intended objectives is a requirement;
- The basic principle is growth, development and profit; not reprimands of employees.

Application of the System Analysis Concept

Having explained the “Management by Objectives” concept as it might be used in the service industry, the author wants to explain how the problem solving technique of “System Analysis” can/shall be used/applied in management. According to the Merriam-Webster dictionary, systems analysis is "the process of studying a procedure or business in order to identify its goals and purposes and create systems and procedures that will achieve them in an efficient way". Analysis and synthesis, as scientific methods, always go hand in hand; they complement one another. Every synthesis is built upon the results of a preceding analysis, and every analysis requires a subsequent synthesis in order to verify and correct its results.

In this way, the concept of “System Analysis” meets, and is similar to, the concept shown above under “Management by Objectives”. The graph of above, therefore, is repeated with different titles.



Graphic 5 – The System Analysis Approach.

System Analysis uses scientific approaches, methods and techniques in order to explain and manage various processes and activities. It means in a business operation that a financial input is used which – through a determined process – shall yield financial results which are better than the input. As an example: an investment shall yield a return higher than the input over an anticipated period of time. A permanent feedback process confirms the economic validity (i.e. profitability) and the continuity (i.e. sustainability) [6] of such a process.

System analysis nowadays is widely used in processes of information technology.

With regard to the service industry, we find the following features for the application of System Analysis described above. We have to start the analysis with the market where an enterprise has to find its customers. The goals of the business – elaborated jointly by management and employees – will define number of clients, territories, profitability of each client, or each client group with a certain period, the tools and costs for acquisition and maintaining and expanding the relationship. The monitoring and evaluation process shall compare the results with the original goals and set corrective steps, if necessary, to stir the process to the desired results.

When System Analysis becomes a tool for Management by Objectives

From the afore discussed we can learn that the classical System Analysis is an indispensable element and tool for from the start on for the management of an enterprise which follows the rules of Management by Objectives. It is the “marriage” of two essential scientific experiences coming from different angles and resulting in common application of knowledge.

Concluding remarks with regard to Russia

The author, in the course of working and academic teaching in Russia during the past 20 years, could observe from various perspectives in various entities the practice of management in Russia. Whereas positive developments have occurred in the past 20 years, there are still significant deficiencies in management which create obstacles for further sustainable development of the economy and related productivity and profitability of businesses.

In summary, it can be said:

– The concept of Management by Objectives (including the use of System Analysis), a recognized and widely used methodology in Europe and in the USA, has neither found its way into academic teaching nor in common practice of Russian corporation. Instead of a “participative” management style, military command style (“father knows best”) seems to be the accepted and practiced way to run an enterprise. As a result, motivation and productivity are low, as the examples from OECD statistics show:

GDP contribution per hour worked as % of USA (USA=100):

USA	100
Germany	90
Russian Federation	37.

– The tertiary sector – compared to Europe and the USA – is less developed. Although banks and insurance companies have been founded on a large scale during the past 20 years, this development is not sustainable as the closing of many such institutions in the past years have shown. One contributing factor was management, or, better, the lack of modern management methods, such as Management by Objectives.

– Sustainability seems to be not of concern of businesses. Rather, quick decisions - instead of thorough analysis – fast cash-ins of profits, instead of reinvestment for a long-term development is the non-sustainable practice of many businesses. A lack of trust in the economy and reluctance to invest are severe obstacles to a sustainable growth of the Russian economy.

Reference

1. Adam Smith (1723-1790): Founder of classical economic sciences and market economy.

2. Peter F. Drucker (1909 in Vienna – 2005 in the USA): Economist, published numerous works about theories and practice of management, focusing on marketing, innovation, competition of enterprises and motivation of employees.

3. Participatory management. Whereas this type of management is common in Europe and in the US, the typical management system in Russia still is the (military) “command type” which in many cases is responsible for lower productivity and waste of resources – as the author has experienced in his long time work in Russia.

4. Life Cycle. This term is widely used to describe the process of management a product from inception to service. In this connection the term “product lifecycle management” (PLM) also is used encompassing all processes and people involved.

5. Reinhold Wessely: Account Management im Bankbetrieb, in Die Betriebswirtschaft, Nr.41/1981, C.E.Poeschl Verlag, Stuttgart.

6. Sustainability. This term has been coined 2005 by the UN World Summit of Social Development Goals. It encompasses economic and social development and environmental protection with the goals to preserve and improve the quality of human life for future generations.

УДК: 316.334.3

Тарасенко Феликс Петрович
доктор технических наук, профессор

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЦЕЛЯХ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ

Россия, Томск; Национальный исследовательский
Томский государственный университет
ftara@ich.tsu.ru

Аннотация: Управленческое решение основано на моделях, содержащих информацию о текущем (проблемном) и желательном (целевом) состоянии управляемой системы, о возможных способах продвижения к цели, и о необходимых для этого ресурсах. Успешность управления зависит от правильности каждой из рабочих моделей и от правильности их использования в технологии управления. Обсуждаются возможности повышения эффективности управления в социальных системах за счёт повышения качества моделей и профессионализма руководителей.

Ключевые слова: Социальные системы, управление, моделирование, системность Природы.

Felix P. Tarasenko
D.Sc. (Cybernetics), Prof.

ON SOME PECULIARITIES OF GOVERNANCE-ORIENTED MODELING OF SOCIAL SYSTEMS

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia
ftara@ich.tsu.ru

Abstract. Decision-making in governance is based on models of the governed situation and on information of resources needed and available for moving the system up from problematic into intended state. Success in achieving goals critically depends on accuracy of every model involved in each of many operations in the process of governance, and on correctness of treating the models. Some possibilities of raising effectiveness and efficiency of governance through improving modeling and craftsmanship of decision-makers are considered.

Keywords: Social systems, governance, modeling, nature of a system.

Наши учреждения работают плохо потому, что не следуют законам эффективной организации, о которых их администраторы не знают и даже не желают знать, поскольку они убеждены, что нет, и не может быть науки, способной открыть такие законы.

Стаффорд Бир [1]

1. Неудачи в управлении – следствие ошибок при моделировании управляемой системы

Любая деятельность человека направлена на решение стоящей перед ним проблемы (т.е. на достижение поставленной им цели). Управленческая деятельность субъекта есть выполнение им определённой последовательности действий (операций) над управляемой системой по переводу её из *проблемного* (существующего, но неудовлетворительного) состояния в *целевое* (несуществующее, но желательное) состояние. И каждая операция (а значит, и вся управленческая деятельность) *основана на моделировании* происходящих событий: на основе описания (*модели*) существующего состояния системы и сравнения его с описанием (*моделью*) целевого состояния, мы проектируем (*моделируем*) возможные, то есть реализуемые в рамках наших знаний (*моделей*) о природных условиях изменения реальности (управляющие воздействия), которые *на моделях* переводят систему в целевое состояние и, будучи исполнены на самой системе, должны осуществить это в реальности.

Полный цикл управления разбивается на два этапа: 1) разработка и принятие управленческого решения на наших рабочих моделях реальности, и 2) исполнение принятого решения в самой реальности. Успешность управления в решающей мере зависит от качества каждой и всех моделей, задействованных в управленческой деятельности. Если любая из моделей содержит ошибочную информацию, или содержит не всю необходимую информацию об управляемой системе и об окружающей её среде, то осуществление спроектированного на основе такой модели управляющего воздействия не приведёт к ожидаемому результату.

Каждый этап состоит из определённой последовательности операций. На первом этапе управления искусственной (созданной нами) системой мы располагаем полной информацией об управляемой системе. Поэтому неудачи в управлении *технической* системой связаны лишь с ошибками в моделях окружающей среды или неправильным использованием информации о системе; для того, чтобы предотвратить такие неуда-

чи в работе с техническими системами, разрабатываются «Правила техники безопасности».

Социальные же системы гораздо более сложны, изменчивы и разнообразны: наши модели управляемой социальной системы и её окружения в очень редких случаях достаточно полны для успешного управления (почему и происходит черномырдинское «Хотели как лучше, а получилось как всегда»). Причины своих неудач в управлении руководитель обычно усматривает в происках врагов, неуклюжести исполнителей, или «обстоятельствах непреодолимой силы». На самом же деле реальной причиной является использование руководителем недостаточно адекватных моделей в процессе выполнения каких-то операций при выработке управления: все *существенные для достижения цели* внешние и внутренние обстоятельства должны быть учтены заранее (в том числе и в планах на случай возникновения непредвиденных обстоятельств – “*contingency plans*”).

Очевидно, что мерами для повышения эффективности управления социальными системами являются: а) повышение профессионализма руководителей (т.е., уровня системности их мышления и практики), и б) повышение качества профессиональных инструментов управления, – рабочих моделей социальных систем и технологий работы с ними. Практическое осуществление этих мер наталкивается на целый ряд трудностей.

2. Профессиональные компетенции менеджеров

Первое направление повышения качества управления – совершенствование мастерства действующих менеджеров в разработке управленческих решений, овладения всеми тонкостями технологии проектирования успешного решения проблем. Главная трудность на этом направлении проистекает из фундаментального закона природы: любая система сопротивляется любым изменениям извне (в виде инерции механических систем, закона Бойля-Мариотта в термодинамических системах, инстинкта самосохранения биологических систем). В социальных системах эта закономерность проявляется ещё и в сфере психологии руководителей.

Во-первых, при подборе своей управленческой команды первый руководитель, как правило, отдаёт приоритет не критериям профессионализма и компетентности нижестоящих руководителей, а критерию преданности их себе. Во-вторых, психика людей такова, что по мере повышения своего уровня во властной иерархии, руководитель всё более уверен в собственной правоте, и склонен всё менее принимать во внимание отличающиеся суждения окружающих, а в результате – всё чаще принимает ошибочные решения. (Интересно, что эта экспериментальная закономерность роста ошибочности в принятии решений по мере роста власт-

ности, несколько слабее выражена у менеджеров-женщин, чем у мужчин [2]).

Способы преодоления этих трудностей давно и хорошо известны. Первый – это повышение требовательности к профессионализму кандидатов на управляющую должность. Например, в Японии назначаемый на конкретную должность чиновник должен сдать строгий экзамен на владение методами отправления именно данной должности; в постсоветской России был принят закон о возможности получить назначение на государственную должность выше начальника департамента только при наличии диплома о получении высшего образования по специальности «Государственное и муниципальное управление» (правда, при переходе на двухступенчатую систему нашего высшего образования, – бакалавриат и магистратуру, – ситуация несколько разрыхлилась).

Второй способ – постоянно повышать профессиональную управленческую квалификацию действующих руководителей, встроив функцию *непрерывного обучения* в число их должностных обязанностей. В современных условиях становится недостаточным традиционное обязательное периодическое (обычно раз в пять лет) прохождение «курсов повышения квалификации», предусмотренное для ряда должностей. Университеты во всём мире открывают разные краткосрочные (от нескольких дней до нескольких недель) программы послевузовского образования, предназначенные для руководителей разного уровня, стажа работы и отраслевого профиля. Крупные организации начали использовать различные формы непрерывного обучения своего руководящего состава, от создания «корпоративных университетов», до введения практики проведения Генеральным директором регулярных рабочих семинаров («*Serious thinking sessions*» и «*Thinking skills modules*») со всеми менеджерами организации [3].

Наиболее эффективно обучение на собственном опыте: ведь неудачи управления есть результат дефектов в рабочих моделях руководителя, и из совершённой ошибки можно извлечь информацию для внесения поправок в соответствующую модель. По существу, это и есть эффективный алгоритм управления сложными системами – *метод проб и ошибок*.

С сожалением приходится констатировать, что в сфере управления социальными системами пока ещё не сложилось столь же чёткого представления о технике безопасности, как в управлении техническими системами. Хуже того, в распространённых системах бюрократического управления социальными системами вообще не соблюдается основное требование метода проб и ошибок: включать в модель всю информацию, содержащуюся в произошедших в результате управления отклонениях от целевой траектории.

Во-первых, чиновника наказывают за ошибку в принятии решения, – вместо того, чтобы поощрять извлечение им полезной информации из совершённой ошибки и неповторение её в дальнейшем.

Во-вторых, в распространённой практике бюрократического управления регистрируются (и наказываются!) ошибки *совершения* (когда совершается то, чего не следовало делать), и не уделяется должного внимания ошибкам *несовершения* (когда не делается то, что следовало сделать): ведь чиновник «ничего не сделал». И это притом, что урон от ошибок несовершенства гораздо больше: они непоправимы.

В результате, во избежание наказаний, чиновник всячески уклоняется от принятия положительного решения (проявлением этого являются печально известные бюрократическая волокита, перебрасывание на других ответственности за принятие решения, отказы в удовлетворении обоснованных просьб).

В совершенствовании функции «пожизненного» обучения руководителей заложен большой потенциал повышения качества управления. Настоятельной задачей совершенствования управления в социальных системах является развитие этой формы повышения компетентности и профессионализма руководящих кадров и поиск дополнительных возможностей способствовать этому повышению.

Большим потенциалом в этом отношении обладает участие самих руководителей в освоении и развитии *системного мышления* и системной практики (именуемой часто *проектным мышлением*) [4, 5].

Более того, в современном менеджменте созрело понимание, что функция обучения должна стать основой развития не только самих руководителей, но и организации в целом. Одним из существенных дополнений в структуре всей организации становится создание специального подразделения – подсистемы адаптации и научения организации (базы данных и знаний с одноконтурной и двухконтурной обратной связью по результатам управления), постоянно используемой менеджерами всех уровней организации [6, 7].

3. Повышение адекватности моделей

Эффективность управления зависит не только от мастерства менеджеров в технике работы с моделями разных состояний управляемой системы (проблемного, целевого и всех промежуточных между ними), но не в меньшей степени – от степени адекватности самих рабочих моделей.

Модель считается адекватной, если её использование в управлении приводит к успеху в достижении цели. А поскольку цели каждого этапа в процессе проектирования управляющего воздействия специфичны, то для выполнения каждого этапа требуются разные модели (комплекты сведений о системе). Вся информация о любой системе комплектуется в

виде трёх базовых типов моделей: модели чёрного ящика (перечня существенных входов и выходов), модели состава (перечня существенных частей системы) и модели структуры (перечня существенных связей между частями), которые в разной степени детальности и в разных нужных сочетаниях используются в каждой конкретной операции. Здесь *адекватность* скрывается под маской *существенности*: существенными для успеха в достижении цели являются специфичные для этой цели наборы нужных элементов нужных типов моделей из всей доступной информации о системе.

Рассмотрим с этой точки зрения варианты моделирования *социальных систем* в целях управления ими. Управление конкретной организацией основано на учёте индивидуальных (и уникальных!) особенностей её и её окружения. Эти особенности заключаются в специфике присущих именно данной системе приоритетов и пропорций на всём множестве функций любой социальной системы.

Моделирование данной системы начинается с расстановки соответствующих акцентов на элементах модели *любой* социальной системы: идентичность системы определяется её отличиями в использовании, производстве и распределении ресурсов, необходимых для жизнедеятельности социальных систем. Информация об этом содержится в модели *чёрного ящика* социальной системы: входы и выходы системы и есть потоки потребляемых системой ресурсов, необходимых ей для производства ресурсов, распределяемых в большей социальной системе, частью которой она является.

Вопрос о том, какие из ресурсов существенны для включения в модель, решается по-разному разными авторами (в связи с субъективностью любых оценок). Известны трёхмерные [6] и пятимерные [8] модели ресурсов, специфичных для социальных систем. В стремлении предложить универсальную базу для построения модели любой системы, попытаемся предложить *полный* (восьмимерный) перечень ресурсов, необходимых для жизнедеятельности любой социальной системы (в стиле «все-стороннего (360⁰) оценивания», см. Рис. 1). Полнота здесь понимается в том смысле, что если в практике потребуется рассматривать ещё один вид ресурса, то это будет лишь какая-то разновидность одного из восьми базовых типов.

Каждая социальная система потребляет, перерабатывает и производит *все* виды ресурсов. Различие между социальными системами сводится к тому, что они *в разных пропорциях* производят и распределяют (а в связи с этим и потребляют) каждый из видов ресурсов. Например, университет ориентирован на производство и распределение знаний, промышленное предприятие – на производство материальных благ, театр – на производство эмоций. Но принципиально важно, что каждая система

потребляет и производит (в собственных пропорциях, соответствующих конкретному типу своей деятельности) *все* виды ресурсов.



Рис. 1. Модель чёрного ящика социальной системы: перечень типов входных и выходных ресурсов, конкретные потоки которых и есть проявление жизнедеятельности любой социальной системы.

Поэтому на начальном этапе описания *существующего* состояния системы – этапе моделирования проблемы и проблемной ситуации – стремление к адекватности требует включения всех ресурсных входов и выходов в рабочую модель системы. Отдельный вопрос – учёт не только самих ресурсов, но и того, что каждый ресурс является благом лишь в определённых пределах объёма и темпа его потока (подобно влаге для

урожая: между засухой и наводнением, температуре воздуха для животного: между морозом и жарой). Философия отображает эту особенность природы понятием «единства и борьбы противоположностей»: любая объективная сущность имеет (с точки зрения субъекта!) как положительные, так и отрицательные качества.

Однако, когда дело доходит до этапа определения (моделирования) *целевого* (не существующего, но желательного) состояния, то субъект сосредотачивает внимание на решении конкретной проблемы, т.е. на исправлении только тех особенностей социальной реальности, которые вызывают его неудовлетворённость. Так и возникают принципиально разные подходы к управлению социальными системами. Например, Маркс рассматривал *экономику*, – способ производства и распределения благ, – как главную причину всего происходящего в обществе; для Вебера главным была *власть*; Богданов считал *знания* организующей основой общества; религиозные мыслители считают *духовные ценности* основой всего сущего. (Заметим, что односторонность любого подхода при его практической реализации в многосторонней реальности социума требует подавления «несогласных»: врагов народа в марксистских режимах, диссидентов в диктаторских, псевдоучёных в научных сообществах, неверных и отступников в религиозных).

Требование адекватности всех рабочих моделей в управлении делает необходимым учитывать индивидуальные особенности управляемой системы и её окружения. Информация об этом представляется в моделях состава и структуры системы и моделях окружающей среды.

Специфика социальных систем заключается в том, что их существенными элементами состава, кроме объектов, являются субъекты (индивиды и группы индивидов), а существенными связями в структуре, наряду с объективными, – эмоциональные отношения между субъектами (приязнь – терпимость – неприязнь, дружелюбность – толерантность – враждебность). По-разному приходится подходить к управлению (решению проблем) в социальных системах с разными пропорциями согласия и конфликтности между всеми субъектами, вовлечёнными в данную проблемную ситуацию.

С другой стороны, и специфика окружающей среды данной социальной системы тоже характеризуется конкретным сочетанием в разных пропорциях трёх источников трудностей в управлении: степени сложности, характера временной изменчивости, и размерности разнообразия среды. И каждый требует особой техники работы с ним.

В результате каждая ситуация в менеджменте уникальна и требует индивидуального подхода [9]. М.Джексон приводит критический обзор разработанных и успешно опробованных на практике десяти системных подходов к решению проблем в разных типах ситуаций [5], но обращает

специальное внимание практикующих менеджеров на целесообразность творчески сочетать технические приёмы (особенно – использование метафор) из разных подходов в работе над своей ситуацией.

Список литературы

1. S. Beer. *Designing Freedom*. Toronto: CBC Publication, 1974.
2. K. See, E. Morrison, N. Rothman, J. Soll. The Detrimental Effects of Power on Confidence, Advice Taking, and Accuracy. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, № 2, Vol. 116, 2011.
3. www.trojanmice.com.
4. Р.Акофф, Дж.Магидсон, Г.Эддисон. Идеализированное проектирование. Днепропетровск: Баланс Бизнес Букс, 2007.
5. M.C.Jackson. *Systems Thinking: Creative Holism for Managers*. Chichester: John Wiley & Sons, 2007.
6. Р.Акофф. *Менеджмент в XXI веке. Преобразование корпорации*. Томск: Издательство Томского университета, 2006.
7. К.Арджирис. *Организационное научение*. М.: ИНФРА-М, 2004.
8. J.Gharajedaghi. *Systems Thinking: Managing Chaos and Complexity*. Butterworth-Heinemann, 1999.
9. J.Pourdehnad, L.Starr. Rethinking Executive Education: A Program for Responding to Sudden Disruptions Caused by Dynamic Complexity. Working Paper #14-03, Univ. of Pensilvania, 2016.

УДК 681.3.658.52.011.56

Горелова Галина Викторовна

Д-р техн. наук, профессор, профессор

КОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ И ОБОСНОВАНИЮ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Южный Федеральный университет, Таганрог

gorelova-37@mail.ru

Аннотация. В докладе обоснован когнитивный подход к исследованию и моделированию проблем организационных систем разной природы, представлены одноуровневые и иерархические когнитивные модели, приведен пример когнитивной модели проблем системы образования в ее взаимодействии с обществом (укрупненно) и результат сценарного моделирования на модели.

Ключевые слова: системный подход, когнитивное моделирование, организационная система, модель, процесс, исследование, решение,

Galina V. Gorelova

Doctor of Technical Sciences, Prof., Prof.

COGNITIVE APPROACH TO THE DEVELOPMENT AND JUSTIFICATION MANAGEMENT DECISIONS IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS

Southern Federal University , Taganrog
gorelova-37@mail.ru

Abstract. . In the report substantiated a cognitive approach to the study and modeling of different natures of organizational systems of problems, are presented are simple and hierarchical cognitive models, is an example cognitive model of of the education system problems in its interaction with society (coarsening) and the result of the scenario simulation on model.

Keywords: systemic approach, cognitive modeling, organizational system, model, process, research, solution.

К настоящему времени сформировался системный подход к изучению организаций, позволивший рассматривать их во взаимодействии со средой, в подчиненности закономерностям систем единства всех составляющих элементов, подсистем и процессов этих систем. В его основе лежит общая теория систем [1-3], созданная трудами многих выдающихся ученых и продолжающая активно развиваться, впитывая достижения многих наук. В данной статье речь пойдет об одном из направлений развития системного подхода – когнитивном [4,5] и его применении в изучении организационных систем.

Существует много определений понятия «организационная система». Воспользуемся в данном случае определением- моделью из [1]. Система S это:

$$S = \{PL, RO, RI, EX, PR, DT, SV, RD, EF\}, \quad (1)$$

где PL - цели и планы, внешние RO и внутренние RI ресурсы, EX - эксперты (исполнители), PR - процессы, DT - помехи, SV - контроль, RD - управление, EF - эффект.

Среди элементов этой модели, а также и других определений, существенным с позиций когнитивного подхода являются то, что: участник организации (EX) воспринимается как лицо, имеющее право принимать решение (согласно Г. Саймону); организация имеет «входы», «выходы» (PL, EF) и определенное количество внешних связей; любая организация – это открытая система, взаимодействующая с внешней средой; организация – это многоуровневая система; организация – социальный меха-

низм для реализации целей, цель – системообразующий фактор для организации; цель организации может быть достигнута разными способами и с разными скоростями; организационная цель – это некоторый идеальный проект её будущего состояния.

Изучение организационной системы требует изучения всех её вышеобозначенных признаков, также главных её характеристик – структуры и поведения. Это необходимо для научного предвидения процессов в системе и возможных направлений развития при имеющихся ресурсах (RO , RI) и помехах (DT), разрабатывать стратегии развития (PL), оценивать их результаты, «управлять будущим» (RD) организации в желаемом направлении. В этих целях применение методов когнитивного имитационного моделирования сложных систем может оказаться незаменимым.

Системообразующей базой когнитивного моделирования сложных систем является метамодель исследования, основанная на [6]:

$$M = \{M_O, M_E, M_{OE}, M_D, M_{MO}, M_{ME}, Q, M_U, M_H, A\}, \quad (2)$$

в которой: M_O – идентифицирующая модель системы (модель объекта), M_E – модель окружающей среды, M_{OE} – модель взаимодействия объекта и среды, M_D – модель поведения системы, M_{MO} и M_{ME} – модели измерения состояния системы и окружающей среды, Q – возмущающие воздействия, M_U – модель управляющей системы, A – правила объединения моделей и выбора процессов изменения объекта, M_H – модель «наблюдателя» (инженера-когнитиволога, эксперта, исследователя). Как видим, в модели (2) отражены основные элементы модели (1) организационной системы.

Математические модели M_O , M_E , M_{OE} в совокупности – это когнитивная модель; заметим, взаимодействия между вершинами (концептами) когнитивной модели могут быть представлены системами уравнений, а также на языке теории вероятностей и нечетких множеств. M_D – модель поведения системы в виде импульсных процессов, реализуемых при моделировании возмущающих и управляющих воздействий на когнитивной модели; M_{MO} и M_{ME} – это наборы правил, процедур, измерительных средств (измерения состояний объекта и среды).

Разработка всех вышеназванных моделей входит в процесс когнитивной структуризации знаний эксперта. Введение в метанабор M «наблюдателя», «эксперта» позволяет строить методологию исследования и принятия решений с учетом развития процесса познания объекта в сознании исследователя. Модель наблюдателя проявляется в процессе познания объекта и принимаемых им решениях; в конечном итоге моделью его восприятия, познания и понимания объекта является когнитивная модель сложной системы. Разработка метамодели (2) фиксирует цели, задачи исследования и принятия решений, позволяя строить систему исследования. В процессе исследования и последовательного принятия ре-

шений экспертом объекты метамодели могут видоизменяться. Начальная модель системы в виде когнитивной карты может последовательно преобразовываться в более сложную математически (и по содержанию) когнитивную модель, например, типа параметрического векторного функционального графа:

$$\Phi_{\Pi} = \langle G, X, F, \theta \rangle \quad (3)$$

где Φ_{Π} – кортеж, в котором $G = \langle V, E \rangle$ – когнитивная карта (отображает причинно-следственные связи E в системе между концептами – вершинами V ; к её преимуществам относится возможность учитывать не только количественные, но и качественные факторы; когнитивная карта позволяет видеть «всю картину в целом, не теряя деталей»); $X: V \rightarrow \theta$, X – множество параметров вершин, θ – пространство параметров вершин; $F = (X, E) = f(x_i, x_j, e_{ij})$ – функционал преобразования дуг, как декартово произведение $F: E \times X \times \theta \rightarrow R$; F – преобразование может иметь вид функции f_{ij} , а также весового коэффициента w_{ij} , определённого экспертно или по статистическим данным.

Когнитивные карты могут образовываться в иерархию

$$I_G = \langle G_k, G_{k+1}, E_k \rangle, k \geq 2 \quad (4)$$

I_G – иерархическая когнитивная карта, в которой G_k и G_{k+1} – когнитивные карты соответственно, k и $k+1$ уровней, некоторые вершины которых соединены дугами E_k . Если определены функционалы преобразования дуг, то имеет место иерархическая когнитивная модель.

Взаимодействие по определенным правилам организационных систем может быть представлено общей моделью, например, для двух организаций А и В

$$IGG_{AB} = \{I_{GA}, I_{GB}, R\} \quad (5)$$

где R – правила взаимодействия.

Заметим, что моделью иерархической когнитивной карты могут представляться уровни иерархии управления системой, а также нижестоящий уровень может представлять собою когнитивную карту, которая «разворачивает» вершину (вершины) когнитивной карты верхнего уровня.

На рисунке в качестве примера изображена в укрупненном виде когнитивная карта взаимосвязи проблем системы образования, предложенная в [7,8]. Моделирование произведено с помощью программной системы когнитивного моделирования [4].

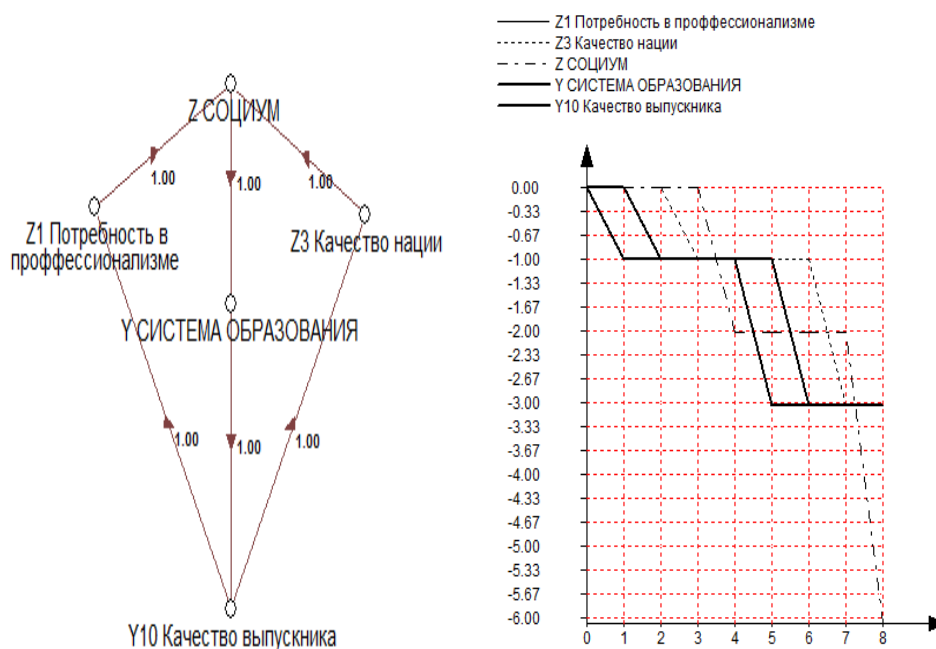


Рис.1. Когнитивная карта и сценарий развития ситуаций при ухудшении состояния системы образования

Проинтерпретируем рисунок. В государстве существует цепь взаимосвязанных социальных проблем взаимодействия общества (социума) и системы образования, что можно отобразить схемой в виде знакового ориентированного графа – когнитивной карты. Снижение качества нации, ценности человеческого капитала в обществе приводит к ослаблению стимулов социальной мобильности, т.е. движения «вверх» по социальной пирамиде в зависимости от образованности, ума, таланта, трудолюбия, уменьшая, в свою очередь, ценности образования. Это приводит к снижению интереса общественности, семей к системе образования, ее деградации (потеря качества, системности, масштабов), далее - к снижению личностных и физических качеств выпускников. Такой результат деятельности системы образования обуславливает дальнейшее снижение ценности человеческого капитала и т.д. Подобный пессимистичный сценарий изображен на рисунке. По оси абсцисс показаны такты моделирования, по оси ординат – изменения величин импульсов в вершинах когнитивной карты при подаче начального отрицательного возмущающего воздействия в вершину «Система образования».

Список литературы

1. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа: Уч. _СПб.: Изд. СПбГПУ., 2005. – 520 с.
2. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник: Уч. пособие / под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. – М.: Финансы статистика; ИНФРА-М, 2009. – 848 с.

3. Моделирование Систем и процессов: Уч. / В.Н. Волкова, Г.В.Горелова, В.Н. Козлов [и др.] /под ред. В.Н. Волковой и В.Н. Козлова. – М.: ЮРАЙТ, 2015. – 592 с.

4. Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Радченко С.А. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход. - Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2006. -332 с.

5. Инновационное развитие социо-экономических систем на основе методологий предвидения и когнитивного моделирования / Под ред. Г.В.Гореловой, Панкратовой Н.Д.- Киев: Изд-во «Наукова Думка», 2015. – 463с.

6. Кульба, В.В. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем (Научное издание) / В.В.Кульба, Д.А.Кононов, С.С.Ковалевский, С.А.Косяченко, Р.М.Нижегородцев, И.В.Чернов. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 122с.

7. Шукшунов В.Е., Овсянников А.А. Системная модель организационно-экономической реформы образования в России. – М.: МАНВИШ, 1998. – 46 с.

8. Шукшунов В.Е., Овсянников А.А. Стратегия и тактика реформирования системы образования в России. - М.: МАНВИШ, 1998. – 41 с.

УДК 303.732

Данчул Александр Николаевич,
Д-р техн. наук, профессор, профессор

МОДЕЛИ И МЕТАМОДЕЛИ ОПИСАНИЯ АРХИТЕКТУРЫ СЛОЖНОЙ АКТИВНОЙ СИСТЕМЫ

Москва, Московский городской университет управления
правительства Москвы, adan51@yandex.ru

Аннотация. Анализируются варианты определения понятий архитектуры предприятия и ИТ-архитектуры. Сформулированы недостатки концептуальной модели описания архитектуры системы по стандарту ISO/IEC/IEEE 42010, заключающиеся в «одномерности» набора архитектурных моделей (представлений) и отсутствии концептов, позволяющих описать связи между представлениями. Предлагается описание архитектуры системы набором взаимосвязанных иерархических аспектных представлений. Предложены две геометрические модели такого описания. Построена метамодель описания многомерной архитектуры, расширяющая концептуальную модель описания архитектуры по стандарту ISO/IEC/IEEE 42010:2011.

Ключевые слова: теория систем, архитектура системы, описание архитектуры, архитектурные модели.

Alexander N. Danchul

Doctor of Engineering Science, professor, professor,

MODELS AND METAMODELS OF COMPLEX ACTIVE SYSTEM ARCHITECTURE DESCRIPTION

Moscow, Moscow City university of management of the Moscow Government
adan51@yandex.ru

Abstract. The options of defining concepts of enterprise architecture and IT-architecture are analyzed. Shortcomings of the conceptual model of architecture description according to ISO/IEC/IEEE 42010 are formulated. There are "one-dimensionality" of a set of architecture models (views) and the lack of concepts to describe a connection between views. The proposed description of the system architecture as a set of interrelated hierarchical aspect views is illustrated by two geometric models. The meta-model of multidimensional architecture, which extends the conceptual model of architecture description ISO/IEC/IEEE 42010:2011, is constructed.

Keywords: systems theory, architecture of system, architecture description, architecture models.

Термин «архитектура» в настоящее время не входит в список основных в теории систем и системном анализе. В то же время в некоторых отраслях наук он часто используется на практике, например, «архитектура информационной системы», «архитектура предприятия», «архитектура электронного правительства». Понятие «архитектура» закреплено и рядом международных и национальных стандартов, отражающих его в своем названии [1-4]. Частое использование и весьма разнообразные определения связанных с этим термином понятий, а также одновременное использование терминов «структура» и «архитектура» свидетельствуют о необходимости определения общего понятия «архитектура системы» и выяснения класса систем, для которого оно является одним из основных.

Проведенный в работе автора [5] сравнительный анализ ряда определений архитектуры системы показал, что отличие архитектуры сложного объекта от его структуры может заключаться только в явно устанавливаемой или подразумеваемой специфике компонентов объекта и/или в специфике их взаимодействия. Некоторые определения, кроме того, вводят рекурсию (иерархию архитектур), говоря, что внутренние компоненты системы помимо своих внешних свойств, интерфейсов, связей и накладываемых ограничений, в свою очередь, также могут иметь архитектуру. Данные в большей части источников (в частности, в [1, 2]), определения архитектуры можно рассматривать как ее вербальные модели для ее описания, часто дополняемые графическими или структурными моделями. Другой подход реализован в международном стандарте [3] и в развившем его международном стандарте [4]. Предложенные в них кон-

цептуальные модели описания архитектуры конкретизируют компоненты описания архитектуры любой программно-насыщенной системы и их отношения, а не компоненты самой системы с их отношениями, и таким образом представляют собой метамодели для описания любой архитектуры.

На рис. 1 показана одна из моделей широко известной архитектуры Захмана, а на рис. 2 являющаяся метамоделью концептуальная модель описания архитектуры из стандарта [4].

		Данные ЧТО	Функции КАК	Дислока- ция, сеть ГДЕ	Люди КТО	Время КОГДА	Мотивация ПОЧЕМУ	
Бизнес-руководители	Планировщик	Список важных понятий и объектов	Список основных бизнес-процессов	Территориальное расположение	Ключевые организации	Важнейшие события	Бизнес-цели и стратегии	Сфера действия (контекст)
	Владелец, менеджер	Концептуальная модель данных	Модель бизнес-процессов	Схема логистики	Модель потока работ (workflow)	Мастер-план реализации	Бизнес-план	Модель предприятия
	Конструктор, архитектор	Логические модели данных	Архитектура приложений	Модель распределенной архитектуры	Архитектура интерфейса пользователя	Структура процессов	Роли и модели бизнес-правил	Модель системы
ИТ-менеджеры и разработчики	Проектировщик	Физическая модель данных	Системный проект	Технологич. архитектура	Архитектура презентации	Структуры управления	Описания бизнес-правил	Технологическая (физическая) модель
	Разработчик	Описание структуры данных	Программный код	Сетевая архитектура	Архитектура безопасности	Определение временных привязок	Реализация бизнес-логики	Детали реализации
		Данные	Работающие программы	Сеть	Реальные люди, организации	Бизнес-события	Работающие бизнес-стратегии	Работающее предприятие
		Данные	Функции, Процессы	Сеть, расположение систем	Люди, организации	Время, расписание	Мотивация	

Рис. 1. Архитектура Захмана [6, с. 211]

Основной идеей этой метамодели является выделение перечня участников (заинтересованных лиц, stakeholders), имеющих специфические интересы (concerns) по отношению к рассматриваемой системе (system-

of-interest), оформляемые в виде точек зрения (viewpoints), устанавливающих соглашения, необходимые для дальнейшего создания, интерпретации и использования архитектурных представлений (view) системы.

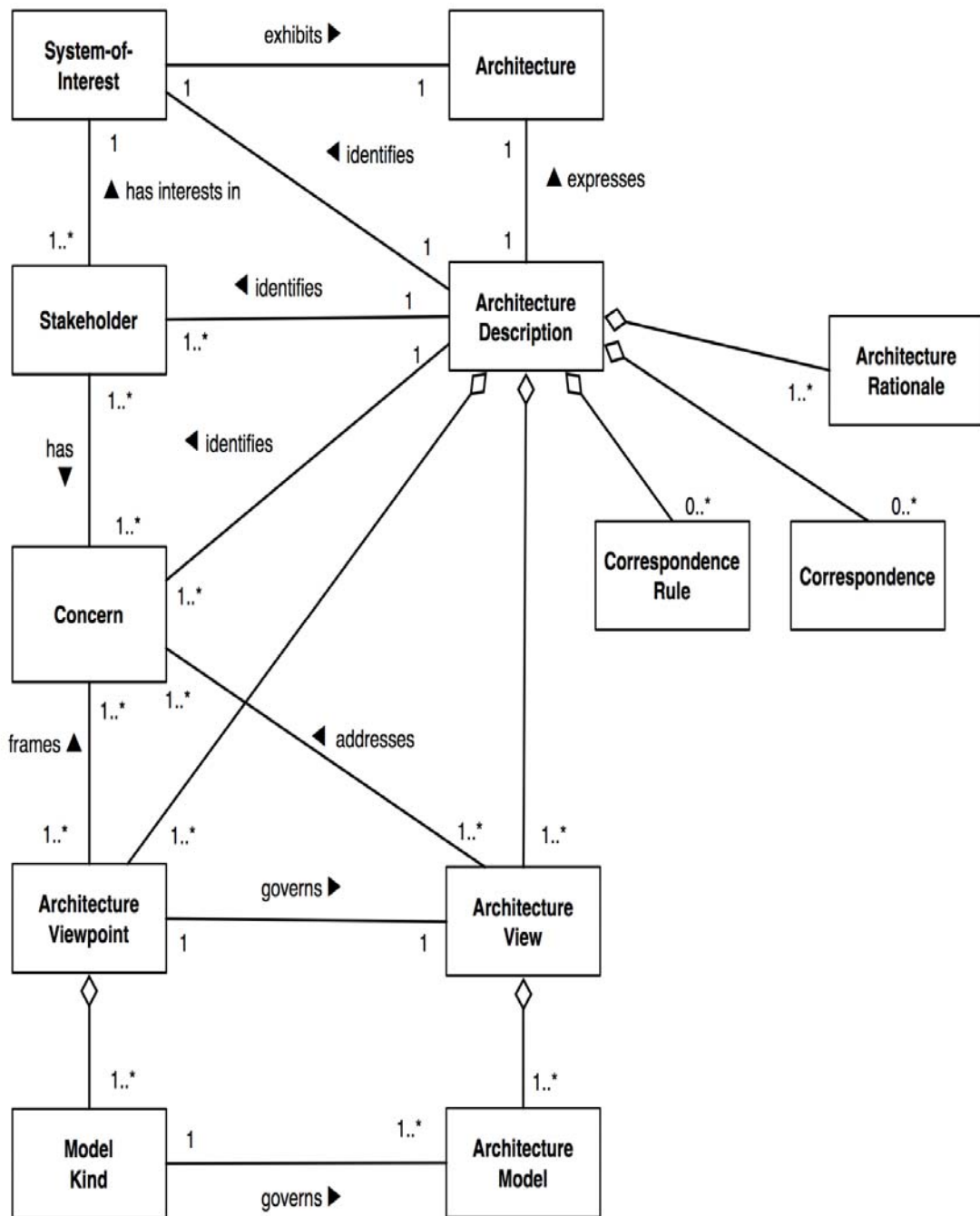


Рис. 2. Концептуальная модель описания архитектуры ISO/IEC/IEEE 42010:2011 [4].

С точки зрения теории систем эта основная идея означает, что рассматриваются сложные активные системы (САС), в которых имеется несколько субъектов деятельности с общим объектом деятельности.

Различным точкам зрения участников на систему соответствуют наборы определенных видов моделей (model kind); совокупности моделей этих видов составляющих отвечающее этой точке зрения представление (view) системы, отражающее некоторый набор ее свойств и связей.

В работе [5] были рассмотрены возможности и ограничения использования концептуальной модели (метамодели) описания архитектуры в стандарте ISO/IEC/IEEE 42010:2011 (рис.2) для описания различных архитектур и были указаны два недостатка этой метамодели.

1. «Одномерное» представление архитектуры набором представлений. Как правило, существующие метаописания архитектуры являются минимум «двухмерными» за счет введения концептов, не отраженных на рис.1, таких как перспективы, уровни абстракции и т.п., что наглядно иллюстрируется примерами архитектуры Захмана и архитектуры предприятия (рис. 1 и 3).



Рис. 3. Архитектура предприятия [6, с. 106]

2. Отсутствуют концепты (конструкты, элементы описания архитектуры), позволяющие описать связи между представлениями, обеспечивающие целостность системы. Отсутствие подобных связей видно и на рис. 1 и 3.

Отметим также возможность иерархического (фрактального) расширения концептуальной модели (метамодели) на рис. 2 путем рассмотрения представления как описания архитектуры компонента (вложенной архитектуры). Однако в стандарте [4] отмечается, что в нем не исполь-

зуются термины различных «частных» архитектур, например, «бизнес-архитектура», «техническая архитектура». В терминах этого стандарта архитектура системы является холистической концепцией, поэтому вместо этих терминов он предлагает использовать термины «бизнес-представление», «техническое представление». Тем самым, закрывается возможность использовать предложенную в стандарте метамодель для доменов (подсистем, предметных областей) рассматриваемой системы.

Таким образом, приведенная в стандарте ISO/IEC/IEEE 42010:2011 метамодель описания архитектуры нуждается в введении соответствующих концептов как дополнительных элементов описания архитектуры. Такая возможность стандартом допускается. Более того, в стандарте содержится информация, упоминающая некоторые из этих концептов.

Автором разработаны две геометрические метамодели, которые являются двухмерными описаниями и позволяют наглядно отобразить концепты, отсутствующие в метамодели на рис. 1.

Первое измерение геометрических метамodelей архитектуры системы базируется на используемом в теории систем понятии «конфигуратор описания системы», под которым понимается перечень аспектов (совокупность свойств) системы, в которых описывается система. Определение перечня аспектов (конфигуратора описания) и состава каждого аспекта является задачей аспектной декомпозиции изучаемой (создаваемой) системы. В частности, если под аспектом понимать совокупность свойств системы, соответствующую одной из точек зрения (viewpoint) на нее тех или иных специалистов или их групп (участников, stakeholders), то набор моделей, отражающих систему в этом аспекте, можно отождествить с представлением (view). Важно отметить, что каждый из участников при этом может иметь свой конфигуратор описания.

Второе измерение геометрических метамodelей архитектуры системы связано со свойством (закономерностью) иерархичности [7]: система может быть описана не только в виде представления, находящегося на высоком уровне иерархии, но и в виде более подробной совокупности взаимосвязанных элементов, представленной на более низком уровне иерархии. Определение уровней описания (и их количества) по каждому аспекту является задачей межуровневой декомпозиции изучаемой (создаваемой) системы. В результате формируются наборы двухмерных иерархических аспектных представлений (подсистем).

В геометрической метамодели (рис. 4) описания архитектуры системы, конфигуратор системы состоит из трех аспектов, которые изображены в виде боковых граней пирамиды. Боковым ребрам, образуемым пересечениями этих граней, соответствуют свойства, относящиеся к обоим аспектам (общие свойства). Наличие таких свойств обязательно для обеспечения связи (согласованности) аспектных описаний. Уровни опи-

сания по каждому аспекту изображаются горизонтальными отрезками на соответствующей грани, соединяющими боковые ребра. Связи между представлениями на конкретных уровнях иерархии обозначаются точками пересечений отрезков, соответствующих различным аспектным описаниям одного уровня. Наличие общих точек у этих отрезков обозначает наличие и необходимость согласования описаний общих свойств на данном уровне в каждом аспектном представлении.

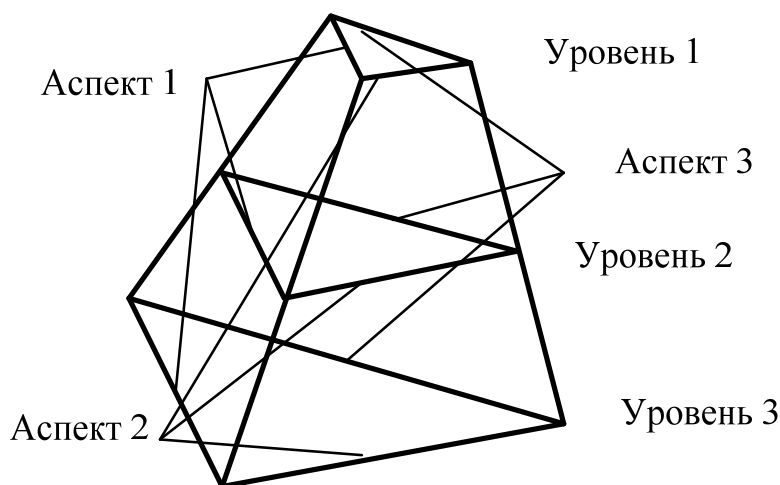


Рис. 4. Геометрическая метамодель архитектуры системы.

Недостатком этой геометрической модели является ограниченность числа представляемых аспектов при сохранении наглядности и сложность отображения свойства фрактальности архитектуры. Как альтернатива была предложена «проволочная» модель (рис. 5).

В этой модели каждому аспекту (на рис. 5 их четыре) соответствует отрезок. Точки на отрезке (по две на каждом) соотносятся с различными уровнями иерархии соответствующего представления. Кривые, соединяющие точки, указывают на наличие общих свойств у соответствующих этим точкам представлений.

Фрактальность архитектуры отображается «расщеплением» отрезка ниже соответствующей точки на несколько (три - на рис.5) отрезков, соответствующих подаспектам декомпозируемого на следующем (третьем) уровне аспекта.

Заметим, что архитектуру Захмана (рис. 1) представляется двухмерной одноуровневой метамоделью. Конфигуратор метамодели содержит два аспекта, соответствующих простейшей модели деятельности, в которой выделяются субъект деятельности и объект деятельности. В первом из них (по строкам) выделяются группы свойств, интересующие различных субъектов деятельности (участников). Во втором (по столбцам) –

группы свойств, описывающие различные объекты деятельности. Содержимое ячеек таблицы можно трактовать как согласование соответствующих свойств, связанных с субъектом и объектом деятельности.

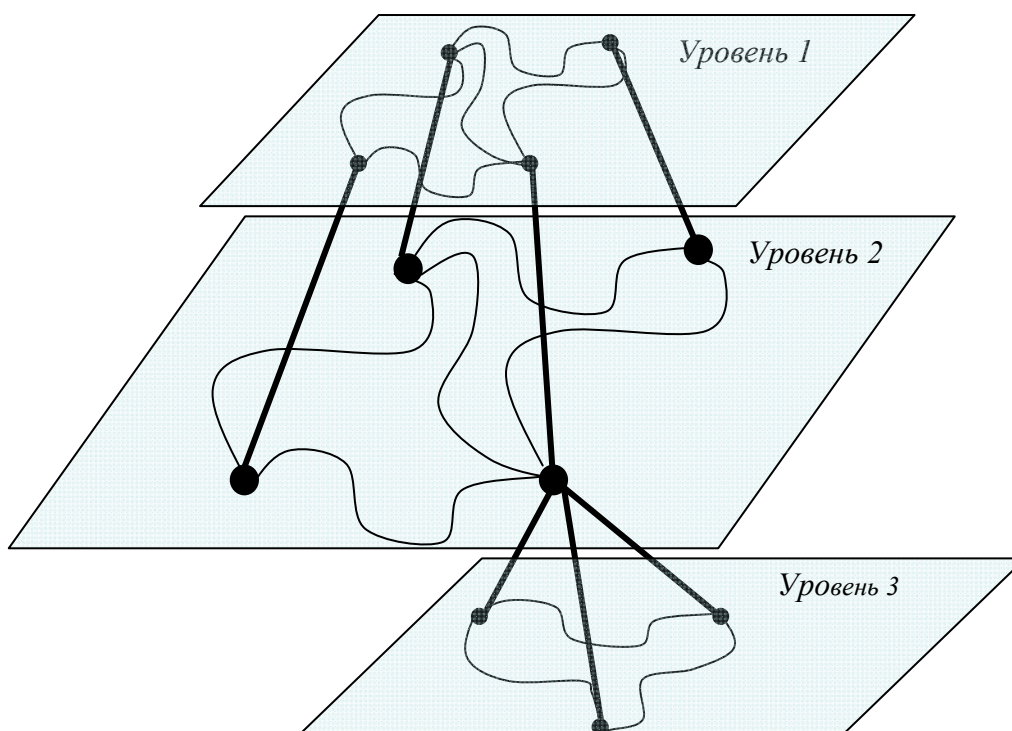


Рис. 5. Геометрическая «проволочная» метамодель архитектуры системы.

Концептуальная модель описания архитектуры (рис. 2), в принципе имеет неявную возможность поддержки такого двухмерного описания за счет наличия связанных элементов описания «stakeholder» и «concern», а также элемента описания «system-of-interest», транзитивно связанного с «concern» через элемент «architecture description». Однако, такая возможность выглядит достаточно искусственной для других двухмерных архитектур, например, для изображенной на рис. 3. Для трехмерных архитектур, например, трехмерной архитектуры Захмана (описание можно найти в [8]), учитывающей многослойную структуру системы моделей, эта возможность вообще не просматривается, исключая возможность использования для этого нераскрытых в концептуальной модели соотношений (correspondence) элементов описания и правил их описания (correspondence rule).

Отметим, что в более ранней версии стандарта описания архитектуры ANSI/IEEE Std 1471-2000 (рис. 6) элементы описания correspondence и correspondence rule вообще отсутствовали.

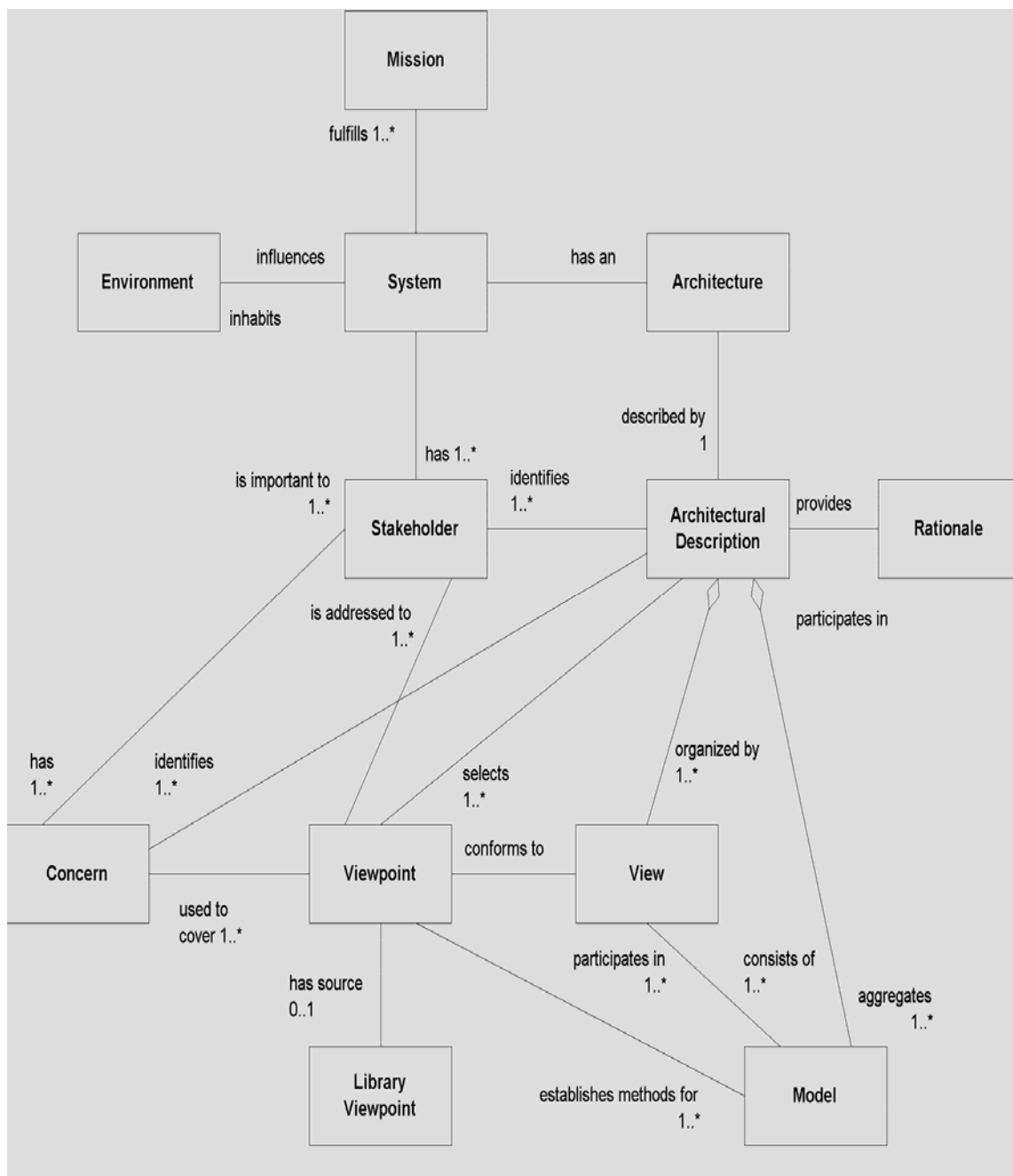


Рис. 6. Концептуальная модель описания архитектуры ANSI/IEEE Std 1471-2000 [3].

Их введение в концептуальную модель стандарта ISO/IEC/IEEE 42010 свидетельствует, на наш взгляд, о важности обсуждаемой темы. В этом плане добавим, что также изменились и описания некоторых связей между элементами описаний: удалена связь «один-ко-многим» между элементами описания «viewpoint» и «stakeholder», а связь между элементами описания «concern» и «viewpoint» вместо связи «один-ко-многим» стала связью «многие-ко-многим». Наличие в концептуальной модели связей «многие-ко-многим» вызывает необходимость конкретизировать их с помощью соотношений (correspondence) элементов описания. Собственно говоря, это и является основной функцией соотношений.

При проектировании баз данных для избавления от таких связей в модель данных вводятся дополнительные ассоциативные сущности (аналоги соотношений), заменяющие одну такую связь на две связи «один-ко-многим». Аналогичный прием можно было бы использовать и при корректировке концептуальной модели (рис.2). Однако это не решает в общем случае проблему описания многомерной архитектуры такой концептуальной моделью.

Для поддержки описания многомерных архитектур предлагается ввести в концептуальную модель новую группу элементов архитектурного описания, названия которых, а также названия их связей, даны курсивом на рис. 7.

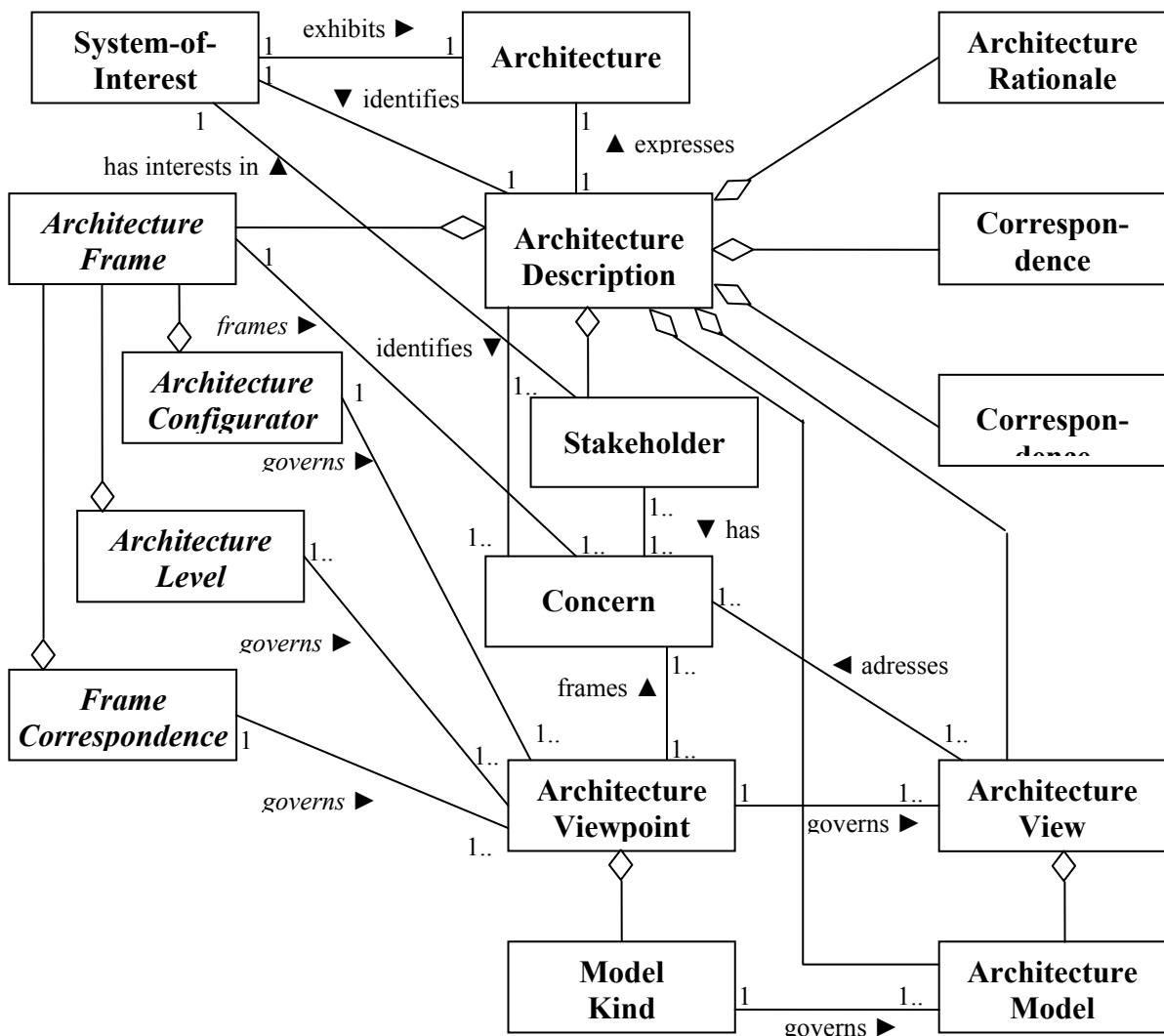


Рис. 7. Многомерная метамодель описания архитектуры на основе ISO/IEC/IEEE 42010:2011.

Основным из них является концепт «architecture frame» (архитектурный каркас) – результат работы, являющийся частью архитектурного описания и отражающий архитектуру системы с точки зрения ее аспек-

ных подсистем, описываемых на различных уровнях, и их согласования, а также структурирующий (frames) в соответствии с ними их системные интересы (concern).

Архитектурный каркас соответствует геометрической метамодели (рис. 4) и включает в себя три элемента архитектурного описания, которые регламентируют (governs) архитектурные точки зрения (architecture viewpoint):

- класс «architecture configurator» (конфигуратор), определяющий наборы аспектов, используемых различными участниками;
- класс «architecture level» (уровень), определяющий наборы уровней описаний, используемых для различных аспектов;
- класс «frame correspondence» (соотношение в каркасе) – класс, выделенный из класса «correspondence» и отражающий связи между элементами архитектурного каркаса.

При создании многомерной модели другие элементы архитектурного описания и связи между ними не пересматривались.

Список литературы

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 10746-3-2001 Информационная технология. Открытая распределенная обработка. Базовая модель. Часть 3. Архитектура
2. ГОСТ Р ИСО 15704-2008: Промышленные автоматизированные системы. Требования к стандартным архитектурам и методологиям предприятия.
3. ANSI/IEEE 1471-2000. Recommended practice for architectural description for software-intensive systems.
4. ISO/IEC/IEEE 42010:2011. Systems and software engineering -- Architecture description.
5. Данчул А.Н. Модели метаописаний архитектуры // 18-я Российская научно-практическая конференция “инжиниринг предприятий и управление знаниями». Сборник научных трудов. Том 1. М.: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2015. – С.100–108.
6. Данилин А., Слюсаренко А. Архитектура и стратегия. «Инь» и «Янь» информационных технологий предприятия. – М.: Интернет Ун-т Информ. Технологий, 2005.
7. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем и системный анализ. М.: Издательство Юрайт, ИД Юрайт, 2010.
8. Соснин П.И. Архитектурное моделирование автоматизированных систем. Ульяновск: УлГТУ, 2008.

Долятовский Леонид Валерьевич¹,

Канд. экон. наук, доцент,

Долятовский Валерий Анастасиевич²,

Д-р экон. наук, профессор, акад. МАН ВШ

СИСТЕМНЫЕ КРИТЕРИИ САМООРГАНИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

¹Москва, Российский государственный социальный университет,

²г. Ростов-на-Дону, Ростовский государственный экономический университет, dvaleri@inbox.ru

Аннотация. Определены условия роста уровня организации сложной системы на основе оценок изменений ее внутренней энтропии. Выведено условие роста внутренней структурной энтропии и условий самоорганизации на основе сопоставления потенциалов внешней и внутренней среды.

Ключевые слова: Самоорганизация, условия развития, открытые системы

Leonid V. Dolyatovskiy¹,

PhD in Economics, Associate Professor,

Valeri A. Dolyatovskiy²,

Doctor of Economics, Professor

SYSTEM CRITERIA OF SELF-ORGANIZING OF COMPLEX SYSTEMS

¹Moscow, Russia, Russian State Social University,

²Rostov-on-Don, Rostov State University of economics, dvaleri@inbox.ru

Abstract. Conditions of growth of level of the organisation of complex system on the basis of estimations of changes of its internal entropy are defined. The condition of growth of internal structural entropy and conditions of self-organising on the basis of comparison of potentials of the external and internal environment is deduced.

Keywords: self-organising, the development conditions, open systems

В системном анализе сложных социально-экономических систем важную роль играют законы организаций. Наиболее известны и применимы на практике закон необходимого разнообразия У.Р.Эшби [1], закон Паркинсона [2], законы Ципфа, Прайса, Миллера [3]. Эти законы приме-

нимы к анализу механизмов самоорганизации сложных систем, могут быть развиты в теории адаптивного управления [4]. Сложность как проблема изучалась Д. асти [4], аналогии экономической эволюции и живых систем приведены в работе [5], начата формализация задач оценки сложности [6]. В работе приведена формальная проверка аксиомы Эшби на примерах предприятий и предложены новые критерии самоорганизации замкнутых и открытых систем.

Под самоорганизацией понимается процесс повышения уровня организации систем без внешнего воздействия, когда за счет изменений внутренней структуры и функций элементов система выдает более упорядоченные реакции, обеспечивающие рост ее эффективности. Можно определить самоорганизацию как способность системы менять во времени структуру и поведение с целью приспособления к изменениям условий среды [6]. Самоорганизацию можно считать проактивным приспособлением к изменениям среды без внешних воздействий. В широком смысле самоорганизация- это процессы, в ходе которых самообразуются, самовоспроизводятся и самосовершенствуются организации как сложные динамические системы.

Аксиома У.Р. Эшби утверждает, что для управления объектом с разнообразием состояний D_{oy} орган управления должен иметь большее или равное разнообразие состояний, т.е. орган управления всегда должен быть сложнее управляемого объекта:

$$D_{oy} \leq D_{orgy} \quad (1)$$

Эту аксиому нетрудно доказать от обратного: если условие (1) нарушается: $D_{oy} > D_{orgy}$, то орган управления не может наблюдать и управлять некоторыми состояниями объекта управления, что приводит к потере управляемости. Рассчитаем условия управляемости для организации, которая управляет 20 объектами, каждый из которых имеет 5 состояний; при этом орган управления имеет 15 работников, каждый из которых имеет 10 рабочих состояний. Получаем условие:

$$D_{orgy}=10^{15} \text{ состояний или } O_2=15 \lg 10=15 \text{ хартли; } O_2>O_1,$$

т.е. орган управления сможет управлять этим объектом. Другой пример: студент должен освоить 12 тем, в которых имеется по 12 вопросов, но он изучил 10 тем с 15 вопросами, сможет ли он сдать предмет. Рассчитываем $D_{oy}=12^{12}$, $O_1=12 \lg 12=12,9$ хартли, при этом разнообразие состояний студента $D_{orgy}=15^{10}$, $O_2=11,7$ хартли, что недостаточно для усвоения курса. Таким образом можно рассчитать, какова должна быть сложность системы для управления заданным объектом.

Для системы, повышающей свой уровень организации, энтропия H и относительная организация $R=1 - H/H_{\max}$ должны изменяться:

$$dH/dt < 0, \quad dR/dt > 0 \text{ и } dO/dt > 0 \quad (2)$$

Это условие самоорганизации выполняется для замкнутых систем. Открытые системы функционируют в сложном изменяющемся окружении, у которого возможно нарастание сложности, разнообразия состояний и максимальной энтропии $H_{\max}$. Тогда для относительной организации имеем соотношение:

$$dR/dt = -1/H_{\max}^2 (H_{\max} \cdot dH/dt - H \cdot dH_{\max}/dt) \quad (3)$$

из которого следует вывод, что самоорганизация возможна, если $dO/dt > dH_{\max}/dt$, т.е. система быстрее наращивает свой уровень организации, чем нарастает энтропия среды. Например, если для двух моментов времени имеем разные значения энтропии и организации:

T_1	$H_{\max 1} = 5 \text{ хрт}$	$H_1 = 3 \text{ хрт}$	$O_1 = 2 \text{ хрт}$
T_2	$H_{\max 2} = 7 \text{ хрт}$	$H_2 = 4 \text{ хрт}$	$O_2 = 3 \text{ хрт}$

то $\Delta O + H_2 = H_{\max 2} + \Delta H_{\max 2} \quad (4)$

Для нашего примера $1 + \Delta O = H_{\max 2}/H_2 + \Delta H_{\max 2}/H_2$, $1 + 1 = 8/4 = 2$, т.е. система установила адекватность сложности среды путем повышения уровня организации. В процессе приспособления система изменяет свое поведение, изменяя две «бреши» (рис.1).

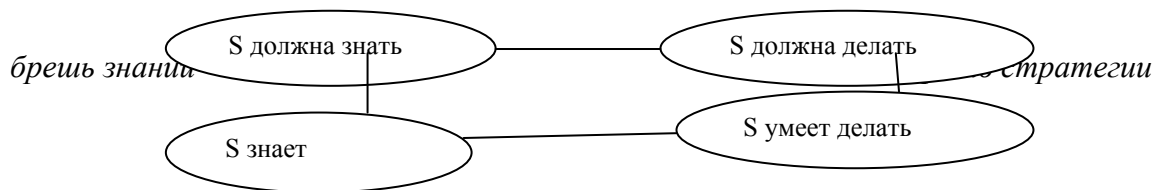


Рисунок 1- Рассогласования состояний системы

В процессе развития система меняет структуры и поведения, которые зависят от внешних и управляющих воздействий, поэтому можно их связать неравенством[4]:

$$\text{Многообразие поведений} \geq (\text{Многообразие входных воздействий} / \text{Многообразие управляющих воздействий}) \quad (5)$$

При многообразии входов $M_{\text{вх}} = 10^4$ и многообразии управлений $M_{\text{упр}} = 10^3$ система будет иметь 10 возможных поведений, при увеличении управляющих воздействий количество поведений уменьшается, т.е. увеличение объема памяти системы ведет к упорядочению ее поведения. Сложность процессов развития может быть охарактеризована минимальным числом координат для описания состояний развивающейся системы или вычислительными возможностями, необходимыми для реализации желаемого поведения или достижения поставленной цели. В процессе развития система делает выбор определенного поведения, зависящего от поступающей информации из внешней или внутренней среды и от уровня ее организации (накопленной негэнтропии). Если система получает dI

информации и имеет уровень организации O , то ее структурная энтропия изменяется [4], т.к. полученная информация отображается в структурных изменениях dE :

$$dE = dI / O \quad (6)$$

Если система S получила $dI = 35 \cdot 10^5$ байт/д и имеет уровень $O = 10^8$ байт накопленной информации, то $dE = 0,035$ и характеризует структурные изменения. Из соотношения (6) следует, чем выше уровень организации системы, тем меньшие структурные изменения она будет иметь при обработке внешних воздействий. К этой закономерности можно применить соотношение неопределенности. Если имеется система S , на вход которой поступает информация $I_{вх}$ и при этом в памяти M нет запаса знаний, то для выработки поведения S должна перерабатывать всю поступающую информацию (рис.2).

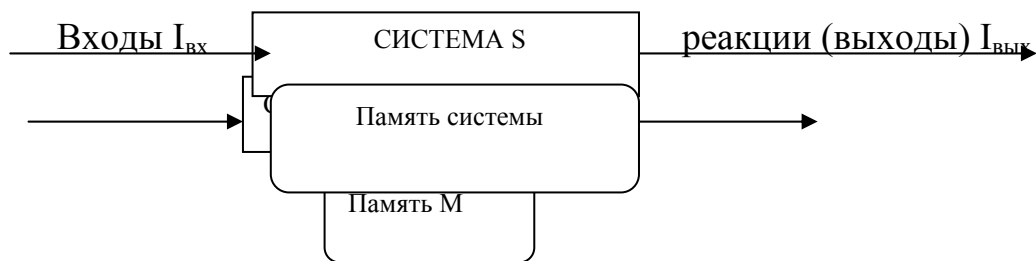


Рисунок 2-Схема системы обработки информации

При наличии знаний в памяти системы M , $M \neq 0$, системе нужно мало информации из среды для формирования поведения Π . Отсюда следует, что произведение $M \cdot I_{вх} = \text{const}$, рост организации системы ведет к уменьшению потока перерабатываемой входной информации, т.к. при получении информации результат ее обработки меняет внутреннюю структуру системы.

Такое же соотношение имеет место в статистике:

$$\alpha \cdot n = \text{const} \quad (7),$$

для высокой достоверности данных (малой величины ошибки α) нужно иметь большую выборку; такое же соотношение имеется в системе управления знаниями: универсальность U и конструктивность K понятий связаны соотношением:

$$U \cdot K = \text{const} \quad (8).$$

Рассмотрим условия самоорганизации и устойчивости развития сложных систем. Обозначим: $P_{срj}$ - позитивные воздействия внешней среды на систему, позволяющие ей достигать свои цели в j -той сфере деятельности, P_{sj} - потенциал системы в j -той сфере деятельности; $N_{срj}$ - негативные воздействия среды на систему в j -той сфере деятельности, противодействующие достижению целей системы, N_{sj} -негативный внутренний потенциал в j -той сфере, противодействующий достижению целей сис-

темы. Система устойчива и будет иметь возможности самоорганизации при условии:

$$\Sigma(P_{cpj} + P_{sj}) > \Sigma(N_{cpj} + N_{sj}) \quad (9)$$

Очевидно, что позитивная внешняя среда и большой внутренний потенциал системы, превосходящие негативные возмущения среды и внутреннюю оппозицию, позволят системе повышать свой уровень порядка и устойчиво развиваться.

Еще одним важным условием эволюции системы является нарастание ее сложности и уровня организации. Фирма в процессе эволюции изменяет свои характеристики, увеличивая контакт со средой для лучшего понимания и адаптации к ее изменениям за счет имитации возможных действий. Контакт со средой определяет объем памяти, необходимый для выработки рациональной линии поведения системы. Понимание закономерностей среды и формирование эффективных реакций обеспечивают процессы самоорганизации системы. Полный контакт системы со средой предполагает физический и мысленный контакт для понимания среды. Понимание выражается в выделении минимального числа координат для описания состояний среды. Система должна понимать и целенаправленно воздействовать на среду. Прогресс системы в эволюции определяется ростом контакта, увеличением памяти для понимания среды и ростом вычислительных возможностей для формирования желаемого поведения и достижения целей. Система должна иметь внутреннюю сложность, достаточную для понимания среды и выработки целенаправленного поведения. Для этого она должна реализовывать необходимую сложность управления, выражаемую вычислительной мощностью, достаточной для полной управляемости системы. Для эффективной самоорганизации должно, по крайней мере, выполняться равенство сложностей:

$$\text{Внутренняя сложность системы } C_{\text{вн}} = \text{сложности управления } C_{\text{упр}} \quad (10)$$

Чем меньше разность этих сложностей, тем устойчивее система и выше ее свойства адаптации к изменениям среды. Отсюда вытекают соотношения:

$$\begin{aligned} C_{\text{вн}} > C_{\text{упр}} &: \text{развитие, прогресс, самоорганизация;} \\ C_{\text{вн}} = C_{\text{упр}} &: \text{равновесие, относительная устойчивость;} \\ C_{\text{вн}} < C_{\text{упр}} &: \text{спад, не адекватные реакции, инволюция.} \end{aligned}$$

$C_{\text{упр}}$ -это вычислительная мощность системы, необходимая для понимания среды и имитации возможных воздействий на нее для принятия решений за приемлемое время. Внутренняя сложность системы должна быть выше сложности управления, т.к. должна включать вычислительные мощности для управления внутренней средой и их запас для прогнозирования изменений среды. Прогресс заключается в повышении внутренней сложности и сложности управления. В этой области знаний есть много аналогий эволюции экономики и биологической эволюции, но отличаются шкалы времени: в живой природе процессы рекомбинации ге-

нов, изменчивость, наследственность и отбор происходят в длительные периоды, в социально-экономических системах эти процессы происходят быстрее. Скорость эволюции в СЭС выше за счет «коллективного разума» и более мощных механизмов отбора эффективных организаций с высокой негэнтропией.

В заключение сформулируем ряд постулатов адаптивного управления.

1- Каждая система стремится обеспечить устойчивое функционирование в среде за счет понимания среды и повышения сложности управления

2-Для управления средой необходимо получение объективной информации о среде и ее отображение во внутренней структуре системы. Структурная энтропия растет в процессе развития.

3-Для лучшего понимания и управления средой система увеличивает контакт со средой (физический и мысленный)

4-Увеличение контакта увеличивает знания и внутреннюю сложность системы, обеспечивая большее понимание и возможности управления

5-Внутренняя сложность и сложность управления должны быть согласованы для эффективного функционирования и адаптивной устойчивости.

6.Эволюционный прогресс определяется ростом контакта, внутренней сложности, понимания и управляемости.

7.Кризис возникает при рассогласовании внутренней сложности и сложности управления

8.В процессе нарастания сложности социально-экономических систем изменяются доминантные факторы развития, внутренняя сложность и сложность управления. Существуют предельные законы для сложности, объема памяти и вычислительных возможностей системы, определяющие необходимые параметры для принятия решений об адаптации за приемлемое время.

Список литературы

- 1.Эшби У.Р.Введение в кибернетику.- М.:ИЛ, 1959.
2. Паркинсон С. Н. Законы Паркинсона (пер. с англ.) — М.: Эксмо, 2007.
3. Zipf G.K. Human Behavior and the Principle of Least Effort. — Addison-Wesley Press, 1949.
- 4.Касти Д.Большие системы: сложность, связность, катастрофы. М.:Мир,1989.
- 5.Долятовский В.А. Механизмы эволюции экономических организаций // Системогенетика и учение о цикличности развития. - Тольятти: Междун. Академия бизнеса и банк. дела, 1994, с.38-40.
- 6.Долятовский Л.В.,Долятовский В.А.,Яковенко С.В.Эволюционный менеджмент и принципы самоорганизации.-Азов:РГСУ,2010.

УДК 621.39 (075)

Костюковский Алексей Григорьевич

Канд. техн. наук, доцент

Костюковский Игорь Алексеевич

Инженер

УСТОЙЧИВОСТЬ ИЕРАРХИИ КОМАНДЫ

Минск, УО Белорусская государственная академия связи

alexsey48@gmail.com

Аннотация: Социальная сеть с древовидной структурой или *иерархия команды* является одной из самых древних и наиболее широко принятых социальных структур. Это та модель, которая используется военными командирами, руководителями корпораций и многой правительственной бюрократией. Но последние достижения в области глобальной связи и просвещенном управленческом классе вызвали переосмысление значения иерархий команды, особенно, когда это относится к виртуальным и основанным на экспертной оценке организациям. Знания работника, например, часто неэффективны в жестко контролируемых иерархиях команды, поднимают вопрос о том, имеют ли силу иерархии команды в современную эпоху Интернета.

Ключевые слова: иерархия команды, устойчивость социальных структур, эффективность иерархии команды виртуальной организации, сила иерархии команды в эпоху Интернета.

Kostyukovsky Alexey G.

Ph.D., Associate Professor,

Kostyukovsky Igor A.

SUSTAINABILITY OF THE COMMAND HIERARCHY

Minsk, UO Belarusian State Academy of Telecommunications

alexsey48@gmail.com

Abstract. The tree-structured social network or *command hierarchy* is one of the oldest and most widely adopted social structures. It is the model used by military commanders, corporation managers, and many governmental bureaucracies. But recent advances in global communications and an enlightened management class have caused a re-thinking of the value of command hierarchies, especially as they apply to virtual and expertise-based organiza-

tions. The knowledge worker, for example, is often ineffective in tightly controlled command hierarchies, raising the question of whether command hierarchies are valid on the modern age of the Internet.

Keywords: hierarchy of command, the stability of social structures, efficiency of hierarchy of team of the virtual organization, the power of hierarchy of command in the Internet era.

В статье мы поднимаем вопрос: “Остается ли иерархия команды с древовидной структурой все еще в силе, как инструмент управления?” Правильнее было бы спросить: “Где находится власть в организации с древовидной структурой, и когда иерархия команды способна достичь согласия и избежать безвыходного положения”? Мы покажем, что иерархии команды являются эффективными, но также и склонными к безвыходному положению, когда слишком большое нисходящее влияние возложено на работников. Этот результат является прямым следствием топологии командных структур и величин весов, связанных с влияниями связей.

На рис. 1 иллюстрируется очень простая иерархия команды, состоящая из генерального директора 0 (CEO), двух подчиненных вице-президентов 1 и 2 (VP A и VP B) и двух начальников отделов 3, 4 и 5, 6 (Dept. 1 – Dept. 4) под началом каждого из вице-президентов. Это простая топология сети – дерево с тремя уровнями команды. Предположим, что мы считаем, что руководители используют высокую степень влияния на подчиненных (75%), а подчиненные осуществляют малую степень влияния на своих руководителей (25 %).

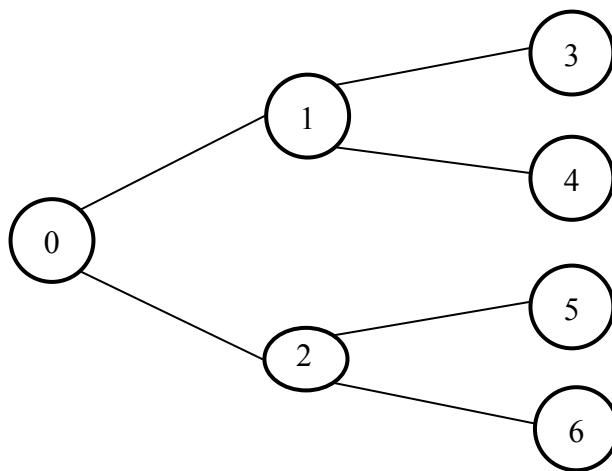


Рис. 1 – Иерархия команды с древовидной структурой типичного корпоративного управления. Эта I-сеть поставлена в безвыходное положение из-за слишком жесткого контроля со стороны менеджеров.

Естественно, возникает вопрос: “что делает власть генерального директора над его или её подчиненными”? В табл. 1 обобщаются степень влияния каждого актера в иерархии.

Эффективность влияния становится аддитивной, пока нет конфликтов в I-сети. Однако, анализ матрицы [1, 2] $C = \text{диагональ } [I + L]$ выявляет два свойственных конфликта – по одному с каждым вице-президентом. Вместо того чтобы достигнуть согласия через степени влияний табл. 1, эта иерархия команды поставлена в безвыходное положение. Вне зависимости от начального состояния актеров на рис. 1, странный аттрактор сети равен нулю. Влияния весов являются слишком большими, приводя к двум отрицательным влияниям.

Таблица 1 Свойства иерархии команды [3]

Актер	Влияние связи, %	Смежный актер	Степень влияния, %	Степень конфликта, %
0: CEO	75	1: VP A	47.36	50
1: VP A	25	0: CEO	15.78	– 25
2: VP B	25	0: CEO	25	– 25
1: VP A	75	3: Dept. 1	15.78	– 25
1: VP A	75	4: Dept. 2	15.78	– 25
2: VP B	75	5: Dept. 3	15.78	– 25
2: VP B	75	6: Dept. 4	15.78	– 25
3: Dept. 1	25	1: VP A	5.26	25
4: Dept. 2	25	1: VP A	5.26	25
5: Dept. 3	25	2: VP B	5.26	25
6: Dept. 4	25	2: VP B	5.26	25

Иерархия команды на рис. 1 контролируется чрезмерно; то есть, руководители не дают достаточно власти своим подчиненным.

Что происходит, когда один вице-президент не согласен с президентом и другим вице-президентом? Согласно теории, сумма влияний президента и вице-президента составляет 50 %, что недостаточно, чтобы сформировать

ровать большинство. Достигает ли управление ненулевого согласия, или же безвыходного положения? Это остается в качестве упражнения для читателя.

Простая иерархия команды на рис. 1 предполагает, что под жестким контролем иерархии команды склонны к конфликтам. Действительно, если нисходящее воздействие будет слишком напряженным, то социальная сеть не будет работать эффективно из-за авторитарного управления. Намного более эффективно разделить власть за счет снижения требований, когда менеджеры имеют гораздо больше контроля, чем подчиненные. Однако менеджеры не всегда могут добиться своего потому, что они рискуют потерять свою позицию большинства, когда степень влияния сползает ниже 50 %.

Слишком большой деспотичный контроль приводит к неэффективному управлению организацией, но и сглаженными сетями организаций можно также излишне управлять. Любую сеть влияния, случайная ли она, безмасштабная или тесного мира, можно поставить в безвыходное положение из-за большого влияния и характера замедления обратных связей в сети. Было бы неразумным считать, что произвольная организация сети является более эффективной, чем иерархия команды с древовидной структурой (табл. 1), просто из-за ее топологии. Мы должны включить в анализ также матрицу влияния.

Общая идея об эмерджентности [4] состоит в том, чтобы увеличивать веса исходящих связей для роста влияния актера на своих исходящих соседей, и уменьшать веса входящих связей для минимизации влияния других актеров на (амбициозного) актера. Этот подход имеет смысл, если рассматривают матрицу влияния ϕ . Строка i из ϕ представляет влияние актера i над другими актерами, а столбец j представляет влияние, которое другие актеры навязывают актеру j . Очевидно, что увеличение суммы ряда i и уменьшение суммы столбца i имеет для актера i два преимущества: (1) это увеличивает полное влияние, которое актер i навязывает на своих соседей, и (2) это уменьшает полное влияние, навязываемое актеру i другими актерами. Оба действия увеличивают степень влияния актера i .

Проблема увеличения суммы строки с одновременным уменьшением суммы столбца матрицы ϕ довольно очевидна – **это антагонистические действия**. Уменьшение суммы столбца также уменьшает сумму строки, и наоборот, увеличение суммы строки также увеличивает сумму столбца. Мы не можем сделать и то, и другое одновременно. **Предлагаемая стратегия становится математически бессмысленной.**

Вместо того, чтобы самим аналитически разрешать этот парадокс, пусть за нас сама I-сеть найдет решение путем процесса эмерджентности.

Вместо того чтобы писать некоторое уравнение, мы предлагаем написать простые микроправила для каждого актера, согласно которым он должен самостоятельно следовать, а потом наблюдать за результирующим макросвойством, возникающим из сотен применений микроправил.

I-сеть будет либо сходиться, или расходиться. Если она сходится, степени влияния (частично) устойчивых актеров отвечает на вопрос: “Кто является наиболее влиятельным актером в I-сети”? Алгоритм эмерджентности веса прост: выберем две (строка, столбец) пары из матрицы влияния ϕ , соответствующие входящей связи и исходящей связи актера #row. Затем вычтем один пункт веса из входящей связи и добавим один пункт к исходящей связи. Если условия являются правильными, то приращение измененного веса связей входящей и исходящей, приводит к увеличению степени влияния случайно выбранного актера, но если нет, то мы возвращаемся к предыдущим весам. Этот процесс повторяется, пока степени влияния всех актеров остаются (относительно) устойчивыми – но, возможно, отличающимися друг от друга.

Конфликты могут быть уничтожены, понижая пересылку влияния от 75 % до 50 %. По существу руководители должны уменьшить свое влияние на подчиненных, если они хотят понизить блокирующий согласие конфликт. Это разделение власти позволяет развиваться согласию. Теперь президент (генеральный директор) и два вице-президента управляет *большинством голосов, но не указаниями*, потому что их степени влияния равны 33.33 % (президент) и 16,67 % для каждого из вице-президентов, соответственно.

Список литературы

1. Костюковский, А. Г. Устойчивость сетей связи по Ляпунову / Современные средства связи. – Мн.: УО ВГКС, 2011. – С.19-21
2. Костюковский, А. Г. Устойчивость сетей связи по спектральному разложению лапласиана / Современные средства связи. – Мн.: УО ВГКС, 2011. – С.22-25
3. Lewis, T. G. (Theodore Gyle), 1941- Network science: theory and practice / Ted G. Lewis. – Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Published simultaneously in Canada, 2009.
4. Волкова, В. Н. Системный анализ информационных технологий / В.Н.Волкова и др. // Системный анализ в проектировании и управлении: Сборник научных трудов XIX Междунар. науч.-практ. конф. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2015. Ч. 2. – С. 5-15.

Волкова Виолетта Николаевна

Доктор экономических наук, профессор

Черный Юрий Юрьевич

Кандидат философских наук

Руководитель Центра изучения проблем информатики

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОТКРЫТЫХ СИСТЕМАХ

Переосмысливая Л. Фон Берталанфи

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.

Россия, Санкт-Петербург. violetta_volkova@list.ru

Институт научной информации по общественным наукам РАН.

Москва, Россия. yuri.chiorny@mail.ru

Аннотация. На основе применения закономерностей теории систем для исследования информационных процессов обосновывается значимость для развития общества создания единой информационной инфраструктуры, объединяющей все информационные ресурсы общества, и учета общественных эффектов развития киберпространства.

Ключевые слова: закономерности теории систем, информация, информационная безопасность, информационная инфраструктура, киберпространство, энтропийно-негэнтропийные процессы.

Violetta N. Volkova

Dr of Economics, Professor,

Yury Yu. Chernyy

Head of the Center for the Study of Computer Science, Ph.D.

USAGE OF LAWS OF THE SYSTEMS THEORY TO RESEARCH THE PROBLEMS OF INFORMATION SAFETY

Rethinking L. Von Bertalanffy

Peter the Great St. Petersburg State Polytechnic University,

Russia, St. Petersburg. violetta_volkova@list.ru

Institute of Scientific Information for Social Sciences

of the Russian Academy of Sciences. yuri.chiorny@mail.ru

Abstract. On the basis of applying to research of information processes the laws of systems theory we substantiated the importance for the development of society to create a unified information infrastructure that integrates all information resources of society, and we must take account of social effects of cyberspace.

Keywords: laws of systems theory, information, information security, information infrastructure, cyberspace, entropy-negentropy processes.

0. Введение

Для исследования информационных процессов в обществе предлагается отобразить его как открытую систему с активными элементами и применить закономерности теории систем. Это позволяет обосновать необходимость исследования в системе энтропийно-негэнтропийных тенденций, роли информационно-коммуникационных процессов в обществе и единого информационного пространства, объединяющего все информационные ресурсы общества (информационной инфраструктуры), обосновывается значимость учета общественных эффектов развития киберпространства.

1. Особенности открытых систем с активными элементами и закономерности, их объясняющие.

Понятие «открытой системы» ввел Л. фон Берталанфи [1], основной концепцией которого является *организмический* подход к биологическим и социальным объектам и явлениям. Открытой названа система, постоянно обменивающаяся веществом, энергией и информацией с внешней средой.

Анализ исследований открытых систем с активными элементами показал, что основные из них можно объединить в ряд групп [4 с. 70-72]: *способность адаптироваться к изменяющимся условиям среды и помехам*, проявляющаяся в том числе по отношению к управляющим воздействиям; *принципиальная неравновесность*, открытая Э. Бауэром; *способность противостоять энтропийным (разрушающим систему) тенденциям и проявлять негэнтропийные тенденции*; *способность вырабатывать варианты поведения и изменять свою структуру*; *способность и стремлением к целеобразованию*.

Приводимые особенности имеют разнообразные проявления, которые иногда можно выделять как самостоятельные характеристики. Большинство из них обусловлены, как правило, наличием в системе активных элементов. Особенности противоречивы. Они в большинстве случаев носят двойственный характер, являются и положительными и отрицательными, желательными и нежелательными для социальной системы. С одной стороны, в их числе есть свойства, полезные для существования системы, приспособляемости ее к изменяющимся условиям среды, но в то же время эти особенности вызывают *неопределенность, нестационарность параметров, неустойчивость функционирования системы, непредсказуемость поведения и уникальность системы*, что затрудняет управление социальными и социально-экономическими объектами в

конкретных условиях, влияет стабильность и безопасность обеспечения информацией процессов принятия управленческих решений.

Противоречивость особенностей социальных систем затрудняют их понимание и управление ими. Их не сразу можно понять и объяснить, выбрать и создать требуемую степень их проявления.

В то же время желаемые особенности класса социальных систем не всегда учитываются в социальных организациях. Например, при создании и организации управления предприятиями часто стремятся отобразить их, используя теорию автоматического регулирования и управления, разрабатывавшуюся для закрытых, технических систем, что существенно искажает отображение систем с активными элементами и способно нанести вред социальной организации, сделать ее неживым «механизмом», неспособным адаптироваться к среде и вырабатывать варианты своего поведения.

Исследованием причин проявления подобных особенностей сложных объектов с активными элементами занимаются философы, психологи, специалисты по теории систем, которые для объяснения этих особенностей предлагают и исследуют *закономерности систем*, основные из которых можно объединить в 4 группы [4, с. 92-97]: *закономерности взаимодействия части и целого*: целостность или эмерджентность, прогрессирующая систематизация, прогрессирующая факторизация, аддитивность, интеративность; *закономерности иерархической упорядоченности*: коммуникативность и иерархичность; *закономерности осуществимости систем*: эквифинальность, закон «необходимого разнообразия» *У.Р. Эшби*; *потенциальная осуществимость Б. С. Флейшмана*; *закономерности развития систем*: историчность и самоорганизация.

В модели открытой системы с активными элементами проявляются все рассмотренные особенности и закономерности. В то же время рассмотрим более детально наиболее значимые для цели, поставленной в данной работе.

2. Наличие в системах с активными элементами одновременно энтропийных и негэнтропийных процессов.

Теория открытых систем была предложена *Л. фон Берталанфи* для того, чтобы «объяснить основные особенности живых организмов, которые приводили в замешательство физиков, биологов и философов, казались нарушением законов физики и объяснялись только действием виталистических факторов, находящихся вне компетенции науки и научного объяснения» [1, с. 43].

До Берталанфи организм рассматривался как система, преимущественно реагирующая на внешние стимулы, которые вызывают реакции, сохраняющие состояние системы, а Берталанфи в своей концепции рас-

смаатривает в качестве основы развития не только внешние стимулы, но и внутреннюю активность, рассматривает понятие организма как спонтанно активной системы: «... *даже при постоянных внешних условиях и при отсутствии внешних стимулов организм представляет собой не пассивную, а существенно активную систему. Об этом свидетельствуют, в частности, функции нервной системы и поведение. Внутренняя активность, а не реакции на стимулы лежит в основе этих процессов*» [2]. Тогда «... *vis medicatrix naturae* предков освобождается от ее метафизических свойств, это больше не некая виталистическая сила, а выражение динамики живых систем, поддерживающей и восстанавливающей, насколько это возможно, их состояние подвижного равновесия» [1, с. 42].

Л. фон Берталанфи фактически предложил новую закономерность, которая в открытых системах с активными элементами противостоит второму закону термодинамики, распространенному физиками на все системы.

Эту, одну из основных принципиальных закономерностей сложных систем, можно кратко формулируется как «способность противостоять энтропийным (разрушающим систему) тенденциям и проявлять не-энтропийные тенденции».

Понятие энтропии, введенное **Р. Клаузиусом** в термодинамике, трактовалось им как определение меры необратимого рассеивания энергии, как фундаментальный закон природы, так называемое «второе начало», согласно которому упорядоченность изолированной неравновесной системы должна убывать со временем, а энтропия возрастать, т.е. имеет место стремление системы занять минимальное энергетическое состояние, что должно приводить в результате к выводу о неизбежной «смерти Вселенной».

Процесс возрастания энтропии в закрытых системах, изолированных от других систем, применительно к различным сферам объясняют таким образом: «... *В технике это называется амортизацией, в химии – деструкцией, а в биологии – старением*» [8, с. 5]. Такие процессы наблюдаются на практике и в социально-экономических системах.

Однако уже **Л. Больцман** [17] высказал предположение, что увеличение энтропии можно уменьшить благодаря внешней энергетической подпитке. А в последующем **Л. фон Берталанфи** открыл закономерность, согласно которой в отличие от закрытых в открытых системах в открытых система «*проявляются термодинамические закономерности, которые кажутся парадоксальными и противоречат второму началу термодинамики*», в результате чего «*вовне возможен ввод негэнтропии*», т.е. снижение энтропии; и «... *подобные системы могут сохранять*

свой высокий уровень и даже развиваться в сторону увеличения порядка сложности» [1, с. 42].

Эта закономерность принципиально отличает развивающиеся открытые системы с активными элементами от закрытых систем. Она обусловлена наличием активных элементов, стимулирующих обмен материальными, энергетическими и информационными продуктами со средой и проявляющих собственные «инициативы», активное начало. Благодаря этому в таких системах нарушается закономерность возрастания энтропии и наблюдаются негэнтропийные тенденции, т.е. собственно самоорганизация, развитие.

При этом следует иметь в виду, что энтропийно-негэнтропийные процессы в социально-экономических системах проявляют себя неоднозначно. С одной стороны, негэнтропийные тенденции, реализуемые в форме инноваций, являются основой развития, но одновременно они дестабилизируют систему, вносят нестабильность, т.е. неупорядоченность («креативное разрушение» по *Й. Шумпетеру* [15] и *В. Зомбарту*). А энтропийные тенденции, считающиеся проявлением неупорядоченности, напротив, стабилизируют состояние системы, поскольку минимальное энергетическое состояние, к которому приводят энтропийные процессы – самое устойчивое.

3. Информация – основа негэнтропийных тенденций и процессов

Анализ истории появления представлений об источниках *негэнтропийных тенденций* позволяет осознать, что их источником является *информация*. Становление этого понятия связано с рядом предшествующих понятий и философских концепций, близких терминов и определений, вводимых философами античности, средних веков и последующих периодов [5], которые использовались для названия явлений и процессов, связанных с негэнтропийными тенденциями (табл. 1)⁶².

Первоначально термин античной философии, *эйдос* (*eidōs* – вид, образ, образец), фиксирующий способ организации объекта, фактически эквивалентен понятию *идеи* (*ἰδέα* – внешний вид, внешность, наружность), введенному *Платоном*. В последующем в философии Аристотеля эйдос мыслится как имманентное понятие в отношении материального субстрата вещи и неотделимый от вещи, т.е., означает собственно *форму* вещи. Введенное *Аристотелем* понятие единства *формы* и *содержания*, позволяет фактически трактовать *содержание в форме* (*In-form*) как понятие информации, хотя в тот этот термин не был введен.

⁶² При составлении таблицы 1 использовался реферат студента М.М. Заславского

Таблица 1

Период	Авторы	Понятие
Античность	Гераклит (544–483 гг. до н. э.), Эмпедокл (ок. 490 до н.э. – ок. 430 до н.э.), Анаксагор (ок. 500 до н.э. – 428 до н.э.). Сократ (ок. 469 г. до н. э. – 399 г. до н. э.).	Эйдос
	Демокрит (ок. 460 до н.э. – ок. 370 до н.э.), Левкипп (Vв. до н.э.), Эпикур (342/341 до н.э.– 71/270 до н. э.).	Атом
	Демокрит (ок. 460 до н.э. – ок. 370 до н.э.), Платон (428 или 427 до н. э. – 348 или 347 до н. э.)	Идея
	Аристотель (384 – 322 до н. э.).	Содержание Форма
	Сократ (ок. 469 г. до н. э. – 399 г. до н. э., там же).	Знание
	Демокрит (ок. 460 до н.э. – ок. 370 до н.э.), Платон (428 или 427 до н. э. – 348 или 347 до н. э., там же)	Идеальное
	Аристотель (384 – 322 до н. э.)	Истина
	Иммануил Кант (1724 –1804).	Познание
Новое время	Бенедикт Спиноза (1632 – 1677), Блез Паскаль (1623 – 1662), Иммануил Кант (1724 –1804)	Мысль
	Поль Отле (1968 – <u>1944</u>)	Документация Книга
Первая половина XX века.	Норберт Виннер (1894 – 1964), Уильям Росс Эшби (1903 – 1972), Клод Элвуд Шеннон (1916 – 2001)	Информация
	Ральф Винтон Лайон Хартли (1888 – 1970), Клод Элвуд Шеннон (1916 – 2001) Леон Николая Бриллюэн (<u>1889 –1969</u>)	Количество информации
	Федор Евгеньевич Темников (1906–1993)	Актуация Параметрическая информация Трёхмерная мера существенности информации
Вторая половина XX века.	Аркадий Дмитриевич Урсул (р. 1936)	Отражение
		Взаимоотражение
		Самоотражение
		Количество информации
	Анатолий Алексеевич Денисов (1934-2010)	Информация - чувственная - логическая -информационная сложность (смысл)

В последующем в близком смысле использовались понятия *мысль, сведения, знание* (лат. *informatio* – сведение, разъяснение, ознакомление). Эти формы до появления собственно термина «информация» можно назвать *протоинформацией* [13, с. 234]. И, наконец, в XIX в. понятие информации появилось в работах **Н. Винера** и **К. Шеннона** в явном виде.

На определенном этапе было осознано понимание информации и ее предшествующих видов как отражения материи [12], как категории парной материи [8], обеспечивающей развитие. В последующем было введено понятие «информационное общество» – социологическая кон-

цепция, полагающая главным фактором общественного развития производство и использование научно-технической и другой информации.

Особую роль играет *научно-техническая информация*, которая является основой развития науки, которая, в свою очередь, является основой негэнтропийных тенденций в социальной системе, основой развития всех сфер общества. В настоящее время для обеспечения информацией систем управления и принятия решений созданы многочисленные базы данных информационных хранилищ с различными видами информации (экономической, правовой, маркетинговой, мониторинговой и т.п.) и формами доступа. Создаются средства представления и извлечения знаний на основе моделей искусственного интеллекта, принципов, заимствованных у природы (генетические и т.п. алгоритмы), модели интеллектуального анализа данных (Data Mining), позволяющие проводить классификацию и кластеризацию информации, выявлять тенденции ее распространения.

4. Роль институтов социальной памяти и научных коммуникаций как основы развития социальных систем и процессов.

Осмысление роли энтропийно-негэнтропийных процессов в развитии общества позволяет глубже осознать роль *институтов социальной памяти* и *научных коммуникаций* как основы создания эмерджентных свойств системы, т.е. появления у нее принципиально новых, неожиданных свойств, способствующих развитию системы.

Негэнтропийные тенденции обеспечиваются передачей накопленной новой информации от предыдущего поколения к последующему, что осуществляется различными способами, основные из которых приведены на рис. 1.

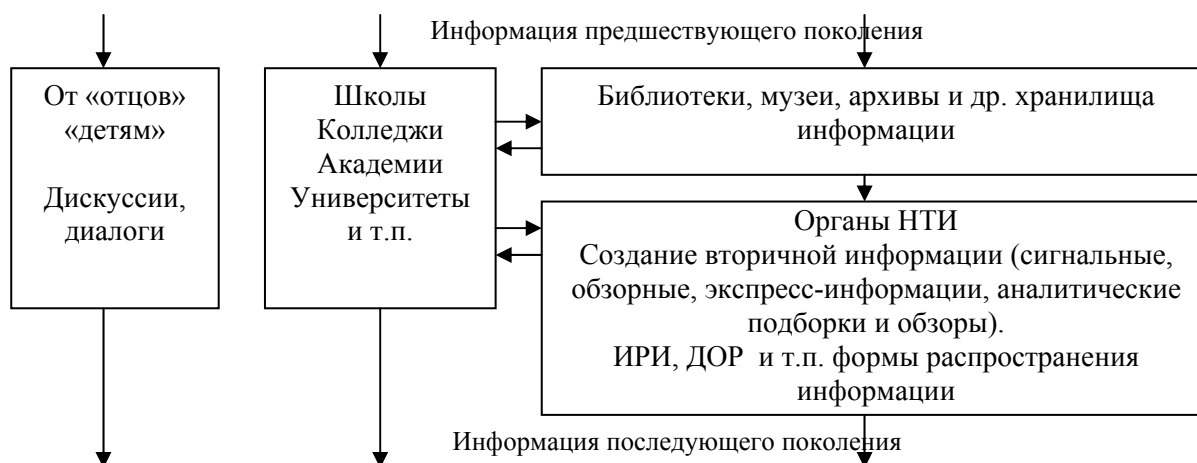


Рис. 1. Способы передачи информации от предшествующего поколения последующему

Библиотеки, музеи, архивы и др. хранилища информации играют важнейшую роль. Они накапливают информацию и передают информа-

цию от предшествующего поколения к последующему, сохраняя ее в течении длительных периодов с момента возникновения. В то же время при оформлении информации в виде документов, создании хранилищ, архивов она в определенной мере «омертвляется», и необходимы меры по ее «оживлению» [6], т.е. обеспечивающие активизацию ее использования. В музеях эту роль выполняют гиды; в библиотеках – библиографы, информационные работники справочно-информационных фондов. Однако при росте источников информации, при усложнении общественных и информационно-коммуникационных процессов нужны и специальные формы, обеспечивающие активизацию использования информации.

Расширить возможности библиотек, являющихся основными хранилищами культурного наследия любого общества, можно путем создания специальных органов научно-технической информации (НТИ), выполняющих функции обработки (реферирование, подготовка обзорных, экспресс-информаций, ориентированных на развитие науки в различных отраслях, аналитических обзоров и т.п.), избирательного распространения научно-технической информации, издания сигнальных информаций). Была осознана значимость научных коммуникаций как одного «из важнейших компонентов сложнейшего социального явления, называемого наукой» [11].

Для углубленного исследования информационно-коммуникационных процессов и роли различных институтов, обеспечивающих переработку информации, полезно использовать закономерности теории систем.

5. Осмысление информационно-коммуникационных процессов с точки зрения закономерностей теории систем.

Использование закономерностей теории систем позволяет глубже осознать роль информационно-коммуникационных процессов в развитии социальных систем.

Закономерность целостности (эмерджентность) приводит к появлению (emerge – появляться) у системы новых свойств, которых не было у ее элементов. При этом [4]:

1) свойства системы (целого) Q_s не является простой суммой свойств составляющих ее элементов (частей) q_i : $Q_s \neq \sum_{i=1}^n q_i$

2) свойства системы (целого) зависят от свойств составляющих ее элементов (частей): $Q_s = f(q_i)$.

3) объединенные в систему элементы утрачивают часть своих свойств, присущих им вне системы, т. е. система как бы подавляет ряд свойств элементов; но, с другой стороны, элементы, попав в систему, могут приобрести новые свойства. Если $ai \in S \Rightarrow qi \downarrow$ и $q' \uparrow$.

Противостоит закономерности целостности закономерность *аддитивности* или *суммативности*, которая характеризует распад системы на части.

Закономерность иерархичности или *иерархической упорядоченности* приводит к усилению процесса появления новых, в том числе непредсказуемых и неконтролируемых свойств любой системы, общества.

Эта закономерность была в числе первых закономерностей теории систем, которые исследовал *Л. фон. Берталанфи*, который считал, что «...живые системы можно определить как иерархически организованные открытые системы, сохраняющие себя или развивающиеся в направлении достижения состояния подвижного равновесия» [1, с. 41].

Проблемы, аналогичные закономерности эмерджентности проявляются на каждом уровне иерархической структуры. При исследовании закономерности иерархичности *В. А. Энгельгардт* [16]. На примерах биологических организаций он показал, что более высокий иерархический уровень оказывает направляющее воздействие на нижележащий уровень, подчиненный ему, и это воздействие проявляется в том, что подчиненные члены иерархии приобретают новые свойства, отсутствовавшие у них в изолированном состоянии (подтверждение положения о влиянии целого на элементы, приведенного выше), а в результате появления этих свойств формируется новый, другой «облик целого» (влияние свойств элементов на целое). Возникшее таким образом новое целое приобретает способность осуществлять новые функции, в чем и состоит цель образования иерархий.

На основе информационного подхода *А. А. Денисов* ввел сравнительные количественные оценки иерархических структур [4, 8] с точки зрения степени целостности

$$\alpha = -C_v/C_o \quad (1)$$

и коэффициента использования свойств элементов в целом

$$\beta = C_c/C_o, \quad (2)$$

где C – оценка информационной сложности системы.

$$C = J \cap H, \quad (3)$$

где J – информация восприятия; H – информационная сущность (потенциал).

J и H , могут измеряться вероятностно и детерминировано [4, с. 167].

$$J = A/\Delta A, \quad (4)$$

где A – общее количество каких-либо знаков, воспринимаемых измерительными приборами или иной информацией, воспринимаемой органами чувств лица, принимающего решения (ЛПР), ΔA – «квант», с точностью

до которого ЛПР интересуется воспринимаемая информация, (или разрешающая способность прибора); $H = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_{i\gamma}}$ или $H_y = - \sum_{i=1}^n q_i \log(1 - p_i')$

$$C_c = C_o + C_b, \quad (5)$$

где C_c , C_o , C_b – системная, собственная и взаимная сложности системы.

$$\alpha + \beta = 1. \quad (6)$$

Исследования **А. А. Денисова** показали, что любая развивающаяся система находится между состоянием абсолютной целостности и абсолютной свободы элементов. Целостность обеспечивает устойчивость стабильность. Увеличение целостности системы должно повышать эффективность существования и развития социальной системы. Однако исследования процессов взаимодействия части и целого в системе показали, что эффективность функционирования системы вначале при возрастании степени регулирования (степени целостности) увеличивается, а при чрезмерном регулировании начинает снижаться, поскольку подавляются инициативы (негэнтропийные тенденции), способствующие развитию системы, а это отрицательно влияет на рост эффективности системы, снижает безопасность ее функционирования, и в последующем может привести систему к гибели.

А. А. Денисов использовал результаты своих исследований в политической деятельности в период избрания народным депутатом СССР. Он, в частности, написал несколько публицистических статей, разъясняющих смысл соотношения (6), – «Между двумя полюсами», «Между диктатурой и анархией» и др., изданных в последующем в книге [9, с. 277-280, с. 329-332]. В частности, он писал: *«Идет борьба двух противоположностей: свободы и справедливости (в рамках данной системы). Это блага, но блага несовместимые. Вот в чем парадокс развития. Если хотите большие свободы, то только за счет сужения сферы социальных благ. И наоборот.* [9, с. 644].

«Социальная справедливость выступает при этом как гарант стабильности общества, а предпринимательская инициатива обеспечивает его развитие и процветание» [9, с. 510].

В процессе исследований **А. А. Денисова** получено также 3-е дополнение к исходному представлению о закономерности целостности – утрата свойств элементами при включении их в систему, из чего следует неизбежность сопротивления активных элементов..

Согласуются с этими выводами и дополняют их и исследования **Л. фон Берталанфи**, опирающиеся на организмический подход применительно к теории личности [1, с. 60-65], в соответствии с которыми можно сделать вывод, что подавление человеческой свободы («свободы воли»)

активных элементов (при возрастании целостности системы) приводит к сопротивлению этих элементов, вплоть до преступности. Но, в то же время *«не только давление и напряжение, но в равной мере и полное освобождение от стимулов и как следствие этого духовная опустошенность могут быть неврозогеническими и даже психозогеническими»* [1. с. 65], т.е. приводит к деградации активных элементов, к снижению эффективности и безопасности функционирования социальной системы.

Снижение эффективности и безопасности функционирования системы при возрастании регулирования можно объяснить тем, что в числе новых свойств системы (в том числе общества), появляющихся в результате проявления закономерностей *эмерджентности* и *иерархичности*, могут быть не только *способствующие развитию системы*, но и свойства, *опасные для ее существования*, несущие разрушающие факторы. При этом возрастание степени целостности и подавления свободы элементов обеспечивается не только регулированием «сверху», но и усилением связности, ограничивающей свободу элементов в социальных сетях.

При оценке взаимосвязанности компонентов сети можно учитывать число инстанций между исследуемыми компонентами сети [4, 8]:

Нарастающая сила потока информационного обмена между людьми породила новый тип культуры, в которой все подчинено необходимости классификации, унификации с целью повышения эффективности при передаче от человека к человеку через средства массовой информации. В настоящее время это осознается и проявляется как *«коммуникативный тоталитаризм»*. При этом в отличие от традиционных тоталитарных режимов, основанных на внешнем физическом насилии, основу «коммуникативного тоталитаризма» составят, казалось бы, весьма позитивные процессы, обеспечиваемые социальными сетями.

Может показаться, что в информационной сети можно все и сама сеть являет собой воплощение анархии и больших преимуществ в поиске информации. Строго говоря, некоторое управление в сетях присутствовало с самого начала (это координация использования пространства ip-адресов и доменных имен), однако в последующем стало ясно, что в результате увеличения связности проявляются негативные процессы, ограничивающий свободу компонентов сети, и возникает понятие *информационного насилия в компьютерных сетях*. А это в соответствии с рассмотренными выше исследованиями *А. А. Денисова* и *Л. фон Берта-ланфи* может приводить к негативным последствиям, разрушающим систему информационной безопасности, – хакерство, вирусы, вбрасывание ложной информации и т.п.

Разработка методологии и методики исследования интернет-пространства требует уточнения и разъяснения. Одно дело – видеть в нём удобное технологическое дополнение к естественной среде обитания че-

ловека, и совсем другое – понимать его как новую естественно-искусственную реальность, которая пришла на смену естественной среде обитания, трансформировала её и вобрала в себя в качестве составной части. По-видимому, возникновение киберпространства открывает новый этап социальной, и шире – космической эволюции.

В зависимости от взгляда исследователей на интернет-пространство методология социального компьютеринга может быть различной. В случае представления о «естественности» изучаемых феноменов результатом исследования может стать установление тех или иных «объективных» корреляций между значимыми переменными, однако не более того. Более глубокий взгляд, предполагающий видение явлений как результатов тех или иных социальных действий, позволит наряду с возможностью установления корреляций между переменными осознать киберпространство как арену борьбы интересов различных индивидов и социальных групп. В этом случае проблематика социального компьютеринга окажется тесным образом связанной с темой социального управления и информационной безопасности.

Интересные и полезные результаты для исследования информационных процессов в социальных системах получаются также при учете закономерностей осуществимости систем, таких как *эквивифинальность*, *закон «необходимого разнообразия» У. Р. Эшби*, закономерность *потенциальной осуществимости Б. С. Флейшмана*.

Заключение

Таким образом, исследование информационно-коммуникационных процессов в социальных системах с точки зрения проявления энтропийно-негэнтропийных тенденций на основе применения закономерностей теории систем позволяет сделать вывод о том, что для развития социально-экономических систем необходимо создание единого информационного пространства, объединяющего все информационные ресурсы общества и системы социальной памяти, включая библиотеки, органы НТИ, музеи, архивы, локальные базы данных, хранилища информации, ресурсы интернет, т.е. информационной инфраструктуры. При этом важно учитывать «омертвление» информации в хранилищах и искать новые формы активизации ее использования.

Исследования показали также, что энтропийно-негэнтропийные процессы сложно трактовать в упрощенных терминах. С одной стороны, существует представление об энтропии как о хаосе, мере неупорядоченности системы, а о негэнтропии как мере упорядоченности. Но, с другой стороны, именно негэнтропийные тенденции являются основой развития, основой любых инноваций, а они дестабилизируют систему, вносят нестабильность, т.е. неупорядоченность («креативное разрушение»). А эн-

тропийные – напротив, стабилизируют состояние системы, поскольку минимальное энергетическое состояние, к которому приводят энтропийные процессы – самое устойчивое.

Эти выводы подтверждаются количественными оценками степени целостности и свободы элементов в системе, из чего по **А. А. Денисову** следует: *«Социальная справедливость – опора стабильности, устойчивости государства, но неминуемо приводит к застою. Свобода – оплот динамического развития, но перекося в ее сторону чреват социальным взрывом»* [9, с. 644]. И в то же время по **Л. фон Берталанфи** подавление свободы активных элементов приводит к их сопротивлению, вплоть до преступности [1, с. 65].

В настоящее время осознается возрастающее влияние на информационно-коммуникационные процессы, новых технологий, увеличение степени подавления свободы элементов за счет увеличения взаимосвязей в социальных сетях, в большой степени за счет компьютеризации, что иногда квалифицируют как «коммуникативный тоталитаризм». Следовательно, необходимо искать формы управления энтропийно-негэнтропийными процессами.

Для обеспечения эффективности развития и безопасности социальных систем представляется целесообразным управление информационно-коммуникационными процессами, но не на основе жестких принципов, а на основе принципов, исследуемых в междисциплинарных научных направлениях, и в частности, в тектологии (всеобщей организационной науке), предложенной **А. А. Богдановым** [3], теории координации **М. Месаровича** [10], обеспечивающих возможность постоянного анализа состояния системы и корректировки ее на основе координирующих воздействий. В настоящее время уже ведется поиск таких форм – создание кибердружин, общественных организаций типа «Медиа Гвардия», обсуждаются, в том числе по телевидению и в интернете их взаимодействие с государственными формами регулирования единого информационного пространства и обеспечения информационной безопасности развития общества.

Список литературы

1. Берталанфи Л. фон. Общая теория систем: критический обзор // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23-82.
2. Bertalanffy L. von. Problem of Life. An Evolution of Modern Biological and Scientific Thought (1942), New York. . Harper. 1960.
3. Богданов А. А. Всеобщая организационная наука: Тектология. В 2-х кн. В 2-х книгах. М.: Экономика, 1989.

4. Волкова В. Н. Денисов А. А. Теория систем и системный анализ: учебник. – М.: Юрайт, 2014. – 616 с.
5. Волкова В. Н., Заславский М. М., Черный Ю. Ю. Информация и энтропийно-негэнтропийные процессы в социально-экономических системах // В сборнике: Наука в современном информационном обществе Материалы VI международной научно-практической конференции. 2015. С. 193-195.
6. Волкова В. Н., Черный Ю. Ю. Институты социальной памяти как основа негэнтропийных тенденций в обществе // В сб.: Общество, наука и инновация: Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор: Сукиасян А. А. Ч.2.– Уфа: Аэтерна, 2015. – С. 101-106.
7. Граве П. С., Растригин Л. А. Кибернетика и психика. – Рига: Зинатне, 1973. – 96 с.
8. Денисов А. А. Современные проблемы системного анализа: учебник. – СПб.: 3-е изд. Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 304 с.
9. Денисов А. А. Глазами народного депутата СССР. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2005. – 660 с.
10. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с.
11. Михайлов А. И., Черный А. И., Гиляревский Р. С. Научные коммуникации и информатика. М.: Наука, 1976. 435 с.
12. Урсул А. Д. Проблема информации в современной науке. – М.: Наука, 1975.
- 13.. Черный Ю. Ю. Послесловие к 7-му заседанию семинара «Методологические проблемы наук об информации» // Теория и практика общественной научной информации: сб. науч. тр. // РАН, ИНИОН. – М. 2014. Вып 22. – С. 234.
14. Черный Ю. Ю. Общественные эффекты развития киберпространства // Субкультуры и коммуникативные стратегии информационного общества: Труды Междунар. науч.-теор. конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. С. 62-65.
15. Шумпетер Й. Капитализм, социализм и демократия / Предисл. и общ. ред. В. С. Автономова. – М.: Экономика, 1995. – 540 с.
16. Энгельгардт В. А. О некоторых атрибутах жизни: иерархия, интеграция, узнавание / В.А.Энгельгардт // Вопросы философии. – 1976. – № 7. – С. 65–81.
- 17 Эткинс П.. Порядок и беспорядок в природе / Пер. с англ.. – М.: Мир, 1987. – 224 с. (P. W. Atkins. The Second Law/ - Ntw York, 1984)

УДК 339.92 (075)

Скопин Алексей Юрьевич
Доктор географических наук, профессор

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ИССЛЕДОВАНИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОТНОШЕНИЙ И РАЗРАБОТКЕ ВНЕШНЕЙ ПОЛИТИКИ ГОСУДАРСТВА

Москва, Московский гуманитарный университет
alex_skopin@mail.ru

Аннотация. Системный подход остается единственной общенаучной методологией, свободной от политизации и пропаганды, что делает его универсальным средством исследования и предоставления информации в гуманитарных науках. Особенно это касается такого исследовательского объекта как международные отношения. Переход от интересов национального государства к интересам земной цивилизации требует системного изменения политического мышления, экспертных оценок и активного внедрения системного мышления через программы высшего образования.

Ключевые слова: системный подход, методология, земная цивилизация, международные отношения, внешняя политика, фундаментальная структура страны, высшее образование

Skopin Alexey Jurievich,
Doctor of Geography, Professor,

SYSTEMS APPROACH FOR INVESTIGATION OF INTERNATIONAL RELATIONS AND FOREIGN POLICY

Moscow, Moscow Humanitarian University
alex_skopin@mail.ru

Abstract. The systems approach is the only one scientific methodology, free from politicization and propaganda, which makes it a universal instrument for research and the provision of information in the human sciences. This is especially true of the research object as international relations. The transition from the national interests of the state to the interests of the Earth' civilization requires a systemic change in political thinking, expertise and active expansion of systems thinking through higher education programs.

Key words: systems approach, methodology, international relations, foreign policy, the fundamental structure of the state, higher education

Международные отношения один из наиболее сложных объектов исследований в современном мире. Для этого объекта характерна неопределенность границ, тематики, методологии, базовых предпосылок анализа, и в то же время, колоссальное практическое значение для существования земной цивилизации. Многочисленные попытки систематизации имеют локальное или региональное значение, связанное с интересами того или иного государства или группы стран, интересами научных школ и политических элит. До сих пор отсутствует общепризнанный глобальный подход, учитывающий всех участников международных отношений, все разновидности международных отношений и все группы стран. Создание такого глобального подхода возможно только на основе общенаучной методологии, игнорирующей политические предпочтения и пропаганду, и «объективизирующей» исследование объекта при сохранении максимальной свободы ученого как субъекта исследования. По мнению автора, такой методологией может быть только системный подход.

Применение системного подхода к исследованию международных отношений и внешней политики государств относится ко второй половине 20 века, когда развитие кибернетики привело к пониманию невозможности управления объектом без его системного понимания. В 70-х гг. 20 века были достигнуты не только существенные результаты в системном описании международных отношений, но и в моделировании отдельных политических и экономических процессов с получением крайне интересных количественных и качественных прогнозов состояния как отдельных групп стран, так и глобальной системы в целом (Доклады Римского клуба, международного института прикладного системного анализа (IIASA), корпорации РЭНД и др.). К началу 21 века в мире был накоплен большой объем результатов исследования в виде научных концепций, экспертных докладов, монографий и научных статей. Вершиной созданного знания стал доклад «Наше общее будущее» (1987 г.), подготовленный Комиссией Г.Х.Брунтланд с привлечением сотен экспертов из всех стран мира. В докладе систематизированы общие проблемы земной цивилизации (демографические, продовольственные, экологические, энергетические, проблемы промышленного производства и урбанизации), дана оценка возможностей мировой экономики и мировой политики и определены общие направления действий (океаны, космос, Антарктика; международная безопасность; организационные и правовые реформы). Казалось бы, глобальная методология разработана и успешно применена к решению глобальных проблем. Однако последующее использование концепции устойчивого развития на уровне отдельных государств и групп госу-

дарств, а тем более, на уровне отдельных политических партий, корпораций и других значимых участников международных отношений, привело не просто к признанию невозможности реализации данной концепции, но и к серьезным сомнениям в возможностях системной методологии в постановке задач и обосновании действий. Распад «биполярной» системы мира в 90-х гг. привел к кардинальным идеологическим изменениям. Если раньше краткосрочность, индивидуальность и национальность рыночной экономики устойчиво дополнялись среднесрочностью, коллективизмом и континентальностью плановой экономики, то в 2000-х и 2010-х гг., рыночный подход стал практически глобальной идеологией и сформировал три новых реалии, кардинально меняющих систему международных отношений и методы исследования.

Первая реальность состоит в создании однополярной «глобальной империи» во главе с США, что порождает проблему отмены сложившейся системы международных организаций, включая ООН, и отмену международного права. Вторая реальность заключается в превращении западной экономической теории (основанной на идее жадности) в глобальную экономическую идеологию. Третья реальность состоит в «оглушении» политических элит европейских государств и деградации научно-исследовательских и образовательных систем бывших социалистических стран.

Однополярный мир показал рост неустойчивости и неуправляемого хаоса в 2010-х гг. Он существенно увеличил риск ядерного конфликта и глобальной ядерной войны в 2015-2017 гг.. Стихийные силы рынка сделали глобальный экономический кризис перманентным. Политический цинизм и деградация научного сообщества делают маловероятным прогресс гуманитарных исследований, способных предложить альтернативную модель развития земной цивилизации. В этих условиях остается возможность локального противостояния данным тенденциям силами существующих научных сообществ и социальных групп. Одним из таких сообществ являются системологи, а одной из таких социальных групп являются преподаватели высших учебных заведений и студенты.

Задача системологов заключается в создании такой методологии, которая бы показывала преимущества устойчивого многополярного мира, многоукладной экономики и дифференцированного общества профессионалов. Задача преподавателей состоит в создании таких учебных программ, которые бы переводили сложное системное понимание глобальных процессов на простой разговорный язык без ненужного излишнего упрощения либо излишнего усложнения. Системный подход необходимо сделать обязательной дисциплиной для 2 курса всех без исключения программ высшего профессионального образования в России, до-

полнив его системным анализом на 3 курсе применительно к конкретным специальностям.

В Московском гуманитарном университете осуществлен такой подход для студентов отделений регионоведения и международных отношений. Подход можно признать удачным по результатам научных конференций и аттестационных экзаменов. Студенты достаточно хорошо овладевают системной терминологией и методами анализа. На практических занятиях магистры занимаются обоснованием внешней политики стран изучаемых регионов на основе идеи четырех политик (политика безопасности, экономическая, социальная и экологическая политика) и идеи трех окружений (ближнее, среднее и дальнее окружение). Такая структуризация проблем международных отношений и внешней политики оказалась достаточно подробной для анализа и в то же время достаточно полной для синтеза основных направлений внешней политики государства и выстраивания всей системы международных отношений.

Основными базовыми понятиями в наших дисциплинах являются понятия: система, структура, субстрат, элемент, свойство, связь, границы, подсистема, надсистема. Основной структурой анализа является: 1.определение внешних границ страны; 2.определение внутренних границ страны и выделение подсистем; 3.определение элементов страны, их свойств и связей; 4.определение структуры и субстрата страны; 5.определение положения страны в надсистеме (в системе международных отношений)

Основным концептом анализа стран, государств и международных отношений является концепт фундаментальной структуры страны. **Фундаментальная структура страны, обеспечивающая ее независимость и самообеспечение, включает четыре вертикальных (Природа, Население, Хозяйство, Управление) и четыре горизонтальных (региональных) подсистемы (Периферию, Полупериферию, Подцентры и Центр).** Нижний уровень занимает природная подсистема (Природа) как источник ресурсов для всех остальных подсистем. Второй уровень занимает Население как наиболее активный действующий компонент в системе, преобразующий природу. Третий уровень занимает Хозяйство как Искусственный мир (Техника), создаваемый Населением для преобразования Природы и для собственных нужд, но приобретающий самостоятельное значение, поскольку по многим возможностям Техника превосходит возможности Населения. Четвертый уровень занимает Управление как подсистема, регулирующая взаимодействие Природы, Населения и Хозяйства.

К группе горизонтальных (региональных) подсистем относятся Периферия страны, Полупериферия, Подцентры и Центр. В Центре страны расположена в основном Управленческая подсистема, в Подцентрах – в

основном подсистема Хозяйства, в Полупериферии – в основном Население и в Периферии – нетронутая Природа. Табл. 1 иллюстрирует фундаментальную структуру любой страны, включающую восемь перечисленных подсистем.

Таблица 1 Фундаментальная структура страны.

	Центр	Подцентры	Полупериферия	Периферия
Управление	х			
Хозяйство		х		
Население			х	
Природа				х

Использование концепта фундаментальной структуры страны позволяет систематизировано описать всю систему международных отношений и основных направлений внешней политики для конкретного государства и группы стран.

Распространение такого подхода среди исследователей международных отношений и экспертов по разработке внешней политики способно создавать устойчивые научно-исследовательские, экспертные и преподавательско-студенческие сообщества для наднациональных исследований в рамках континентальных и глобальных программ. В 2017 году мы проведем первую конференцию (Городские, региональные и глобальные исследования – 2017) для формирования таких сообществ и получения первых результатов совместных исследований.

Список литературы

1. Доклад Брунтланд «Наше общее будущее». Некст стоп СССР, Копенгаген, Дания, 1987
2. Медоуз Донелла. Азбука системного мышления. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 343 с.
3. Системный анализ и принятие решений. Словарь-справочник. Под ред. В.Н.Волковой, В.Н.Козлова. М.: Высшая школа, 2004 – 616 с.
4. Скопин А.Ю. Международные организации. М.: ГУ-ВШЭ, 2007, 492 с.
5. Скопин А.Ю. Системная модель страны и региона. В Сб. Системный анализ в проектировании и управлении. СПб, Часть 1. Изд-во Политехнического университета, 2014. с.101-102
6. Хаггетт П, Скопин А.Ю. Общая география: глобальный синтез. Pearson Education, 2005. 352 с. авторского текст

УДК 330.1; 316.346.2.

Гриненко Светлана Викторовна

Д-р экон. наук, доцент, профессор, зав. каф.⁶³

ГЕНДЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД

г. Таганрог, Южный федеральный университет, Svgrinenko@sfedu.ru

Аннотация: Гендерные исследования, достаточно новые для России, что связано с особенностью советского периода, декларирующего всеобщее равенство, в том числе гендерное, носят фрагментарный характер, рассредоточены по различным предметным областям. В статье сделана попытка систематизировать области гендерных исследований, с целью получить общее представление о факторах достижения гендерного равенства, как цели тысячелетия, влияющего на такой важный показатель развития общества как экономический рост, повышающий отдачу от образовательного ресурса.

Ключевые слова: гендерное равенство, гендерные исследования, системный подход.

Svetlana V. Grinenko,

PhD in Economics, Associate Professor, Head of Department

GENDER STUDIES: SYSTEM APPROACH

Taganrog, Southen Federal University, Svgrinenko@sfedu.ru

Abstract. Gender Studies, quite new for Russia, due to the feature of the Soviet period, declaring universal equality, including gender, are fragmented, dispersed in various subject areas. The article is an attempt to systematize the field of gender studies, in order to get a general idea about the factors of gender equality as a Millennium Development Goal, affecting such an important indicator of social development such as economic growth, enhancing the impact of educational resource.

Keywords: gender equality, gender research, systematic approach.

Гендерные процессы в современном мире характеризуются тенденцией сокращения социальной дистанции между мужчинами и женщина-

⁶³ Публикация подготовлена в рамках поддержанного РГНФ научного проекта №16-02-00384

ми под воздействием ряда факторов, таких как вовлечение женщин в трудовую деятельность, расширение сферы их социальной жизнедеятельности, активные феминистских течения и идеология равноправия в социалистических странах. При этом следует отметить явную зависимость социальных статусов мужчин и женщин, проявляющуюся в том, что при повышении статуса мужчин снижается статус женщин, и наоборот. Еще одна зависимость связана с цикличностью экономического развития, вследствие чего периоды кризиса, как правило, приводят к снижению статуса женщин и повышению статуса мужчин, в периоды стабильности происходит незначительное повышение статуса женщин при снижении статуса мужчин.

Важной особенностью, вызывающей противоречие является необходимость совмещения профессиональных и семейных обязанностей, разрешение которого связано с организацией семейной жизни, зависящей как от внутрисемейных, так и от внешних факторов, таких как организация дошкольного воспитания, технологическая оснащенность бытовой жизни, рационализация быта.

Длительный законодательный паритет женщин и мужчин в российской экономике привел к формированию специфических гендерных императивов, присущих большинству россиянок. Во-первых, традиционное профессиональное участие в общественной жизни привело к формированию представления о работе не только как возможности получить финансовое обеспечение, но и самореализоваться как личности.

Применение системного подхода в гендерных исследованиях позволяет рассмотреть гендерные отношения в различных предметных областях в совокупности – как систему (рис. 1). Данный анализ позволит выявить существующие зависимости отношений, выстраиваемых в семье, в экономике (рынок труда, управление экономическими системами), в политике, в этносе, в социальных системах.

Кроме того, следует говорить о системе гендерных отношений как о динамической системе, в которой гендерные роли не являются константой, а постоянно изменяются под влиянием различных факторов – общеполитических, исторических, экономических, социальных. А также формирование гендерной роли зависит и от самого индивида, вследствие чего следует учитывать стратегии поведения, формирующие индивидуальные гендерные роли.

В экономической системе гендерные отношения строятся на платформе существующего гендерного порядка с учетом общего экономического уровня развития общества. При этом исследователи говорят о следующей тенденции: в условиях высокого материального уровня жизни социальная дистанция между гендерными группами сокращается, роль гендера в распределении экономических ресурсов снижается, напротив,

условиях экономического кризиса социальная дистанция увеличивается на основе резкого снижения экономического статуса женщин, проявляющегося в росте экономической зависимости женщин от мужчин, снижении стоимости женского труда, вытеснении женщин с рынка труда [1].

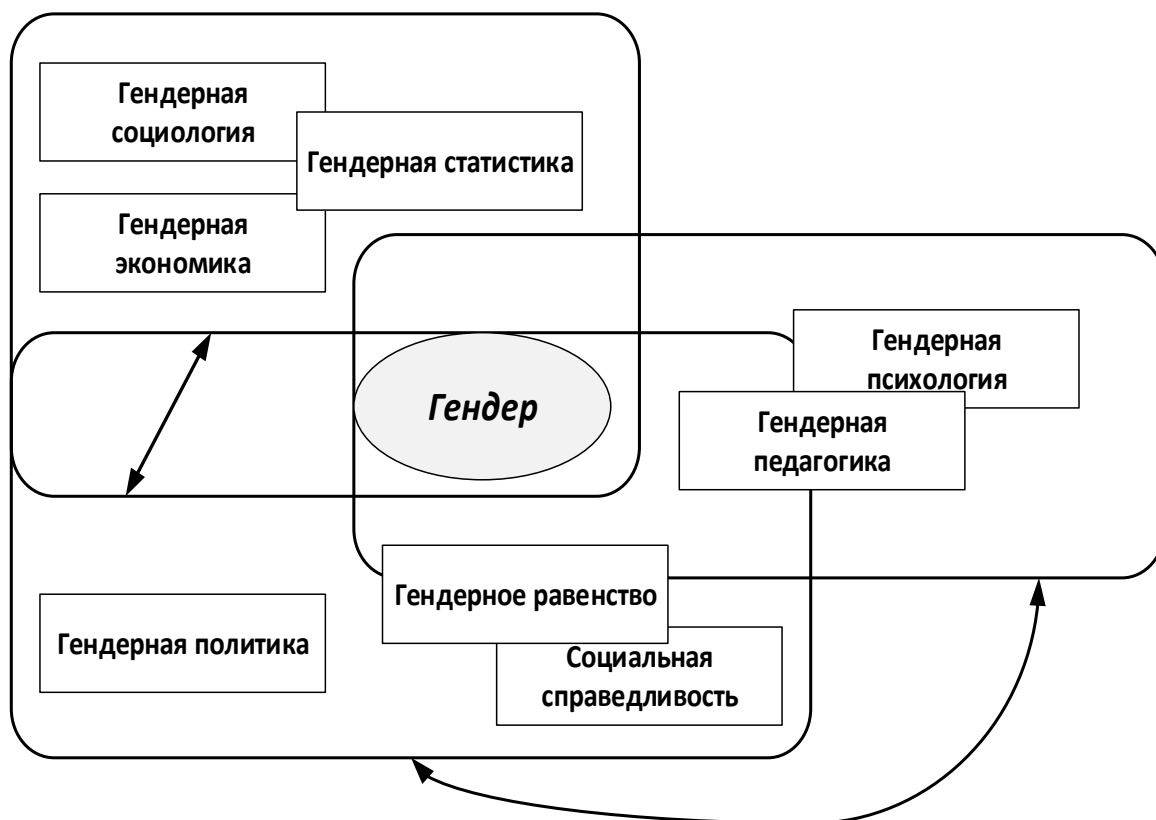


Рис. 1. Система гендерных отношений

При этом следует отметить, что экономическая активность характерна для обеих гендерных групп, зависит от личности человека независимо от гендерной принадлежности, в силу чего даже в условиях экономического кризиса гендерная роль женщины может возрасти, поскольку психологически именно женщина склонна получать более низкую оплату за свой труд и, как следствие, становится «добытчиком» ресурсов для поддержания жизненного статуса семьи.

Еще одним фактором сокращения социальной дистанции между гендерными группами является профессиональная квалификация человека и его способность к реализации профессиональной и должностной мобильности, несмотря на, безусловно, существующие неравные возможности для должностного продвижения – наблюдаемый учеными эффект Матильды, эффект Мэтью, эффект стеклянного потолка и др.

Наиболее сильно гендерное неравенство проявляется в политической сфере, в которой существует устойчивый стереотип «политика – не женское дело». Не смотря на определенные Цели развития тысячелетия, на устанавливаемые квоты, жесткое гендерное неравенство в политических и общественных структурах продолжает сохраняться.

Одним из ограничений, влияющих на достижение гендерного равенства является уровень технологического оснащения ведения домашнего хозяйства, прямо влияющий на активное вовлечение женщин в профессиональную и общественную сферу. Причем влияние носит обоюдонаправленный характер – активность женщины в профессии приводит к необходимости снижения ее бытовой занятости, что достигается повышением уровня технологической оснащенности соответствующей деятельности.

В современных условиях развития общества определен вектор формирования демократической модели гендерных отношений, предполагающей равенство в доступе к экономическим ресурсам, ответственности по уходу за детьми и за домашнюю работу на основе принципов социального равенства и социальной справедливости. Достижение гендерного равенства процесс многофакторный (рис. 1), требующий приоритетного внимания, поскольку гендерная дискриминация – явление распространяющееся и дорогостоящее. Согласно исследованиям гендерный разрыв в заработной плате в 50 % приводит снижению ВВП на душу населения на 25 % [2]. В исследовании проводилось сравнение «образцовой экономики» основанной на гендерном равенстве и фактического уровня ВВП на душу населения с учетом разрыва в заработной плате мужчин и женщин.

Согласно исследованиям Hausmann, Tyson, and Zahidi [4] «никакая страна в мире еще не достигла равенства между женщинами и мужчинами в критических областях таких как экономическое участие, образование, здоровье и политические возможности». Гендерное неравенство многоаспектно, но зависит от совокупности причин и последствий, поскольку они – часть сложной системы из социальных, культурных и экономических детерминантов.

Системный подход к гендерным исследованиям позволяет оценить взаимоотношения между экономической, культурной, образовательной гендерной дискриминацией, каждый тип из которых описан отдельно.

Dollar and Gatti [5], а также Guiso, Sapienza and Zingales [6] в своих исследованиях говорят об экономической дискриминации женщин, делая вывод, что снизить гендерное неравенство можно посредством повышения образовательного уровня женщин. Fern'andez [6, 7] обосновывает важность культурных особенностей как детерминант женского участия в рабочей силе, в то время как эмпирические результаты Algan and Cahuc

[8] определяют детерминант женского участия в трудовых ресурсах как национальные семейные особенности. Среди культурных факторов, которые объясняют женское участие в рабочей силе, особенно важна религиозная принадлежность, что доказывают эмпирические оценки Psacharopoulos, G., and Z. Tzannatos [9], Knudsen, K., and K. Waerness [10], Heineck, G. [11] и других авторов.

Klasen, S. [12] обосновывая связь гендерного равенства и экономического роста, полагает, что неравенство – приводит к нерациональному использованию образовательных ресурсов, которые могли обеспечить экономический рост. Blackden, M., and C. Bhanu [13] нашли, что гендерное неравенство может оказать влияние на экономический рост через женский потенциал накопить капитал – причем не только человеческий, но и непосредственно производственные активы и социальный капитал.

Заключая вышесказанное следует сделать вывод о том, что система гендерных отношений – многоаспектное, междисциплинарное понятие, требующее применения принципов системного подхода, позволяющих рассматривать его как целостное явление, подверженное влиянию совокупности факторов из различных сфер жизнедеятельности. Это позволит сформировать эффективную гендерную политику в соответствии с потребностями современного развития экономики и общества в целом.

Достижение гендерного равенства – снижение гендерного разрыва, гендерной сегрегации и дискриминации позволит повысить уровень доходов населения, снизить социальную напряженность, достичь экономического роста.

Список литературы

1. Чернова, И.И. Исследование гендерных процессов в социальной структуре современного общества // диссертация на соискание степени доктора социологических наук, Нижний Новгород 2002.

2. Cavalcanti Tiago, José Tavares The Output Cost of Gender Discrimination: A Model-based Macroeconomics Estimate // The Economic Journal, pages 109–134, February 2016.

3. Hausmann, R., L. D. Tyson, and S. Zahidi The Global Gender Gap Report 2006. // World Economic Forum, Geneva, Switzerland, 2006.

4. Dollar, D., and R. Gatti Gender Inequality, Income, and Growth: Are Good Times Good for Women? // Policy Research Report on Gender and Development, Working Paper Series, 1999. No. 1.

5. Guiso, L., P. Sapienza, and L. Zingales People's opium? Religion and economic attitudes // Journal of Monetary Economics, 2003. № 50(1). P. 225–282.

6. Fern'andez, R. Women, Work, and Culture // Forthcoming: Journal of the European Economic Association, 2007.

7. Fern'andez, R., and A. Fogli Culture: An Empirical Investigation of Beliefs, Work, and Fertility // NBER Working Papers 11268, 2005.

8. Algan, Y., and P. Cahuc The Roots of Low European Employment: Family Culture? // In: J. Frenkel and C. Pissarides (eds.), Forthcoming NBER Macroeconomic Annual, MIT Press? 2007.
9. Psacharopoulos, G., and Z. Tzannatos Female Labor Force Participation: An International Perspective // The World Bank Research Observer, 1989. № 4(2). P. 187–201.
10. Knudsen, K., and K. Waerness Reactions to Global Processes of Change: Attitudes Towards Gender Roles and Marriage in Modern Nations // Comparative Social Research, 1999. № 18. P. 161–195.
11. Heineck, G. Religion, Attitudes towards Working Mothers and Wives' Full-time Employment: Evidence for Austria, Germany, Italy, the UK, and the US // Austrian Institute for Family Studies, 2004. № 39.
12. Klasen, S. Does Gender Inequality Reduce Growth and Development? Evidence from Cross-Country Regressions // Policy Research Report on Gender and Development, Working Paper Series, 1999. № 7.
13. Blackden, M., and C. Bhanu Gender, Growth, and Poverty Reduction // World Bank Technical Paper, 1999. № 428.

Секция 1. ОБЩЕТЕРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

УДК 501:517:519

Фирсов Андрей Николаевич
доктор техн. наук, профессор

О ТИПОЛОГИИ МОДЕЛЕЙ

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Россия, Санкт-Петербург, (812) 297–14–40
anfirs@yandex.ru

Аннотация: В заметке, имеющей методический характер, сделана попытка представить прозрачную и, по возможности, формализованную иерархию основных типов моделей, используемых при описании динамических процессов в принципиально, на первый взгляд, различных системах. Подчеркивается, что математическая модель является естественной и универсальной средой эффективного анализа системных процессов различной природы.

Ключевые слова: система, физическая модель, аналоговая модель, математическая модель

Andrey N. Firsov
Doctor of Tech. Sci., professor

ON THE TYPOLOGY OF THE MODELS

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Russia. St. Petersburg, (812) 297–14–40
anfirs@yandex.ru

Annotation: In the article, an attempt is made to provide transparent and, where possible, a formalized hierarchy of basic types of models used to describe dynamic processes in matter, at first glance, the various systems. It is emphasized that the mathematical model is a natural and versatile environment for effective analysis of system processes of different nature.

Key words: system, physical model, analog model, mathematical model

Определим *систему* как совокупность (множество) объектов⁶⁴ той или иной природы, взаимодействующих друг с другом и внешней средой. Поскольку всякое взаимодействие предполагает возможность изме-

⁶⁴ Объекты, составляющие систему, нередко называют ее элементами.

нения состояния как самих объектов, составляющих систему, так и системы в целом, то первой задачей исследователя является установление закономерностей этих изменений с целью предсказания последних. Второй задачей становится задача формирования воздействий на систему в целом (через изменения, вносимые в условия внешней среды) или составляющие ее объекты с тем, чтобы реализовать требуемые изменения характеристик системы и/или ее объектов. Иными словами, мы должны говорить об исследовании и управлении *процессами*, происходящими в системе.

Для определенности формулировок, укажем на смысл, который мы вкладываем здесь в термин «характеристики». Под *характеристиками системы* мы понимаем количественное или функциональное описание значимых для целей исследования свойств системы в целом и составляющих ее объектов. Совокупность значимых характеристик не является чем-то неизменным, и может меняться в процессе исследования в зависимости от получаемых результатов, изменения целей исследования, поступления дополнительной информации (экспериментов, вычислений, открытий и т.п.). Приведем несколько примеров. В классической механике значимыми характеристиками свободной материальной точки являются ее координаты (точнее, радиус-вектор) и импульс. Для голономной системы материальных точек – совокупность обобщенных координат и скоростей (импульсов) точек системы и функция Лагранжа⁶⁵, причем последняя, как известно, представляет собой *функцию* обобщенных координат и обобщенных скоростей точек системы и, возможно, времени. В квантовой механике значимыми характеристиками для частицы являются, например, волновая *функция*, энергия (*оператор*) и спин (*число*). В газовой динамике значимыми характеристиками являются *функции* пространственных координат и времени (плотность, скорость, давление, температура и т.д.). В классической молекулярно-кинетической теории газов основными характеристиками системы молекул являются *функция* распределения и закон взаимодействия молекул между собой, представляющий собой *оператор*.

На практике, изучение процессов в любой реальной системе сводится к их *моделированию*, т.е. к приближенному описанию с помощью создания их упрощенных *моделей*. Традиционно, модели систем и процессов в них делятся на два основных класса: физические и математические модели, хотя такое деление во многом условно, поскольку, как мы увидим ниже, физическая модель без ее математического собрата теряет большую часть своей эффективности и практической значимости. В серьезных исследованиях эти модели должны идти «рука об руку».

⁶⁵ Или полная энергия системы.

Под *физической моделью* обычно понимается изделие, устройство или воображаемая система, являющаяся упрощённым подобием исследуемого объекта или системы и позволяющая воссоздать исследуемый процесс или явление с требуемой степенью точности. При этом, элементам системы ставятся в соответствие физические эквиваленты, воспроизводящие структуру, основные свойства и соотношения изучаемого объекта или процесса. Как правило, физическая модель объекта или системы должна иметь ту же качественную природу, что и моделируемый объект (система). В основу построения адекватной физической модели кладутся, как правило, идеи теории подобия и размерности.

Математическая модель – приближенное описание какого-либо класса явлений внешнего мира, выраженное с помощью математической символики. Чаще всего математическая модель представляет собой совокупность уравнений и/или неравенств (алгебраических, дифференциальных, интегральных, операторных, функциональных). Арсенал методов исследования математических моделей чрезвычайно широк - от алгебры логики до функционального анализа⁶⁶. При этом, поскольку математическая модель является объектом "математического мира", исследоваться она должна на принятом в этом "мире" уровне строгости. Наконец, важно понимать, что математическую модель нельзя "доказать". Это всегда гипотеза, справедливость которой проверяется только практикой ее применения.

Процесс *математического моделирования*, т.е. изучения явления с помощью математической модели, можно подразделить на четыре этапа [1].

Первый этап – формулирование законов, связывающих основные объекты модели. Этот этап требует широкого знания фактов, относящихся к изучаемым явлениям, и глубокого проникновения в их взаимосвязи. Эта стадия завершается записью в математических терминах сформулированных качественных представлений о связях между объектами модели.

Второй этап – исследование математических задач, к которым приводит математическая модель. Основным вопросом здесь является решение *прямой задачи*, т.е. получение в результате анализа модели выходных данных (теоретических следствий) для дальнейшего их сопоставления с результатами наблюдений изучаемых явлений. На этом этапе важную роль приобретают математический аппарат, необходимый для анализа математической модели, и вычислительная техника – мощное сред-

⁶⁶ Включая, естественно, численные методы. Но методика их применения и интерпретация результатов должны быть математически строго обоснованы.

ство для получения количественной выходной информации как результата решения сложных математических задач.

Третий этап – выяснение того, удовлетворяет ли принятая (гипотетическая) модель критерию практики, т.е. выяснение вопроса о том, согласуются ли результаты наблюдений с теоретическими следствиями модели в пределах точности наблюдений. Если отклонения выходят за пределы точности наблюдений, то модель не может быть принята. Часто при построении модели некоторые ее характеристики остаются неопределенными. Задачи, в которых определяются характеристики модели (параметрические, функциональные) таким образом, чтобы выходная информация была сопоставима в пределах точности наблюдений с результатами наблюдений изучаемых явлений, называются *обратными задачами*. Если такой сопоставимости нельзя добиться ни при каком выборе характеристик, то модель непригодна для исследования рассматриваемых явлений. Применение критерия практики к оценке математической модели позволяет делать вывод о правильности положений, лежащих в основе подлежащей изучению (гипотетической) модели.

Четвертый этап – последующий анализ модели в связи с накоплением данных об изучаемых явлениях и модернизации модели. В процессе развития науки и техники данные об изучаемых явлениях все более и более уточняются и наступает момент, когда выводы, получаемые на основании принятой математической модели, не соответствуют нашим знаниям о явлении. Таким образом, возникает необходимость построения новой, более совершенной математической модели.

Хорошей иллюстрацией сказанного выше может быть пример развития теории тяготения. Классическая теория тяготения Ньютона, с математической точки зрения, опиралась на евклидову модель пространства-времени, что, в конечном итоге, привело к описанию динамики системы материальных тел на основе уравнений Лагранжа. Как показывает опыт, теория Ньютона-Лагранжа адекватно описывает механические процессы, с которыми мы сталкиваемся на Земле и в космосе в пределах Солнечной системы. Блестящий пример тому – открытие планеты Нептун, которое было сделано в 1846 г. немецким астрономом И. Галле на основе расчетов У. Леверье (Франция) и Дж. Адамса (Англия), опиравшихся на теорию тяготения Ньютона. Однако, развитие космологических исследований в начале XX века привело к открытию явлений, которые не могли быть объяснены в рамках классической теории тяготения. Поиски ответов на возникшие вопросы привели А. Эйнштейна (к 1916 году) к построению новой математической модели пространства-времени, в которой за основу была принята гипотеза о пространстве-времени как римановом пространстве, в котором тензор кривизны зависит от распределения и величины масс космических объектов. В таком пространстве, в

частности, свет (точнее, фотоны) распространяется не прямолинейно (как в евклидовой модели), а по геодезическим линиям соответствующего риманова пространства. Теория Эйнштейна подтвердилась экспериментально в 1919 году, когда наблюдалось отклонения луча света от звезды при его прохождении вблизи Солнца, что качественно и количественно соответствовало предсказаниям теории. С другой стороны, в отсутствие вблизи исследуемых объектов больших (по космическим понятиям) гравитирующих масс, поправки (по отношению к классической теории тяготения), даваемые теорией Эйнштейна, становятся, с практической точки зрения, пренебрежимо малыми. Это позволяет успешно продолжать использовать в соответствующих условиях ньютонову теорию тяготения.

Другой пример, иллюстрирующий описанные этапы математического моделирования, приведен в цитированной выше статье А.Н. Тихонова в «Математической энциклопедии».

Заканчивая тему о физических и математических моделях, укажем на стоящие несколько особняком *аналоговые модели*. Этот тип моделей ярко демонстрирует органическую связь методов физического и математического моделирования. Суть аналогового моделирования состоит в следующем. Рассмотрим две системы различной физической природы (например, механическую и электрическую). Процессы в этих системах протекают согласно качественно различным физическим законам. Если, однако, математические модели обеих систем имеют одинаковый вид, т.е. с математической точки зрения эти системы одинаковы, то на основании исследования поведения одной системы можно делать вывод о поведении другой системы⁶⁷.

В качестве примера рассмотрим следующие механическую и электрическую системы [2]. Пусть механическая система с одной степенью свободы представляет собой массу m , перемещение которой происходит под действием возмущающей силы p , упругой восстанавливающей силы (например, пружины), характеризуемой жесткостью c , и демпфирующей силы вязкого трения с коэффициентом r . Пусть h – координата массы m , определяющая ее отклонение от положения равновесия. Уравнение движения такой механической системы имеет вид

$$m\ddot{h} + r\dot{h} + ch = p. \quad (1)$$

Пусть, далее, электрическая система представляет собой электрическую цепь, состоящую из последовательно соединенных источника ЭДС

⁶⁷ Следует различать *аналоговые* и *подобные* модели, изучаемые в теории подобия и размерности. В последнем случае мы имеем дело с физическими моделями *одинаковой* физической природы, в то время, как аналоговые модели – это физические модели *различной* физической природы.

e , индуктивности L , сопротивления R и инверсной емкости S ($S=1/C$). Пусть q – величина электрического заряда, переносимого током i через поперечное сечение проводника:

$$q = q_0 + \int_0^t i dt .$$

Из второго закона Кирхгофа вытекает следующее уравнение:

$$L\ddot{q} + R\dot{q} + Sq = e . \quad (2)$$

Если величины p и e как функции времени меняются по одному и тому же закону, то уравнения (1) и (2), по существу, тождественны и, следовательно, изучение поведения механической системы можно заменить изучением поведения системы электрической и наоборот. Таким образом, эти две системы, с точки зрения их математических моделей, аналогичны друг другу, хотя и являются системами различной физической природы.

Приведенные выше примеры касались моделирования «материально-физических» систем, однако все сказанное в равной степени относится и к задачам математического моделирования систем иной природы – социальным, экономическим и т.п. Иными словами, поведение систем, «сделанных из разного теста», можно эффективно исследовать с помощью моделей, строящихся в рамках одной из них – математической. Нужно только правильно подобрать соответствующий математический аппарат. Например, для построения и исследования адекватных математических моделей социальных и экономических процессов приходится обращаться к таким, казалось бы, совершенно абстрактным, областям аналитической математики как теория катастроф и алгебраическая топология (см., например, [3, 4]).

Список литературы

1. А.Н. Тихонов. Математическая модель. – В кн. Математическая энциклопедия в 5 томах, т. 3. – М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1982.
2. А.Ю. Львович. Электро-механические системы: Учеб. пособие. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1989.
3. А.К. Гуц, Ю.В. Фролова. Математические методы в социологии. – М.: Издательство ЛКИ, 2007.
4. Проблемы оптимизации и экономические приложения: материалы V Всероссийской конференции (Омск, 2 – 6 июля 2012). – Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2012.

**СИНТЕЗ ЛОКАЛЬНО ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ
С ЗАДАНЫМ УБЫВАНИЕМ ФУНКЦИИ ЛЯПУНОВА**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, (812) 297–14–40
saiu@ftk.spbstu.ru

Аннотация. Рассматривается синтез асимптотически устойчивых локально оптимальных систем устойчивым линейным объектом с заданным убыванием функции А.М. Ляпунова.

Ключевые слова: линейный объект, локально оптимальная система, синтез, система, устойчивость, функция.

Vladimir N. Kozlov,
Doctor of Technical Sciences, Professor

**SYNTHESIS OF LOCALLY OPTIMAL SYSTEMS
WITH A GIVEN FUNCTION DECREASES LYAPUNOV**

St. Petersburg Polytechnic University Peter the Great,
St. Petersburg, Polytechnicheskaya str., 29. (812) 297–14–40
saiu@ftk.spbstu.ru

Abstract. This is the synthesis of asymptotically stable locally optimal systems stable linear object with the specified function of decreasing A.M. Lyapunov.

Keywords: a linear object, locally optimal system, synthesis, system, stability, function.

1. Математическая формулировка задачи синтеза управлений.

Задача синтеза управлений формулируется следующим образом: вычислить вектор управлений.

$$u_{k*} = \arg \min \left\{ \|x_{k+1}\|^2 + \|u_k\|^2 \mid x_{k+1} = Hx_k + Fu_k \in \square^n, \|H\| < 1, \Delta V_k \leq -x_k^T Q x_k, \right. \\ \left. V_k = x_k^T P x_k, Q = Q_1 + Q_2, Q = Q^T > 0, x_k^T H^T P H x_k - x_k^T P x_k + x_k^T Q_1 x_k = 0 \right\} \in \square^m, (1)$$

как решение задачи (1) на основе метода Лагранжа

Управления для задачи (1) синтезируются при введении уравнения Ляпунова для асимптотически устойчивого объекта. Тогда

$$L = \|x_{k+1}\|^2 + \|u_k\|^2 + (\lambda_0, x_{k+1} - Hx_k - Fu_k) + \\ + \lambda_1 (x_{k+1}^T P x_{k+1} - x_k^T P x_k + x_k^T Q_1 x_k + x_k^T Q_2 x_k) + \\ + \lambda_2 (x_k^T H^T P H x_k - x_k^T P x_k + x_k^T Q_1 x_k). \quad (2)$$

Необходимые условия для функции Лагранжа (2) имеют вид.

$$\partial L / \partial \lambda_0 = x_{k+1} - Hx_k - Fu_k = 0_n, \quad (3)$$

$$\partial L / \partial \lambda_1 = x_{k+1}^T P x_{k+1} - x_k^T P x_k + x_k^T Q_1 x_k + x_k^T Q_2 x_k = 0, \quad (4)$$

$$\partial L / \partial \lambda_2 = x_k^T H^T P H x_k - x_k^T P x_k + x_k^T Q_1 x_k = 0, \quad (5)$$

$$\partial L / \partial x_{k+1} = 2x_{k+1} + \lambda_0 + 2\lambda_1 P x_{k+1} = 0_n, \quad (6)$$

$$\partial L / \partial x_k = -H^T \lambda_0 - 2\lambda_1 P x_k + 2\lambda_1 Q_1 x_k + 2\lambda_1 Q_2 x_k = 0_n, \quad (7)$$

$$\partial L / \partial u_k = 2u_k - F^T \lambda_0 = 0_m. \quad (8)$$

Уравнение (4) в силу (3) и (5) преобразуется к виду.

$$x_{k+1}^T P x_{k+1} - x_k^T P x_k + x_k^T Q_1 x_k + x_k^T Q_2 x_k = \\ = x_k^T H^T P H x_{k+1} - x_k^T P x_k + x_k^T Q_1 x_k + x_k^T Q_2 x_k + 2x_k^T H^T P F u_k + u_k^T F^T P F u_k = \\ = 2x_k^T H^T P F u_k + u_k^T F^T P F u_k + x_k^T Q_2 x_k = 0. \quad (9)$$

Из уравнения (6) следует вектор множителей

$$\lambda_0 = -2(E + \lambda_1 P)x_{k+1} = -2(E + \lambda_1 P)(Hx_k + Fu_k). \quad (10)$$

Если уравнение (7) умножить на матрицу $-F^T (H^T)^{-1} \square -F^T H^{-T}$ и сложить с (8), то можно получить преобразованные равенства.

$$-F^T H^{-T} (-H^T \lambda_0 - 2\lambda_1 P x_k + 2\lambda_1 Q_1 x_k + 2\lambda_1 Q_2 x_k) + 2u_k - F^T \lambda_0 = \\ = F^T \lambda_0 + 2\lambda_1 F^T H^{-T} P x_k - 2\lambda_1 F^T H^{-T} (Q_1 + Q_2) x_k + 2u_k - F^T \lambda_0 = \\ = 2\lambda_1 F^T H^{-T} P x_k - 2\lambda_1 F^T H^{-T} (Q_1 + Q_2) x_k + 2u_k = 0_m, \quad (11)$$

из которых следует вектор управлений заданным оператором

$$u_{k*} = -\lambda_1 F^T H^{-T} P x_k + \lambda_1 F^T H^{-T} (Q_1 + Q_2) x_k = \lambda_1 (A + B) x_k \in \square^m, \quad (12)$$

Подстановка (12) в (9) при условиях $K = H^T P F$, $M = F^T P F$ позволяет вычислить множитель λ_1 из квадратного уравнения

$$a\lambda_1^2 + b\lambda_1 + c = 0, \quad (14)$$

$$a = x_k^T (A + B)^T M (A + B) x_k, \quad b = 2x_k^T K (A + B) x_k, \quad c = x_k^T Q_2 x_k,$$

$$A = -F^T H^{-T} P, \quad B = F^T H^{-T} (Q_1 + Q_2), \quad K = H^T P F, \quad M = F^T P F,$$

поскольку имеют место следующие соотношения для параметров

$$\begin{aligned} & 2x_k^T K u_k + u_k^T M u_k + x_k^T Q_2 x_k = \\ & = 2\lambda_1 x_k^T K (A + B) x_k + \lambda_1^2 x_k^T (A^T + B^T) M (A + B) x_k + x_k^T Q_2 x_k = 0. \end{aligned}$$

Эти соотношения определяют ЛОУ для исследования замкнутых систем с заданным убыванием функции Ляпунова. Можно также сформулировать задачу синтеза с ограничениями на координаты и управления как обобщение задачи (10) вида вычислить вектор.

$$u_{k*} = \arg \min \left\{ \|x_{k+1}\|^2 + \|u_k\|^2 \mid x_{k+1} = Hx_k + Fu_k \in \square^n, \|H\| < 1, \Delta V_k \leq -x_k^T Q x_k, \right.$$

$$\left. V_k = x_k^T P x_k, Q = Q_1 + Q_2, Q = Q^T > 0, x_k^T H^T P H x_k - x_k^T P x_k + x_k^T Q_1 x_k = 0 \right\} \in \square^m,$$

$$\|x_{k+1}\|^2 \leq r_x^2, \quad \|u_k\|^2 \leq r_u^2. \quad (15)$$

Таким образом, аналитический подход к синтезу управлений обеспечивает заданное убывание функции Ляпунова на траекториях динамической системы с оператором управления (12) – (14).

2. Свойства системы ЛОУ с заданным убыванием функции Ляпунова (написано совместно с Г.А. Рябовым).

Динамика системы с заданным убыванием функции Ляпунова на основе управлений типа (1) исследована для объекта с параметрами

$$H = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,1 \\ 1,0 & 0,5 \end{bmatrix}, \quad Q_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad Q_2 = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}, \quad F = \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0,5 \end{bmatrix}, \quad x(0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Управления вычислены в силу (12), (14). Результаты эксперимента для сравнительного анализа «динамики объекта» и «системы с заданным убыванием функции Ляпунова» даны в таблице.

Таблица

u_k	x_{k1}	x_{k2}	λ
-2.2953	1.0000	0	2.6108
1.6266	-0.6477	-0.1477	1.3113
-1.1777	0.4747	0.0918	1.4114
0.8512	-0.3423	-0.0683	1.3926
-0.6154	0.2476	0.0491	1.3958
0.4449	-0.1790	-0.0355	1.3953
-0.3217	0.1294	0.0257	1.3954

На рис. 1 приведены процессы для координат x_{k1} , x_{k2} вектора состояния объекта при отсутствии управлений $u_k = 0$ и для случая u_k вида (12) при заданном убывании функции Ляпунова.

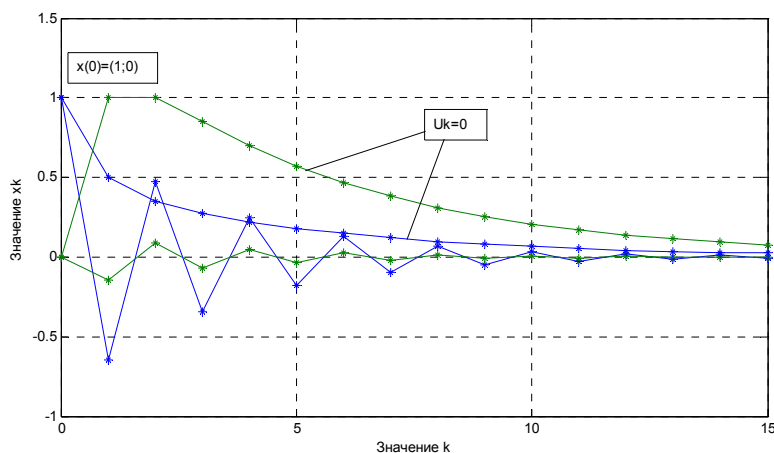


Рис. 1. Динамика объекта (при нулевом управлении $U_k = 0$) и системы

Таким образом, аналитический синтез систем ЛОУ с заданным убыванием функции Ляпунова реализуется в системах с обобщенными целевыми условиями. При этом совместность и разрешимость ограничений задач синтеза управлений для обобщенной задачи подтверждает адекватность их формулировки и результатов.

Список литературы

1. Ляпунов А. А. Связь между строением и происхождением управляющих систем. В кн.: Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник. — М.: «Наука», 1973, сс.251-257.
2. Козлов В.Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений — М.: Проспект, 2010,
3. Козлов В.Н. Метод нелинейных операторов в проектировании динамических систем. Изд-во Ленингр. гос. ун-та. Л.: - 1986.
4. Козлов В.Н. Негладкие системы, операторы оптимизации и устойчивость. Изд-во Политехн. ун-та. СПб.: 2012.
5. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М.: Высш. шк., 1985.
6. Козлов В.Н. Устойчивость разностных операторов систем с проекционными локально оптимальными управлениями и регуляризацией. Труды VI Международной научной конференции «Современные проблемы и методы теории операторов и гармонического анализа и их приложения». Изд-во Южного федераль. ун-та. Ростов на Дону. 2016.
7. Козлов В. Н., Тросько И. У. Устойчивые режимы энергетических систем на основе управления хаотическими процессами // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 3-1 (154), 2012. С. 111-117

Игнатъев Михаил Борисович¹,

Д-р техн. наук, профессор,

Катермина Татьяна Сергеевна²,

Канд. техн. наук, старший преподаватель

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХАОСОМ

¹Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, ignatmb@mail.ru,

²Нижевартовский государственный университет

Аннотация. Часто хаос ассоциируется с неопределенностью. Чтобы управлять хаосом, необходимо управлять неопределенностью. С помощью метода избыточных переменных синтезируются структуры с различным числом произвольных коэффициентов и открывается возможность управлять хаосом. В качестве примеров рассматриваются осцилляторы в вычислительных средах с помехами и синтез аттрактора на сфере.

Ключевые слова: хаос, управление, адаптация, избыточность, осцилляторы, неопределенность, метод избыточных переменных, устойчивость.

Mikhail B. Ignatyev¹,

Doctor of Technical Science, Professor,

Tatiana S. Katermina²,

PhD in Technical Sciences, Senior lecturer

SYSTEM ANALYSIS OF CHAOS CONTROL PROBLEM

¹St. Petersburg, St. Petersburg state university of aerospace instrumentation, ignatmb@mail.ru, ²Nisnevartovsk, Nisnevartovskij state university

Abstract. Chaos often associated with uncertainty. To control chaos, you need to manage uncertainty. Using the method of redundant variables are synthesized structures with different numbers of arbitrary coefficients, and opens the possibility to manage the chaos. As examples, oscillators are considered in computing environments with noise and synthesis of the attractor on the sphere.

Keywords: chaos, control, adaptation, redundancy, oscillators, the uncertainty, the method of redundant variables, stability.

1. Введение. В древне-греческой мифологии хаос – беспредельная изначальная масса, из которой образовалось впоследствии все существующее. В переносном смысле – беспорядок, неразбериха. Хаос сегодня в науке принято определять так – это динамическая система, имеющая следующие характеристики: чувствительность к начальным условиям, свойство топологического перемешивания, нелинейность, быть глобально устойчивой, но иметь хотя бы одну неустойчивую точку равновесия колебательного типа, при этом размерность системы дифференциальных уравнений должна быть не менее трех и т.д.[5, 6]. Мы будем рассматривать вычислительные системы с избыточностью, что позволяет построить системы с контролем и коррекцией и уменьшить воздействие хаоса на результат вычислений. В качестве примера управления хаосом синтезируется аттрактор на сфере.

2. Метод избыточных переменных

Метод избыточных переменных[3,4,7] позволяет вводить избыточность на уровне исходной задачи, что открывает возможность наложить дополнительные ограничения на переменные расширенной системы, которые можно использовать в качестве контрольных условий. Например, если требуется решить дифференциальные уравнения:

$$\frac{dX}{dt} = F_1(X, Y), \frac{dY}{dt} = F_2(X, Y), \quad (1)$$

то можно ввести новую, третью переменную в эту задачу

$$X = \sum a_i * x_i, Y = \sum b_i * x_i, i = 1, 2, 3, \quad (2)$$

и на расширенную систему наложить дополнительное ограничение, например такое:

$$F_3(x_1, x_2, x_3) = 0, \quad (3)$$

которое можно использовать в качестве контрольного условия — если оно нарушается, то сигнал ошибки можно использовать для коррекции системы.

Схема вычислительного процесса с контролем и коррекцией по методу избыточных переменных изображена на рис 1.

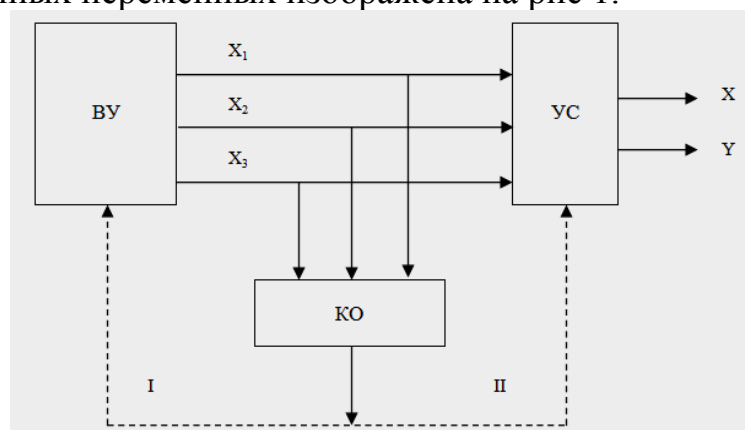


Рис. 1. Схема вычислительного процесса с коррекцией

В контрольном органе (КО) проверяется выполнение контрольного условия. Сигнал ошибки, полученный на выходе контрольного органа, может быть использован для коррекции вычислительного процесса с помощью обратной связи (пунктирная линия I на рис. 1) или с помощью коррекции вперед (пунктирная линия II на рис. 1). В блоке УС — устройство сжатия — осуществляется преобразование от избыточных переменных обратно к исходным. Блок ВУ — вычислительное устройство.

Аналогичным образом можно вводить избыточность в различные системы, накладывая контрольные условия и строить цепи коррекции. Актуальность темы подтверждается необходимостью реализовывать встроенные вычислительные устройства в различные блоки для программного управления оборудованием высокой ответственности в реальном времени.

При решении дифференциальных уравнений на вычислительных машинах возможны нарушения, во-первых, в начальных условиях, во-вторых, в правых частях уравнений, в-третьих, в самом операторе дифференцирования. И если в идеальной системе должна решаться система уравнений

$$\frac{dy_i}{dt} = f_i(y_1, y_2, \dots, y_n, t), \quad y_i(0) = y_{i0}, \quad (4)$$

то реально будет решаться система

$$\begin{aligned} \frac{d\tilde{y}_i}{dt} &= f_i(\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_n, t) + A_i(\tilde{y}_1, \dots, \tilde{y}_n, t), \\ \tilde{y}_i(0) &= \tilde{y}_{i0}, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (5)$$

где $A_i(\tilde{y}_1, \dots, \tilde{y}_n, t)$ — хаотические помехи, действующие на систему дифференциальных уравнений.

Нарушения в операторе дифференцирования также сводятся к аддитивной добавке аналогичного вида в правых частях реально решаемых систем уравнений.

Суть метода избыточных переменных заключается в том, чтобы решать в вычислительном устройстве не исходную систему уравнений, а эквивалентную ей расширенную систему с неопределенными коэффициентами.

Введение избыточности позволяет не только организовать контроль, но также управлять вычислительным процессом как на основании априорных данных о помехах, так и на основании текущего контроля процесса в реальном времени. В качестве примера рассмотрим гармонический осциллятор.

Воспроизводимая функция в данном случае:

$$y_1^2 + y_2^2 = R^2 \quad (6)$$

Эквивалентная данному уравнению система дифференциальных уравнений будет иметь вид:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = y_2, \\ \frac{dy_2}{dt} = -y_1. \end{cases} \quad (7)$$

Введем в качестве сигнала ошибки новую переменную

$$y_1^2 + y_2^2 - R^2 = y_3. \quad (8)$$

После дифференцирования будем иметь

$$2y_1 dy_1 + 2y_2 dy_2 - dy_3 = 0.$$

Эквивалентная система дифференциальных уравнений будет иметь вид:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = u_1 2y_2 - u_2, \\ \frac{dy_2}{dt} = -u_1 2y_1 - u_3, \\ \frac{dy_3}{dt} = -u_2 2y_1 - u_3 2y_2. \end{cases} \quad (9)$$

Величина y_3 подсчитывается в контрольном органе по формуле (6), она известна, и ее можно использовать для коррекции, назначив неопределенные коэффициенты u_2 и u_3 таким образом, чтобы $y_3 \rightarrow 0$.

Это осуществимо, если положить

$$u_2 = y_3 2y_1 \alpha, \quad u_3 = y_3 2y_2 \alpha \quad (10)$$

где $\alpha > 0$. В системе с коррекцией по воспроизводимой функции будут решаться уравнения:

$$\begin{cases} \frac{dy_1}{dt} = u_1 2y_2 - y_3 2y_1 \alpha, \\ \frac{dy_2}{dt} = -u_1 2y_1 - y_3 2y_2 \alpha, \end{cases} \quad (11)$$

начальными условиями y_{10} и y_{20} , при которых воспроизводимая функция $F(y_{10}, y_{20}) = 0$.

Последнее уравнение системы (9) прямо не будет решаться в системе — оно используется для аналитического синтеза. При подстановке в него (10) видно, что $y_3 \rightarrow 0$ при $\alpha > 0$. С помощью коэффициента u_1 за-

дается скорость и направление движения по заданной траектории $F(y_1, y_2) = 0$.

Для моделирования этой и последующих систем была выбрана библиотека моделирования Simulink, являющаяся частью среды MatLab. Далее приводятся результаты решения системы дифференциальных уравнений с применением различных численных методов, с различным шагом дискретизации Δ .

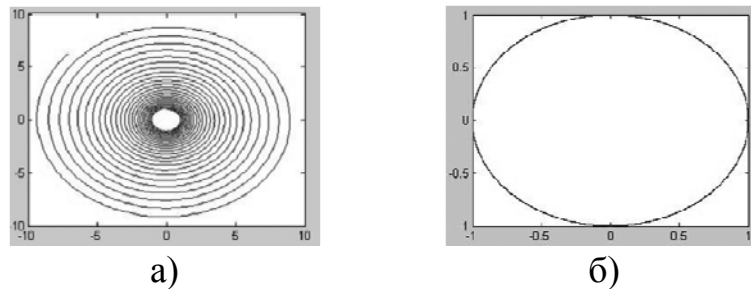


Рис. 2. Графики зависимости y_2 от y_1 (метод Эйлера с шагом дискретизации 0.5) без коррекции (а) и с коррекцией (б).

Анализируя примеры, можно сделать вывод, что метод избыточных переменных позволяет, не уменьшая шага дискретизации, т.е. не увеличивая времени решения системы дифференциальных уравнений, при помощи манипулирования только произвольными коэффициентами значительно снизить величину ошибки, а в некоторых случаях добиться решения там, где стандартными методами это сделать невозможно. В качестве другого примера рассмотрим систему дифференциальных уравнений, моделирующую построение лемнискаты Бернулли, которая имеет другую особую точку.

Воспроизводимая функция в данном случае:

$$(y_1^2 + y_2^2) - 2a^2(y_1^2 - y_2^2) = 0.$$

Аналогичным образом можно организовать контроль и коррекцию и в этом случае, результаты вычислительного эксперимента приведены на рис. 3.

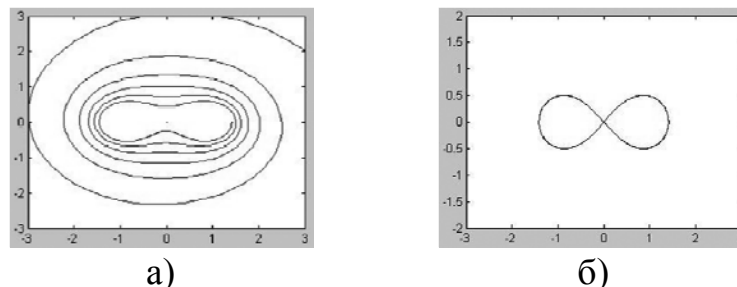


Рис. 3. Графики зависимости y_2 от y_1 (метод Эйлера с шагом дискретизации 0.5, $u_1 = 0.01$) без коррекции (а) и с коррекцией (б).

Метод избыточных переменных позволяет бороться с хаосом в различных вычислительных средах [3, 4].

3. Управление хаосом

В качестве примера управления хаосом с использованием произвольных коэффициентов рассмотрим задачу построения аттрактора на сфере.

Для построения аттрактора на сфере была сгенерирована система дифференциальных уравнений движения точки по сфере. При этом обязательным является нахождение точки на сфере (если мы рассматриваем аттрактор применительно к движению материковых плит [3] – они находятся на поверхности земного шара). Неопределенные коэффициенты необходимо назначить так, чтобы их изменения (переназначения) приводили к значительным изменениям переменных, на которые эти коэффициенты влияют.

Воспроизводимая функция сферы:

$$x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 = R^2, \quad (12)$$

Количество неопределенных коэффициентов будет равно 3, и система дифференциальных уравнений будет иметь вид:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = u_1 x_2 + u_2 x_3, \\ \frac{dx_2}{dt} = -u_1 x_1 + u_3 x_3, \\ \frac{dx_3}{dt} = -u_2 x_1 - u_3 x_2, \end{cases} \quad (13)$$

с начальными условиями $x_1(0) = x_{10}$, $x_2(0) = x_{20}$, $x_3(0) = x_{30}$ удовлетворяющими уравнению (12). Тогда можем назначить $u_1 = x_2$, $u_2 = x_3$, $u_3 = 1$ тогда $x_1 \rightarrow \max$. Через некоторое время назначаем $u_1 = -x_1$, $u_3 = x_3$, $u_2 = 1$ тогда $x_2 \rightarrow \max$. Через некоторое время назначаем $u_2 = -x_1$, $u_3 = -x_2$, $u_1 = 1$ тогда $x_3 \rightarrow \max$. Далее цикл повторяется, можно организовать попеременное устремление к максимуму каждой из переменных x_1 , x_2 , x_3 , переключая коэффициенты в случайный момент времени (когда время перехода от одного состояния к другому неизвестно). В качестве среды моделирования выберем Simulink — часть среды моделирования MatLab.

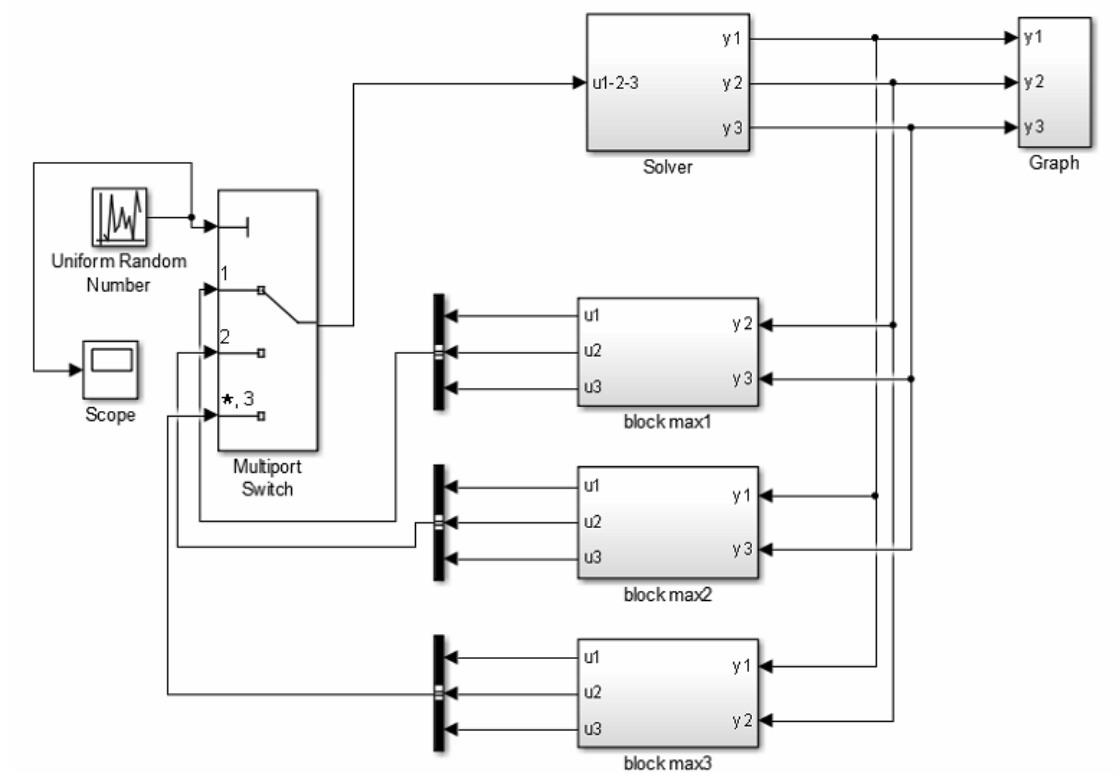


Рис.4. Модель воспроизведения аттрактора на сфере.

Результаты моделирования представлены на следующих рис. 5 и 6.

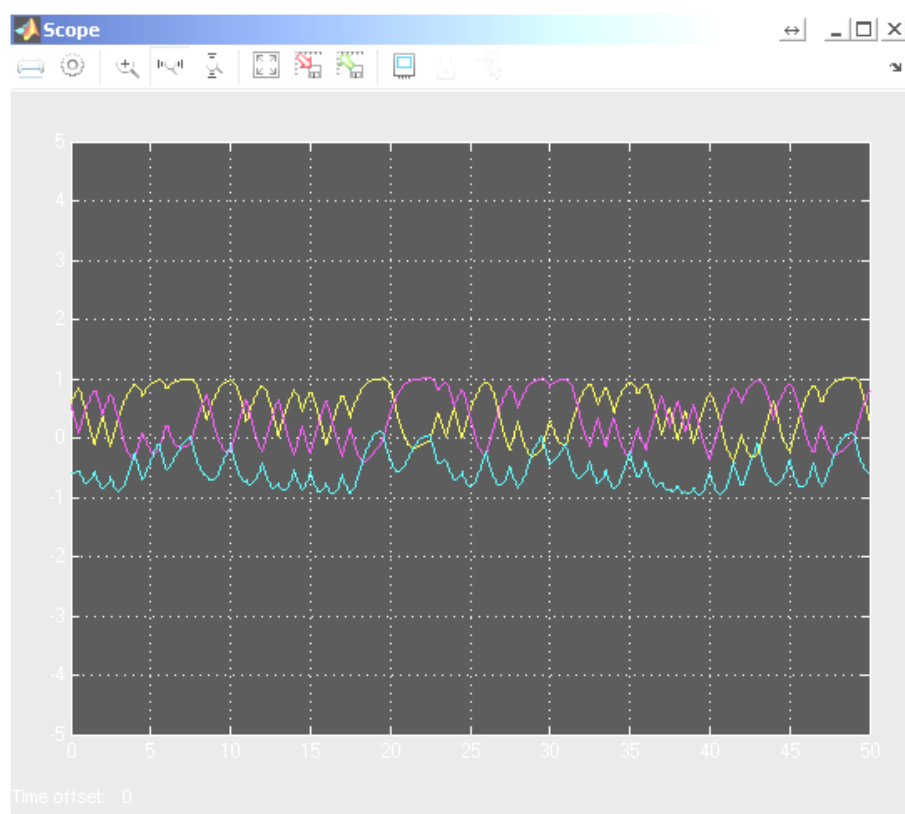


Рис. 5. Графики зависимости переменных x_1 , x_2 , x_3 от времени t .

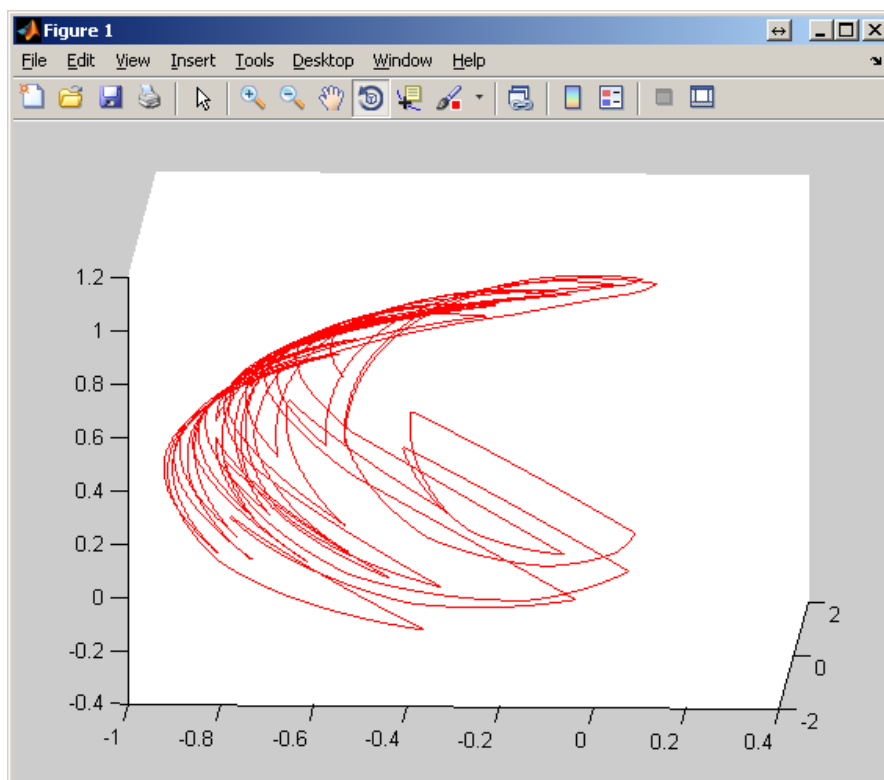


Рис. 6. Траектория на поверхности сферы с координатами x_1 x_2 x_3 .

4. Заключение.

Таким образом было показано, как можно управлять хаосом, манипулируя числом произвольных коэффициентов или назначая их таким образом, чтобы уменьшить влияние хаоса[1- 4] или организовать аттрактор.

Список литературы

1. Vorobev G.M., Ignatev M.B., Katermina T.S. "Retention of plasma column in tokamak"// Proceedings of the 3th International conference in memory of V.I.Zubov "Stability and control processes", October 5-8, 2015, St-Petersburg.
2. Ignatev M.B. "Galaxy evolution simulation on basement of linguo-combinatorial approach"//29th GA IAUS317, August 2015, Honolulu.
3. Игнатьев М.Б. «Кибернетическая картина мира. Сложные киберфизические системы» С-Петербург, 2014, 472 с.
4. Игнатьев М.Б., Катермина Т.С. «Контроль и коррекция вычислительных процессов в реальном времени на основе метода избыточных переменных»// Нижневартовск, 2014, 188 с.
5. Магницкий Н.А. «Теория детерминированного хаоса»// М., 2011,302 с.
6. Кузнецов С.П. «Детерминированный хаос»// М., Физматлит, 2006,296 с.
7. «Управление вычислительными процессами» Г.С.Бритов, М.Б.Игнатьев, Л.А.Мироновский, Ю.М.Смирнов// Л., изд. ЛГУ, 1973, 296 с.

ОТ СИСТЕМНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ К КОНЦЕПТУАЛЬНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

Москва, Московский технологический университет (МИРЭА)
e-mail: ab__sorokin@mail.ru

Аннотация. Изложена оригинальная методика проектирования синергетических комбинаций интеллектуальных моделей на основе интеграции системных представлений, деятельностного подхода и ситуационного анализа. Триада рассматриваемых методик приводит к построению концептуальной структуры акта деятельности, в которой выделяются частные представления: функций, процессов, контекста и закономерностей. Это дает возможность определить необходимую область знаний о предметной области для реализации экспертных, когнитивных, аналитических, эволюционных и имитационных моделей.

Ключевые слова: системные представления, деятельностный подход, ситуационный анализ, концептуальная структура акта деятельности, модель предметной области, концептуальные планы

Aleksey B. Sorokin,
assistent

FROM SYSTEM REPRESENTATIONS TO CONCEPTUAL MODELING

Moscow, Moscow Technological University (MIREA),
e-mail: ab__sorokin@mail.ru

Abstract. The original method of design synergetic combinations intellectual models on the basis integration system representations, activity approach and situation analysis is described. The triad of the considered techniques leads to creation of conceptual structure of the act of activity in which private representations are allocated: functions, processes, context and regularities. It gives the chance to define necessary field of knowledge about subject domain for realization of expert, cognitive, analytical, evolutionary and imitating models.

Keywords: system representations, activity approach, situational analysis, conceptual structure of the act of activity, model of subject domain, conceptual plans

Общее известно, что разработки синергетических комбинаций моделей искусственного интеллекта (ИИ) обладают наибольшей степенью творческой свободы по сравнению с информационными системами. При этом творческое мышление обладает свойствами уникальности, неповторимости, несводимости результата к логическому выводу и т.п. Однако «материал» творческого процесса может быть не только двигательным или образным, но также концептуальным. Концептуальный «материал» – это поиск закономерностей и оценка влияния различных объектов друг на друга. Для работы с таким сложным материалом необходимо концептуальное мышление, которое сродни своего рода творчеству, направленному на проникновение в суть вещей. Единицей концептуального мышления выступает структура, которая связывает через отношения экстенционалы понятий в единое представление.

Поэтому в свое время наибольшую популярность для проектирования программного обеспечения получила так называемая CASE-технология. Однако, несмотря на популярность CASE-технологий использование их для проектирования гибридных систем, а в частности систем поддержки и принятия решений сопровождается рядом затруднений для разработчика:

- ему предлагается множество избыточных или практически неиспользуемых концептуальных конструкций;
- ему предлагается не единый, а разнородный синтаксис, то есть разнородные правила составления конструкций языка;
- ему не предлагаются эффективные способы моделирования предметной области (ПрО) на ЭВМ.

Эти обстоятельства указывают на существование в области разработок синергетических комбинаций моделей ИИ (гибридных систем) проблемы, состоящей в отсутствии единой концептуальной структуры обоснованных решений относительно управления рассматриваемой ПрО и программном извлечении различных знаний из концептуальной модели для ее проектирования. Для выхода из создавшегося методологического тупика предлагается создать интеллектуально-программную надстройку, которая на концептуальном уровне объединит различные подходы и диаграммы CASE-технологии в единую структуру.

Сформировав идею необходимо найти подходящий материал (ПрО), на который можно спроецировать знания пригодные для решения данной проблемы. Предлагается рассматривать динамически сложную среду, характеризующуюся следующими особенностями:

- для достижения целей необходимо принимать множество решений, каждое из которых должно рассматриваться в контексте остальных;
- принимаемые решения зависимы друг от друга, обладают стохастическими и длинными связями;

– среда изменяется как под воздействием определенной совокупности – систем, так и вследствие принимаемых решений.

Тогда необходимо динамически сложную среду определить терминами системного анализа, который позволит рассматривать ПрО и сформированную идею в целом представлении.

1. Системные исследования

Системный анализ с одной стороны признается в настоящее время наиболее конструктивным из направлений системных исследований, но с другой не существует в виде строгой методологической концепции и тесно связан с различными направлениями современной науки.

Поэтому, в зависимости от того какие определения будет взяты за первооснову, зависит решение вопроса о специфических признаках концептуальной структуры. В связи лавинообразным характером системных исследований, предложено достаточно большое количество общих и специальных определений понятия «система», из них выбрано:

а. Большая система – это система, которая не может рассматриваться иначе как в качестве совокупности априорно выделенных подсистем (Ю.И. Черняк) [1];

б. Сложная система – эта система, построенная для решения многоцелевой задачи; система, отражающая разные, несравнимые аспекты характеристики объекта; система, для описания которой необходимо несколько языков; система, включающая взаимосвязанный комплекс разных моделей (Ю.И. Черняк) [1];

с. Система не расчленяется на самые элементарные частицы (т.е. не разрушается полностью), а представляется как совокупность укрупненных компонентов, принципиально необходимых для существования и функционирования исследуемой или создаваемой системы (В.Н. Волкова) [2].

Таким образом, из первых двух определений (а и б) установлены два способа разложения задачи на ее составляющие, которые обусловлены мерностью состава – большая система и организации – сложная система. Исходя из того, что динамически сложная среда всегда находится во взаимной зависимости от некоторой совокупности систем (экономических, социальных, техногенных и др.), можно утверждать:

– она может быть представлена как большая система, объединяющая разнотипные сложные системы, в которой действует множество организационных структур с определенной функциональностью;

– системообразующим фактором динамически сложной среды является деятельность, которая может быть смоделирована на ЭВМ только через методы ИИ.

Последнее определение (с) дает понимание того, что рассматривая деятельность как систему в виде некой концептуальной модели, в ней

можно выделить частные представления соответствующие методам ИИ имитирующим деятельность человека.

Исходя из вышеизложенного, предлагается рассмотреть немного модернизированную версию системно-деятельностного подхода Г.П. Щедровицкого (далее деятельностный поход) [3].

2. Системно-деятельностный подход Г.П. Щедровицкого

Получить конечное рассудочное определение понятие «деятельность» сложно, так как это универсальная общенаучная категория предельной абстракции и используется в форме объяснительного принципа. В мире все может рассматриваться как деятельность, при этом она носит объясняющий характер того, что происходит в мире, хотя сама в обосновании не нуждается

С позиции деятельностного подхода различают две формы деятельности: внешнюю (практическую, видимую для создателя системы) и внутреннюю (мыслительную, невидимую для наблюдателя). Поэтому предлагается рассматривать только внешнюю деятельность, выраженную в реальном продукте.

В динамически сложной среде может существовать множество деятельностей. При этом деятельность существует в циклах воспроизводства, которые разделяют ее на частные изображения: сферы, виды и акты деятельности. Таким образом, реализуется иерархическая структура динамически сложной среды (рис. 1).



Рис. 1. Иерархическая структура динамически сложной среды

Акт является элементом деятельности и строится в соответствии с определенными нормами (правилами), без которых он не существует. Правила представляют интерес, когда используются многократно при построении других актов деятельностей. Поэтому Г. П. Щедровицкий предложил выделить обобщающие нормы (категории), которые будут

представлять некий норматив (шаблон) – категориальную схему акта деятельности (рис. 2а).

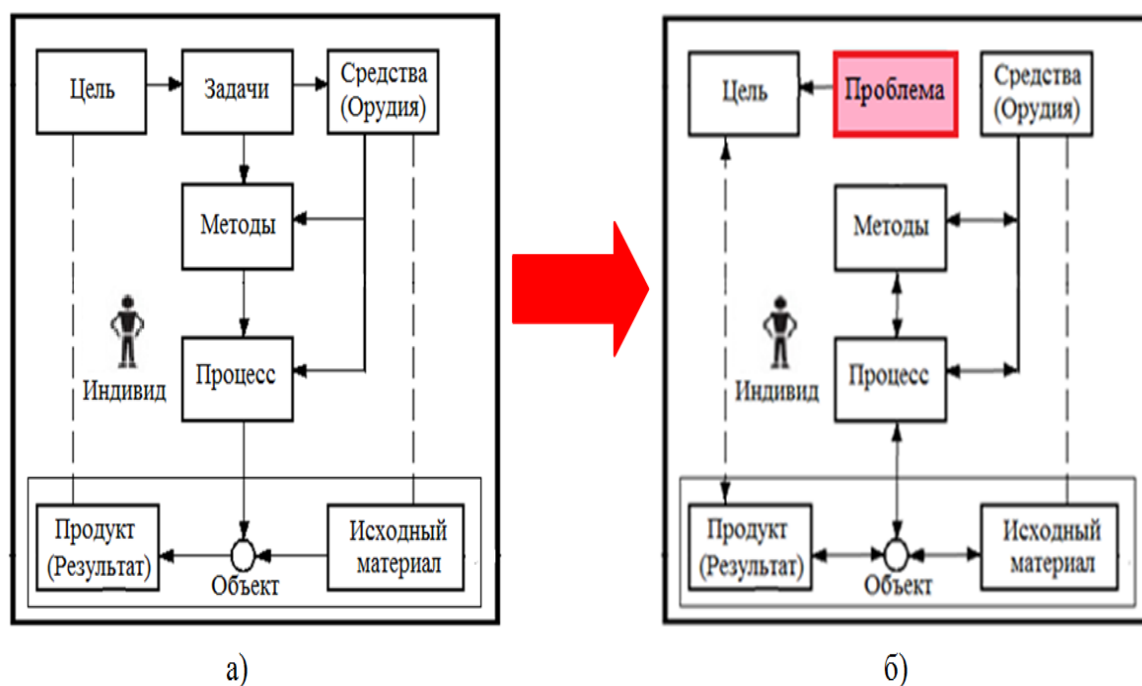


Рис.2. Категориальные схемы акта деятельности

Недостатком предложенной схемы является тот факт, что когда управленец сталкивается с проблемной ситуацией, он не имеет определенных знаний о методе и средствах ее решения, о последовательности действий для построения собственной деятельности, не может уверенно опираться на опыт прошлых или подобных решений. Тогда схема модифицируется (рис. 1б), в ней обрываются связи между задачами проблемами и методами, а также между проблемами и средствами.

Для разрешения проблемной ситуации предлагается:

- цель выразить в виде требований к продукту акта деятельности;
- нехватку знаний по элементам категориальной схемы можно восполнить из результатов (продукта) других категориальных схем актов деятельности.

Таким образом, создается поле знаний о проблемной ситуации (рис.3). Это позволяет утверждать, что решения в динамически сложных средах может быть найдены через выявление пересечений по актам деятельности. Однако определено, что поле знаний не учитывает роль ситуативности при разрешении проблемы, вследствие чего не может быть сформирована адекватная и полная база знаний допустимых управленческих решений.

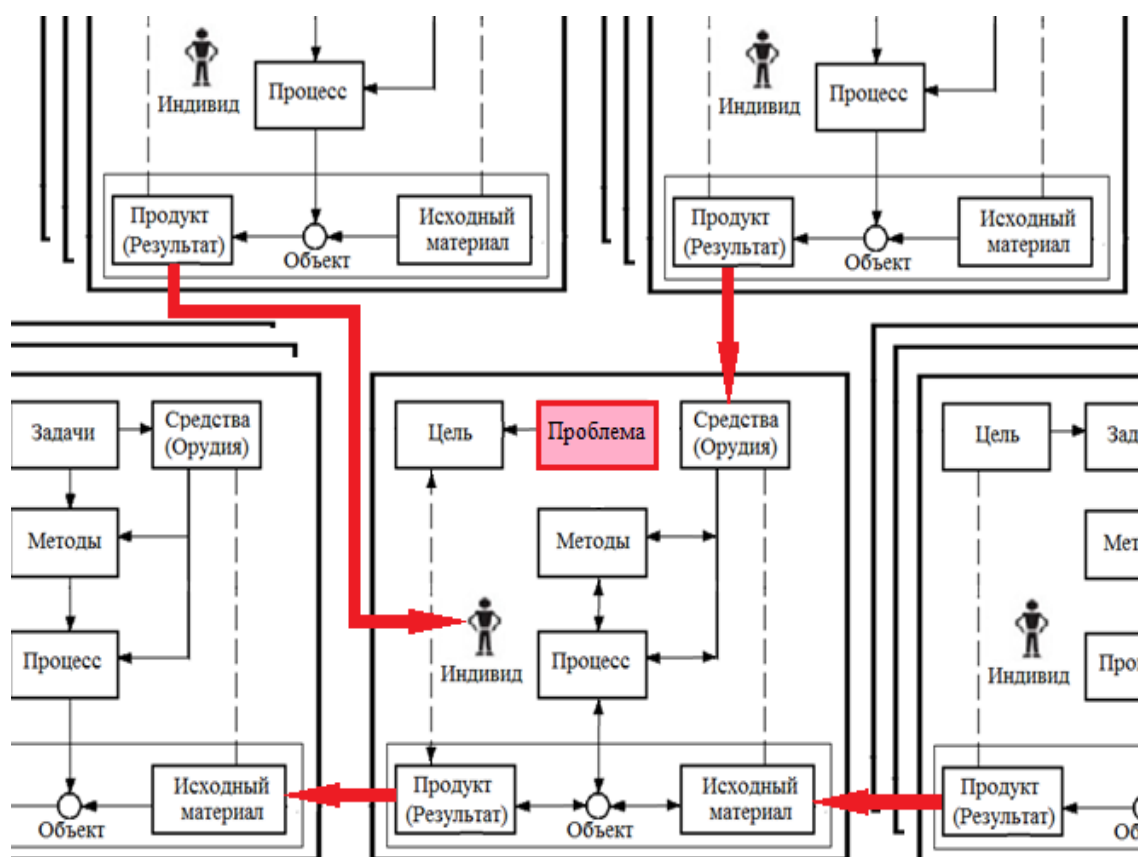


Рис.3. Поле знаний о проблемной ситуации

Следующим этапом исследования предлагается рассмотреть динамически сложную среду с позиции метода ситуационного анализа и проектирования модели ПрО произвольной природы (далее ситуационный анализ), разработанный Л.С. Болотовой [4].

3. Метод ситуационного анализа Л.С. Болотовой

С позиции ситуационного анализа действие обусловлено определенным единичным решением (decision – d). При этом единичное решение рассматривается как связанная структура следующих элементов: субъект действия, действие, объект действия и компоненты действия. Действие образует структуру из трех возможных типов связующих звеньев: СД – связь между субъектом действия и действием, ОД – связь между объектом действия и действием, КД – связь между компонентами действия и действием [4].

Для создания полноценной концептуальной структуры единичного решения (КСЕР) необходимо выделить два типа двунаправленных бинарных семантических отношений:

- взаимодействие – это вертикальные опосредованные отношения, которое выражаются через действие и связующие звенья;

– отношение – есть эмпирическое выявление горизонтальных зависимостей, которые осуществляют функции координации, пространственной или логической связанности и т.д.

Результатом таких семантических выражений может быть либо правда (1), либо ложь (0). Отношения в КСЕР – вторичны, а структурная связь ОС между элементами и их свойствами – первична. Таким образом, реализуется КСЕР, изображенная на рис. 4.

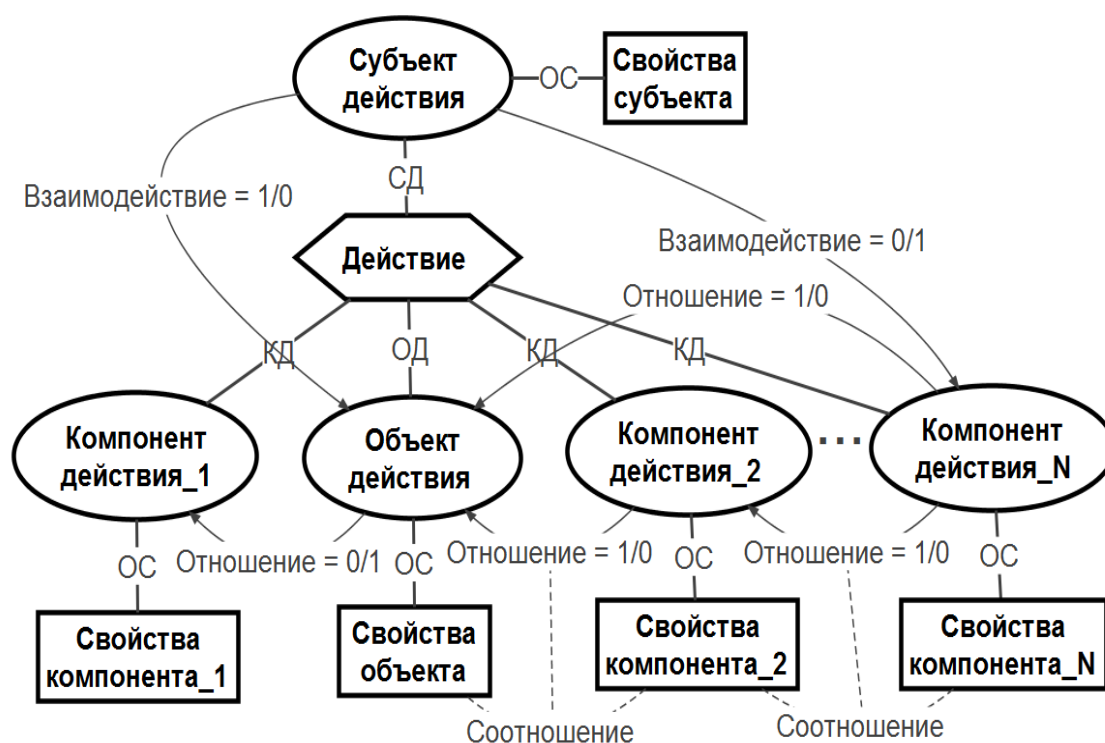


Рис. 4. Концептуальная структура единичного решения

При этом свойство может иметь строковые, логические или числовые значения. Соответственно между свойствами существуют соотношения, которые выражены математическими или логическими символами.

Построение концептуальной модели ПрО обусловлено множеством последовательностей единичных решений $\{d_1, d_2, \dots, d_N\}$, на основе которых реализуется база знаний для экспертного моделирования. Однако широкий диапазон деятельности в ПрО усложняет определение направления движения к цели (требований к результату) при описании совокупностью КСЕР.

В результате проведенных исследований выявлено следующее противоречие: с одной стороны деятельностный подход не учитывает ситуативный аспект, с другой ситуативный анализ не дает четкого понимания результата деятельности. Это позволяет утверждать, что

должны быть модифицированы теоретические представления о возможностях ситуационного анализа и деятельностного подхода.

4. Ситуационно-деятельностный подход

Для снятия выявленного противоречия предложено синтезировать аспекты деятельностного подхода и ситуационного анализа в единое представление – концептуальную структуру акта деятельности (КСАД). Для разработки такой структуры предлагается [5]:

- концептуальную модель ПрО представить актом деятельности состоящий из совокупности последовательных действий направленных на трансформацию свойств определенного объекта. Тогда элементом КСАД будет является единичное решение;
- для создания КСАД его элементы (КСЕР) должны быть описаны терминами деятельностного анализа.

Для реализации данных требований необходимо спроецировать вершины схемы акта деятельности (рис. 2а) на вершины КСЕР (рис. 4). При этом необходимо учитывать, что структура единичного решения существует в двух состояниях: до действия (задача), после действия (метод как решение задачи). Исходя, из рис. 5 можно утверждать, что проекция вершин категориальной схемы акта деятельности на вершины КСЕР является биективным отображением (взаимно-однозначным).



Рис.5. . Проекция вершин

Данная проекция позволяет естественным образом формировать КСАД (рис.6), которая будет представлять собой шаблон произвольной части деятельности и может использоваться для генерации баз знаний в виде продукционных правил [6].

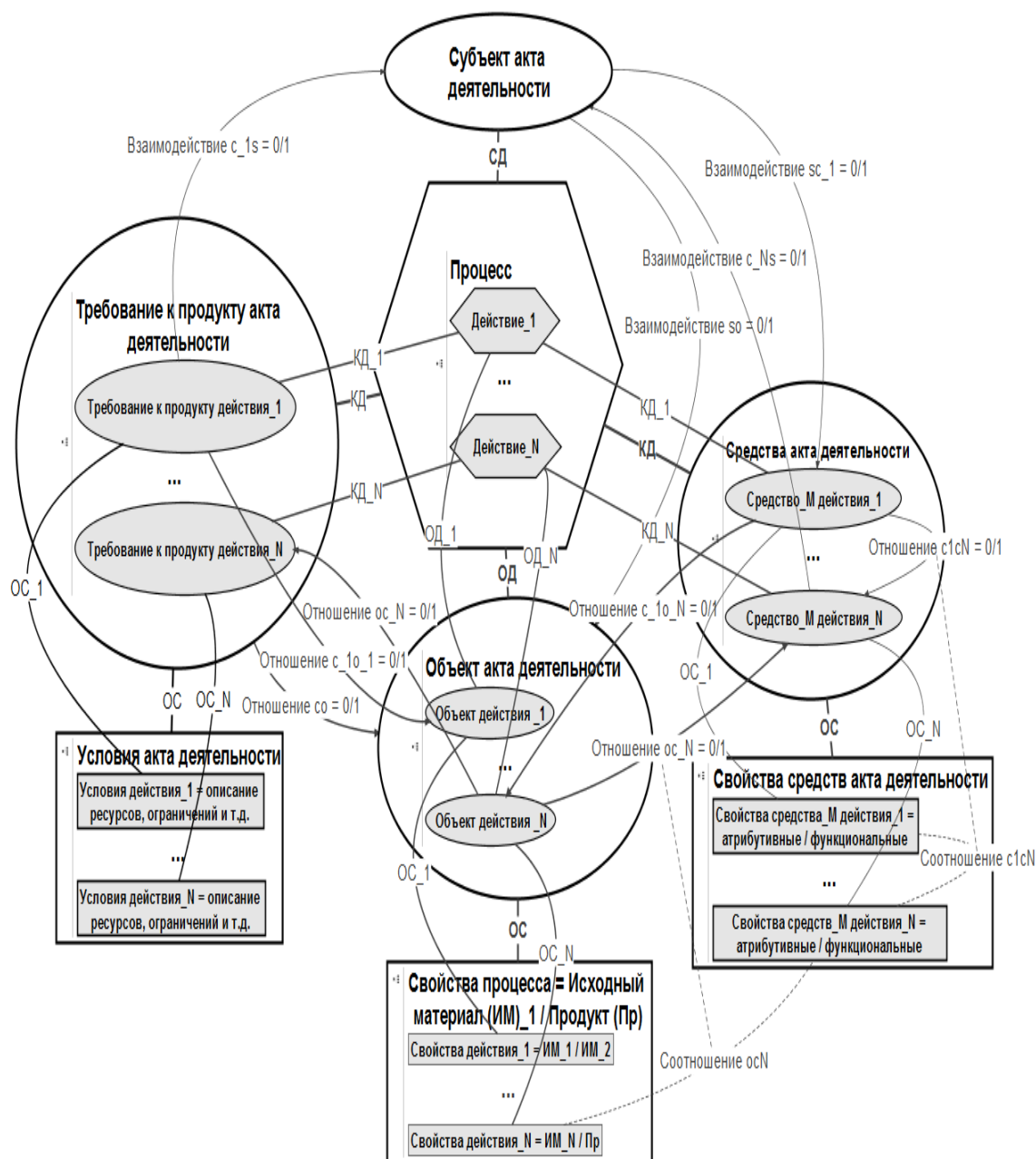


Рис. 6. Концептуальная структура акта деятельности

В КСАД между единичными решениями акта деятельности выполняются операции согласно полю знаний категориальных схем (рис. 3). Таким образом, формируется матрица решений, которая позиционируется как концептуальная модель принятия решений в динамически сложной среде (рис. 7).

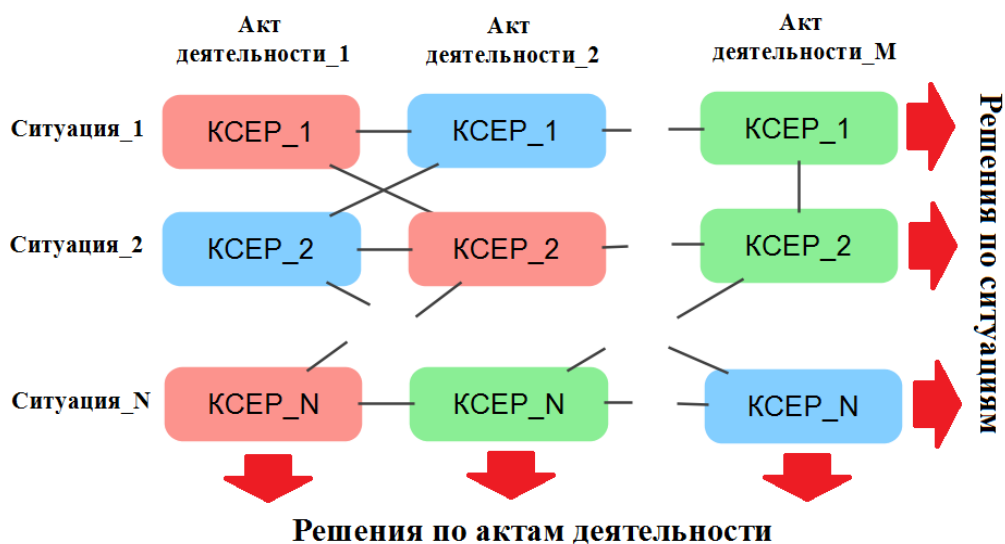


Рис. 7. Матрица решений

Матрица решений рассматривается как база знаний для проектирования экспертных систем, в которой может быть проведена проверка на полноту (решения по актам деятельности) и адекватность (решения по ситуациям).

Применение синтезированного представления является одним из видов имитации и тесно связано с проектированием экспертных систем, на этом основании можно предположить, что существуют соответствия концептуальных структур с другими моделями искусственного интеллекта. Для этого предлагается из КСАД выделить концептуальные планы, которые являются определенной частью концептуальной структуры акта деятельности и рассматривается как некий проект для разработки моделей основанных на знаниях. Предложено выделять динамические и статические представления КСАД, которые будут разрабатываться по антологии с диаграммами CASE-технологии [5].

Динамические представления определены двумя планами, относительно которых обоснован ряд утверждений:

- Функциональный план КСАД реализован по аналогии с методологией SADT (Structured Analysis and Design Technique – Метод структурного анализа и проектирования) и позволяет разрабатывать различные архитектурные стили гибридных систем, а также событийно-дискретные модели [7].

- Процессный план КСАД реализован по аналогии с диаграммой состояний модели-UML (Unified Modeling Language – Унифицированный язык моделирования) и позволяет разрабатывать диаграмму потоков и уровней для имитационных динамических моделей [8].

Статические представления также определены двумя планами, относительно которых обоснован ряд утверждений:

– Контекстный план КСАД реализован по аналогии диаграммой вариантов использования модели-UML и позволяет разрабатывать различные модели, основанные на идеях когнитивного подхода [7].

– План закономерностей КСАД служит своего рода интерпретатором графического представления в аналитическое представление в виде простейших математических уравнений [7].

Предложенная графическая нотация концептуальных планов слишком трудоемка в исполнении. Поэтому реализован комплекс программ (программно-интеллектуальная надстройка) представления баз знаний для проектирования синергетических комбинаций моделей ИИ.

5. Программно-интеллектуальная надстройка

Построение концептуальных планов – нетривиальная задача, требующая понимания методики ситуационно-деятельностного подхода и особенностей ПрО. Поэтому процесс реализации концептуальных планов делится на три этапа.

Первый этап – визуализация концептуальных структур. Для реализации данного этапа используется проект с открытым исходным кодом «VUE» (Visual Understanding Environment – Визуальное понимание окружающей среды), который по своему функциональному назначению позиционируется как инструментальное средство для поддержки построения концептуальных карт. Изображенные в «VUE» концептуальные структуры могут быть представлены как XML-документ в виде дерева узлов – это позволяет получить доступ к любому элементу концептуальной структуры.

Второй этап – проверка концептуальной модели на полноту и адекватность. Используется программное обеспечение «Решатель» (Solver), которое поддерживает следующий набор функций: создание, хранение, модификацию, тестирование целостности, слияние баз продукционного типа; организацию и оптимизацию прямого логического вывода; генерацию отчетов с текстовыми описаниями баз знаний и результатами анализа проблемных ситуаций. Таким образом, создается база знаний для экспертного моделирования, которое неразрывно связано с исследованием успешных стратегий в разных областях человеческой деятельности.

Третий этап – выделение концептуальных планов. Используется программное обеспечение «Интерпретатор» (Interpreter), в котором реализовано четыре модуля соответствующих базам знаний концептуальных планов. Базы знаний представлены в виде отчетов HTML файла, где предлагаются рекомендации по построению планов соответствующих конструкторов.

Таким образом, создается интеллектуальная надстройка «VUESI» (VUE + Solver + Interpreter) для проектирования, как синергетических комбинаций моделей ИИ, так и интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР), которая представлена витриной знаний (рис.8).

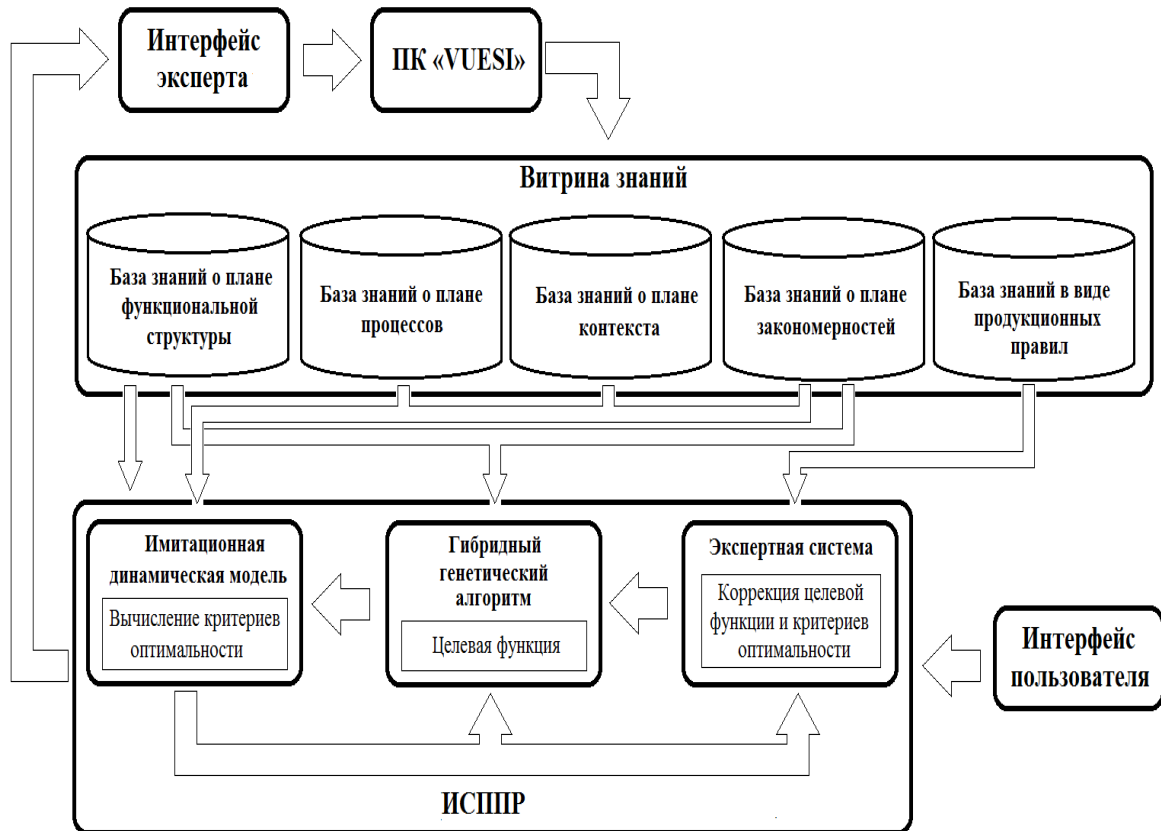


Рис. 8. Пример структуры витрины знаний

Использование интеллектуальной надстройки «VUESI» обусловлено следующими этапами:

- Лицо, принимающее решение определяет направление трансформации динамически сложной среды. Выделяет деятельности, которые способствуют или препятствуют движению трансформации, тем самым определяют границы ПрО. В каждой деятельности определяются акты. Данные умозаключения реализуются в «VUE» как иерархическая структура со всевозможными вложениями уровней деятельности.

- После определения актов деятельности разрабатываются их концептуальные структуры и разбиваются на множество КСЕР, которое определено как целостная концептуальная модель принятия решений.

- В программе «Решатель» целостная концептуальная модель принятия решений проверяется на полноту и адекватность. При необходимости генерируется база знаний в виде продукционных правил.

– После подтверждения полноты и адекватности модели в программном обеспечении «Интерпретатор» генерируются отчёты о баз знаний концептуальных планов. Синтез баз знаний соответствует определённым моделям ИИ [8].

Заключение

Предложенный ситуационно-деятельностный подход основан на идеи построения базы знаний, выступающей в качестве ядерной части процессов принятия решений, на основе концепта деятельности. Именно эта идея позволила по-новому строить и саму систему знаний, и поле знаний о проблемных ситуациях, вспоможение разрешению которых составляет суть проектирования синергетических комбинаций. Подход позволяет:

- создать целостную и адекватную модель принятия решений в динамически сложной среде;
- рассматривать всевозможные проблемные ситуации;
- направить трансформацию ПрО согласно целям принимаемых решений;
- работать с более глубокими уровнями структурно-функциональной сложности.

Список литературы

1. Черняк, Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк – М.: Экономика, 1975. – 191 с.
2. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник: Учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой и А. А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 848 с.
3. Щедровицкий, Г.П. Избранные труды / Г.П. Щедровицкий. – М.: Шк.Культ.Полит. 1995. – 800 с.
4. Болотова, Л.С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях / Л.С. Болотова. – М.: Финансы и статистика – 2012. – 663 с.
5. Сорокин А.Б. Разработка интеллектуальных систем поддержки принятия решений для произвольной предметной области / А.Б. Сорокин // «Вопросы современной науки»: коллект. науч. монография; [под ред. Н.Р. Красовской]. – М.: Изд. Интернаука, 2015. Т. 2. – с.115 – 137.
6. Сорокин, А. Б. Полиаспектный анализ при проектировании систем поддержки принятия решений // Научно-техническая информация. Серия 2. Информационные процессы и системы. – 2014. – №8. – С. 10 – 23.
7. Сорокин, А.Б. Новые представления о проектировании интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Материалы VI Международная конференция «ИТ-Стандарт 2015», – Москва, 2015. – С. 382 – 401.
8. Sorokin, A.B., Bolotova, L.S. The evolutionary model as the projection methodology situationally - activity analysis and its realization on the example of the model against the development of infectious diseases // Collection of scientific papers «Interactive systems: Problems of Human-Computer Interaction» – Ulyanovsk, 2015. pp. 120–130.

ЯВЛЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МЕХАНИЗМА ЗАКОНА САМОРАЗВИТИЯ

Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье изложены вопросы развития универсальных теоретических основ кибернетики, геометрический метод отображения механизмов саморазвития. Даны примеры из биологии, социологии, техники. Рекомендовано ввести курс обучения по Кибернетике как части Теории философии для студентов всех институтов страны.

Ключевые слова: геометрический метод, кибернетика, саморазвитие, философия.

N. I. Bondarenko,

Ph D

SCENE OF THE MECHANISM OF THE LAW SELF-DEVELOPMENT

St. Petersburg, Russia

Abstrakt. This article expounds the explanation of the fundamental theoretical basis of the cybernetic, the geometry metod of the explanation of a mechanism of self-development, expounds for examples of biology, sociology, technician. It was recommended to read the lectures for cybernetic as a theoretical part of the Phylosophy for the students all the Institutes of our country.

Keywords: geometric method, cybernetics, self-development, philosophy.

Законы саморазвития отражают *высший* уровень в формировании ***универсальных теоретических основ*** Кибернетики (УТОК), отражающий ***фундаментальные*** основы развития **науки управления** во всех направлениях познавательно-практической деятельности Человека.

По мнению Н.Винера: «Задача Кибернетики – выработать язык и технические приемы, позволяющие на деле добиться решения прикладных проблем управления, а также найти надлежащий набор идей и технических приемов, для того чтобы подвести их под определенные понятия [1.-С.284].

Наши отечественные физиологи на десятки лет упредили открытие «**обратной связи**» **Н.Винера** и при исследовании физиологических сис-

тем выявили **ценное свойство живых организмов приспособления** к изменяющимся условиям их существования и еще более значимым свойством **адаптации**, обусловившим их **устойчивость, надежность, инвариантность** внешним возмущающим воздействиям и **передачу** этого ценного приобретенного качества **по наследству**, поэтому биологические физио-логические системы **могут быть образцами** или **прототипами сложных технических, социально - экономических систем** на основе выявления **изоморфизма** (подобия) между ними (Табл.).

Установлено ранее неизвестное **явление** возникновения тройственной причинно-следственной связи в форме « 8 », отражающее единство **способа и механизма ЗАКОНА саморазвития** в природе, технике, обществе **с источником саморазвития**, заключающееся в том, что известное **явление адаптации живых организмов** к изменяющимся условиям внешней среды, вырабатывающее **механизм саморазвития**, отражающий принцип **непрерывности и дискретности**, **ИЗОМОРФНО** переносится как прототип к системам **техническим, социально – экономическим и иным**.

Для единообразного пространственно - образного их восприятия и отражения необходимо применить 3-х мерную Декартову систему координат в качестве универсального унифицированного типологического средства — **каркаса** для **отображения** 3-х математических моделей **упрощенно**: в виде линейной монотонной прямо или обратно пропорциональной зависимости, отражающей **причинно-следственную** связь в математической модели, отнесенной к соответствующей плоскости в 3-х мерной системе координат, с обозначением 2-х значений величин: **min** и **max** значений параметров в механизме достижения цели или в механизме саморазвития на его основе.

В 3-х плоскостях Декартовой системы координат отображаются **соответственно**: в **горизонтальной и вертикальной** - математические модели **системы управления и технологического процесса объекта** исследования, отражающие целостное единство **способа** достижения цели **путем** разработки **программы**, обеспеченной всеми необходимыми ресурсами для ее выполнения, и **механизмов** достижения цели, отражающих **общий принцип** целенаправленного функционирования систем **путем упреждающего** выявления **необходимой существенной двойственной причинно-следственной** связи: **фактор – отклик - критерий качества достижения цели за счет единообразного их** отображения ее в Декартовой системе координат), а в **боковой** плоскости - математическая модель, отражающая **недостающую** дополнительную связь **направленного действия конкретного Закона (природы, техники, общества),** изменяющего состояние **технологического** процесса объекта исследо-

вания (в биологических системах оказывающего влияние непосредственно на живой организм) *в требуемом направлении, замыкающую* механизм достижения цели так, что в *тройственной причинно-следственной* связи, формирующей **ЗАКОН саморазвития**, отражающий принцип непрерывности и дискретности, **МЕХАНИЗМ саморазвития возникает при условии, что: в 3-х типовых схемах** должна присутствовать **только одна** математическая модель с *обратно* пропорциональной зависимостью, а в 4-ой схеме - **ВСЕ три** математические модели должны иметь *обратно* пропорциональные *причинно-следственные* связи.

Исполнение указанных условий отражает критерий императива действия ЗАКОНА саморазвития в природе, технике, обществе в каждом цикле управления, детерминированного действием выявленного **конкретного Закона (природы, техники, общества)**, оказывающего воздействие на технологический процесс, происходящий в объекте исследования.

ВЫВОД о том, что объектом управления в системе управления является НЕ Человек, а программа его познавательно-практической деятельности, есть самый главный результат, имеющий первостепенное значение, равнозначное главному открытию, реализация которого обеспечит (по В.И.Вернадскому) «**ВЕЛИКИЙ ПЕРЕВОРОТ**, с которым НЕ могут сравниться ВСЕ, раньше пережитые». Но путь *признания объективной роли Человека в Системе управления* **чрезвычайно** труден.

Для *отслеживания* выполнения работ по ПРОГРАММЕ должна быть создана *специальная* система управления для *реализации* программ с *положительной* обратной связью, в которой *информация* о ее выполнении должна поступать *нарастающим итогом* по *абсолютному* значению. Пределом действия *обратной* связи является *полное* выполнение работ по программе и освоение *выделенных* для нее ресурсов.

С превращением **ЧЕЛОВЕЧЕСТВА** в крупнейшую **Геологическую силу** связан *новый этап эволюционного развития* БИОСФЕРЫ – превращения ее в НООСФЕРУ. Переход БИОСФЕРЫ в *качественно новое* состояние – НООСФЕРУ – сферу РАЗУМА является *естественно – историческим процессом*, темпы и характер которого предопределены *диалектическим развитием* сфер *материального* и *духовного* производства».

Основополагающим наукам: Философии, Политэкономии, Кибернетике и Тектологии *предопределена главенствующая* роль, на базе которых будет формироваться Концепция нового видения общественного развития, разумного и бескризисного, целенаправленного **созидательной** деятельностью Человека и Программой ее реализации.

Таким образом, по итогам настоящего исследования установлено ранее неизвестное явление возникновения замкнутой *тройственной причинно-следственной* связи в форме « 8 », отражающее **целостное единство** способа и механизма ЗАКОНА саморазвития в природе, технике, обществе с *источником* саморазвития, заключающееся в том, что *известное явление адаптации живых организмов* к изменяющимся условиям внешней среды, *вырабатывающее* механизм саморазвития, *отражающий* принцип *непрерывности и дискретности*, ИЗОМОРФНО ПЕРЕНЕСЕНО как *прототип* к системам *техническим, социально-экономическим* и иным.

Цикличность Закона саморазвития обусловлена *периодичностью* проявления и длительностью действия *конкретного* Закона (природы, техники, общества).

Цикличность *проявления конкретного* Закона (природы, техники, общества) воспринимается МЕХАНИЗМОМ саморазвития, обеспечивающим реализацию не только принципа непрерывности, но и детерминизма ЗАКОНА само-развития в природе, технике, обществе при выполнении условий формирования *тройственной причинно-следственной связи в форме «8»*, так

что *четыре типовые* схемы, характеризующие *тройственную причинно-следственную* связь в форме « 8 », исчерпывают собою ВСЕ многообразие ЗАКОНОВ и МЕХАНИЗМОВ саморазвития в природе, технике, обществе, а также Законов и механизмов достижения цели *указанным* способом.

Тройственная причинно-следственная связь в механизмах саморазвития отражает **взаимосвязь и взаимодействие 3-х законов:**

-- Закона достижения цели, формируемого во всех сферах познавательно - практической деятельности Человека на основе Тектологии — Всеобщей организационной науки (принципов теории организации) □

-- *конкретного* Закона (природы, техники, общества), своим проявлением оказывающего *воздействие* на изменение *внутреннего* состояния *техно-логического процесса в объекте* исследования, из которых выявление *фундаментальных* Законов природы *предписано* Философии, формирование *наиболее общих* Законов общественного развития *предписано* Политэкономии, а также *иных* законов, относящихся к Естествознанию, Технознанию, Обществознанию и Человекознанию □

. Закона саморазвития в природе, технике, обществе, отражающего результат их взаимодействия, *итогом* которого является *снижение* степени *неупорядоченности* или *повышение* меры *организованности*

объекта, избранного объектом исследования для обеспечения саморазвития.

Выработан *общий* принцип формирования Закона достижения цели, базирующийся на *общем* принципе *упреждающего* выявления *необходимой* существенной **двойственной** причинно - следственной связи между тремя параметрами: **фактор – отклик – критерий** качества достижения цели (конечного результата, продукта, услуги), характеризующими состояние технологического процесса, и единообразного отражения ее в 3-х мерной Декартовой системе координат (*при условии* обеспечения единства адекватности **способа** (путем *упреждающей* разработки программы работ, обеспеченной необходимыми ресурсами) и **механизма** достижения цели за счет *перераспределения* ресурсов для *оптимального* их использования при выполнении программы).

Выработан *общий* принцип формирования ЗАКОНА саморазвития в природе, технике, обществе, в основу которого заложен Закон достижения цели как единства адекватности **способа** (путем *упреждающей* разработки программы работ, обеспеченной необходимыми ресурсами) и **механизма** достижения цели за счет *перераспределения* ресурсов для *оптимального* их использования при выполнении программы, дополненный *недостающей* связью *направленного* действия от *источника* саморазвития, замыкающей *необходимую двойственную* причинно-следственную связь в механизме достижения цели в форме « 8 » так, что замкнутая **тройственная** связь, исходящая от **конкретного** Закона (природы, техники, общества) и формирующая механизм саморазвития, отражает принцип *непрерывности* и Закон саморазвития.

В.АКУЛОВ, признавая *высокую значимость осмысления* и *осознания* средств и способов *практической* реализации даже отдельных звеньев системы управления, отмечает, что за формирование *одной только идеи принятия решений*, приемлемой для всех систем управления, неоднократно учреждалась Нобелевская премия [1].

Список литературы:

1. Бондаренко Н.И. Долгосрочный прогноз и управление многоуровневыми социально-экономическими системами.- В.Новгород: НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2000.- 534с.
2. Бондаренко Н.И. К вопросу фундаментального направления развития кибернетики: механизмов саморазвития.- Настоящий сборник научных трудов, 2015.- С.95-124.

Буянов Борис Яковлевич¹,
Канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, начальник отдела
Верба Вера Алексеевна²,
Канд. техн. наук, доцент, профессор

МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ МОДЕЛИ СЛОЖНЫХ СОЦИО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Россия, Москва, ¹Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, b.buyanov@vniias.ru, ²Институт международной торговли и права, verba@list.ru

Аннотация. Среди ключевых проблем исследования сложных систем следует назвать трудности с математическим и имитационным моделированием для достижения понимания эмерджентного поведения сложной системы. Наши исследования ориентированы на понимание того, как взаимодействия компонентов определяют модели поведения сложной системы в целом, предлагается подход, целью которого является моделирование эмерджентного поведения сложной системы. Подход на основе семиотических агентов позволяет проводить имитационное моделирование слабых эмерджентностей в мультиагентных системах.

Ключевые слова: сложные системы, социотехнические системы, моделирование, имитационное моделирование, мультиагентные модели, эмерджентность.

Boris Ya. Buyanov¹,
PhD in Technical Sciences, Senior Scientific Researcher, Head of the
Department,
Vera A. Verba²,
PhD in Technical Sciences, associate professor, professor

MULTI-AGENT MODELS OF COMPLEX SOCIO-TECHNICAL SYSTEMS

Russia, Moscow, ¹Joint Stock Company «Research, Development and Planning Institute for Railway Information Technology, Automation and Telecommunication», b.buyanov@vniias.ru, ²Institute of International Trade and Law, verba@list.ru

Abstract. Among the key problems of the study of complex systems should include the difficulties with the mathematical and simulation to achieve understanding of the emergent behavior of complex system. Our research focused on the understanding of how the components interaction determine the

behavior of the complex system as a whole, it is proposed that the approach, the purpose of which is simulation of the emergent behavior of the complex system. The approach on the basis of the semiotic agents allows the simulation of the weak emergencies in multi-agent systems.

Keywords: complex systems, socio-technical systems, modeling, simulation, multi-agent model, emergence .

Окружающий мир становится все ближе к определению “система сложных социотехнических систем” (ССТС): большое число групп людей связаны информационными каналами и взаимодействуют с компьютерными системами, которые в свою очередь взаимодействуют с многочисленными физическими системами с различными целями: обеспечение работоспособности, оптимального управления и т.п. Как правило, ССТС включает информационно-управляющие системы (ИУС) такие как служба спасения, полиция, армия и утилитарные инфраструктуры, такие, как энергосети, газопроводов, водопровод, телефон и интернет. В ССТС уровень утилитарных физических систем контролируется компьютерной информационной сетью, которая в свою очередь взаимодействует с, как правило, иерархически организованной системой семиотических агентов.

Потенциальные воздействия на экономику и экологию находятся на начальном этапе нашего понимания. Огромная сложность и огромное количество информации, вовлеченное в функционирование этих систем, делает именно имитационное моделирование крайне необходимым, еще и потому, что существующие известные формальные методы для моделирования сложных систем не являются достаточными для отражения их полных свойств и характеристик. В частности, модели, построенные на строгих формализмах, таких как дискретные системы, не могут охватить имманентной свободы присущей людям, взаимодействующим с такими системами; а модели на базе формальной логики, такие как большинство подходов искусственного интеллекта (ИИ), являются слишком конкретными, не позволяющими воспроизводить возникновение эмерджентных явлений, которыми характеризуются такие сложные системы.

Мы предлагаем подход к агентному моделированию, который находится между подходами, используемыми в сложных системах и системах искусственной жизни (ИЖ) и подходами, используемыми в системах искусственного интеллекта (ИИ). Такой подход обеспечивает надежную возможность для моделирования взаимодействия человек-машина на коллективном уровне. Мы определяем этот подход как семиотическое агентное моделирование (САМ), поскольку он расширяет существующее в теории сложных систем понятие агента механизмами создания, связи и интерпретация знаков и символов самим агентом, между агентами, между агентами и их окружением.

Таким образом, семиотические агенты - это принимающие решения сущности, встраиваемые в искусственные среды для обмена и интерпре-

тации семиотических маркеров, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к разработке агентов, в том числе для искусственных сред с "виртуальной физикой" достаточно богатой для поддержки элементов самоорганизации; семиотических агентов для реализации обобщенных отношений управления ситуационными связями и управления распределенными знаниями в сообществе таких агентов.

Семиотические агенты, должны удовлетворять нескольким основным требованиям. Внутренние компоненты семиотического агента включают серии представлений, в частности, представления о текущем состоянии и прошлых состояниях ("убеждения" агента), и целевое состояние (его "желания"). Это отчасти мотивация для использования термина "семиотический", поскольку мы обращаем внимание на ряд принципов из общей теории представлений.

Таким образом мы приходим к следующей обобщенной схеме СА (см. рис. 1)..

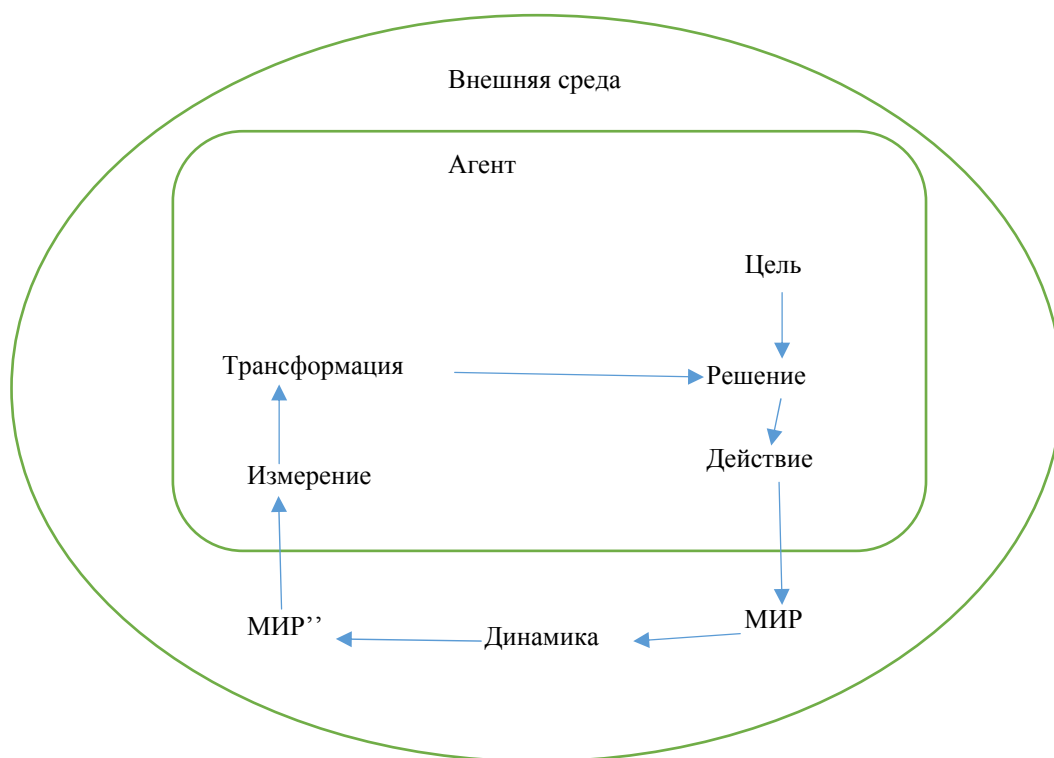


Рис. 1 Обобщенная схема СА.

Измерение. Лишь некоторые аспекты окружающей среды доступны агенту, это потенциальная область знаний агента. Способность изменять текущее состояние. Поскольку одной из целей моделирования социальных систем является изучение процессов принятия решений, Агенты должны включать средства для описания их собственных предпочтений и убеждений относительно их воспринимаемого мира (их среды обитания)

Асинхронное поведение. В нашей модели, агенты выполняют действия не одновременно с постоянным временным интервалом, как конечные автоматы или двоичные сети. Скорее, их действия должны следовать дискретно событийным последовательностям согласованных расписаний взаимодействий. Дискретно событийный подход позволяет производить передачу информации между поколениями, а в общем плане, обеспечивать сосуществование агентов с различным “экологическим опытом”.

Эти требования к проектированию СА определяют их как системы принятия решений, встроенные в искусственные среде и наделенные способностью действий в связи с изменением окружающей среды. Таким образом, область возможных решений, принимаемых агентами, должна рассматриваться в соответствии с областью их возможных действий. В результате этого СА может быть определен в терминах обобщенной теории управления как система, автономность которой определяется строгой причинно-следственной связью с окружающей средой. С помощью этих связей агент принимает решения, с тем чтобы сделать его измерения (представления о текущих и прошлых решениях и состояниях) так "точно" как можно ближе к его целям с тем, чтобы снизить обобщенную "функцию ошибки" вырабатываемую в соответствии со своим собственным пониманием желательного состояния. Таким образом, как показано на рис. 2, СА может быть определен как обобщенное отношение отрицательной обратной связи.

Кроме того, динамическая асинхронность СА обеспечивает определенную степень свободы от статически определенных реакций, тем самым предоставляя им в ограниченной форме возможность обсуждения или выбора, автономность действий необходима для эмерджентных агентных моделей коллективного социального поведения. Асинхронность позволяет более реалистично воспроизводить социальное взаимодействие агентов, где решения принимаются путем интеграции решений других членов сообщества и допускается сосуществование агентов с различным опытом.

Список литературы

1. Y.M. Teo, B.L. Luong and C. Szabo, Formalization of Emergence in Multi-agent Systems, Proceedings of ACM SIGSIM Conference on Principles of Advanced Discrete Simulation, pp 231-240, Montreal, Canada, May 19-22, 2013
2. C. Szabo and Y.M. Teo, An Objective-based Approach for Semantic Validation of Emergence in Component-based Simulation Models, Proceedings of 26th ACM/IEEE/SCS Workshop on Principles of Advanced and Distributed Simulation, pp 155-162, ZhangJiaJie, China, Jul 15-19, 2012.
3. Zeigler, BP: Object-Oriented Simulation with Hierarchical Modular Models, Academic Press, San Diego, 1990.

Кукор Борис Леонидович,
Д-р экон. наук, профессор,
Кузьмин Николай Алексеевич,
аспирант

**КОММУНИКАТИВНЫЙ МЕХАНИЗМ СИСТЕМЫ
СТРАТЕГИЧЕСКОГО АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКОЙ**

Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский Государственный Экономический Университет, pos_fines@mail.ru

Аннотация: В статье представлены результаты исследования процесса совершенствования методов стратегического управления экономикой региона (лингво-комбинаторный аспект моделирования). Раскрывается проблема необходимости поддержки действий региональных властей, в качестве решения которой определена разработка методологической базы стратегического планирования (в т. ч. для промышленной политики), как метода реализации стратегий. Выявлен наиболее целесообразный подход к разработке и реализации региональной промышленной политики, направленный на балансировку интересов развития территориальных образований и интересов промышленного сектора, который находит свое отражение в семантической модели социально-экономической системы, решение проблем в которой осуществляется посредством логического следования на основе имплицативных высказываний. Коммуникативный механизм (элемент механизма адаптивного управления) основывается на речемыслительной деятельности лиц принимающих решения в управляющей структуре социально-экономических систем. Для адаптации социально-экономической системы необходимыми условиями выступают интеллект, ответственность и компетентность лиц принимающих решение в управляющей системе. Адаптация обеспечивает снижение рисков возникновения угроз проблемных ситуаций. Процесс разработки механизма адаптивного стратегического управления предполагает наличие локальных сценариев для стратегического анализа функционирования социально-экономической системы. Механизм адаптивного управления осуществляет распознавание угроз возникновения проблемных ситуаций трех классов, их предотвращение или разрешение и предполагает исследование последовательных взаимодействий бинарных пар элементарных объектов и построение структурных векторов граничных условий процесса формирования эталонного режима, которые в своей совокупности представляют фрагменты графа дискретно-

ситуационной сети. Разработаны методы углубления системного анализа управляющей структуры.

Ключевые слова: локальные ассоциативные цепи, механизм адаптивного стратегического управления, социально-экономическая система, проблемная ситуация, лингво - комбинаторное моделирование, альтернативные сетевые графики, семантическая модель, дискретно ситуационная сеть.

Boris L. Cukor,
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Nikolai A. Kuzmin,
postgraduate student

COMMUNICATIVE MECHANISM OF SYSTEM IN STRATEGIC ADAPTIVE MANAGEMENT OF REGIONAL ECONOMY

Saint Petersburg , Saint Petersburg State University of Economics,
noc_finec@mail.ru

Abstract. The article deals with the results of the research process to improve the strategic management of the region's economy methods (linguistic and combinatorial aspects of simulation). Much attention is given to the problem of necessity to support the actions of regional authorities, as the decision which determined the development of methodological basis of strategic planning as a method of implementing strategies. Adaptive control mechanism performs detection of threats of problematic situations, their prevention and resolution, and involves the study of interactions of successive binary pairs of elementary objects and the construction of vectors structural boundary conditions of the formation of the standard mode, which together represent a graph of discrete fragments of situational network. Methods have been developed to deepen the analysis of the system control structure.

Keywords: local associative chain, adaptive mechanism of strategic management, socio economic system, problematic situation, linguistic - combinatorial modeling, alternative network diagrams, semantic model, discrete situational network.

Одной из стратегических проблем является определение роли, места и пропорций развития различных секторов экономики и повышения качества управления ими в рыночных условиях.

Так, в объекте (экономике региона) формируются локальные ассоциативные цепи (ЛАЦ) экономики региона. Обобщенно — оценочная ситуация, учитывающая рыночные аспекты функционирования промышленного сектора экономики региона.

Перспективы развития экономики РФ неразрывно связаны с развитием промышленного сектора. Регулирование развития промышленности осуществляется на федеральном, региональном, муниципальном и корпоративном уровнях.

До настоящего времени остается недостаточно раскрытой (практически и теоретически) проблема регулирования на этих ярусах субъектов РФ. Если в процессе приватизации корпоративный сектор получил достаточные полномочия и в той или иной мере принял на себя ответственность за развитие промышленности, то на федеральном, региональном и муниципальном ведутся дискуссии о степени ответственности, полномочиях и методологии управления развитием промышленного сектора экономики.

Одним из центральных вопросов промышленной политики является вопрос: на каком уровне следует её формировать и проводить. С одной стороны, существуют серьезные основания полагать, что промышленная политика должна формироваться на федеральном уровне по типу национальных проектов. С другой стороны федеральный центр активно стимулирует субъекты Федерации разрабатывать и реализовывать собственную региональную промышленную политику. Целесообразным надо считать подход направленный на балансировку интересов развития территориальных образований и интересов промышленного сектора. Данный подход наиболее продуктивен при определении баланса интересов на среднесрочную и долгосрочную перспективу. В поддержку действий региональных властей необходимо выработать методологическую базу стратегического планирования и для промышленной политики, как метода реализации стратегий. В этом смысле представляет интерес концептуальные основы подхода к решению проблем в следующей последовательности:

- формирование понятий стратегии и промышленной политики на федеральном и субфедеральном уровне;
- построение многомерной модели для измерения и оценки уровней согласованности социальных, экономических, экологических и институциональных интересов при формировании и реализации стратегии устойчивого развития РФ и региональной промышленной политики.

Концептуальные подходы наиболее логично объединяются в стратегии и политику социально — экономического развития, а их реализация требует выработки механизма адаптивного стратегического управления (МАУ), которое невозможно без подготовленных и должным образом обученных кадров, обладающих фоновыми знаниями и способных свободно владеть смысловыми категориями в управленческой деятельности, формировать коммуникативный механизм УС.

Коммуникативный механизм (элемент механизма адаптивного управления) основан на речемыслительной деятельности лиц принимающих решения (ЛПР) в управляющей структуре социально-экономических систем (СЭС).

Потребность в управленческой коммуникации является причиной разбиения абстрактных и конкретных мыслительных единиц на коммуникативные классы понятий, классы проблемных ситуаций, функций управления, методов управления, речевых актов, т.е. по значениям смысла каждого класса.

Мыслительные единицы имеют самостоятельное существование и независимые от языка функции. Роль смысла в коннективном (соединительном) механизме коммуникации позволила в ходе развития теории управления СЭС выявить необходимость междисциплинарного синтеза логики, математики, лингвистики, психологии, психолингвистики и непосредственно теории управления.

Все эти дисциплины изучают ипостаси комплексного феномена, который можно обозначить как смысл. Бытовое значение этого слова представляет свойство событий подсоединяться друг к другу с большим или меньшим на то основанием, образуя соединительный механизм. Любые ожидаемые стратегические события, действия имеют смысл в контексте того, что уже произошло и происходит сейчас. Поскольку события в СЭС охватывают три сферы:

1. психика руководителя;
2. профессиональный язык и знания;
3. коммуникации,

то имеются три соприкасающихся события и, соответственно, три вида смысла, т.е. коммуникация понимается, как синтез трех элементов формирования смысла в сообщении:

1. генерация смысла первым коммуникантом (предсобытие);
2. передача смысла второму коммуниканту (эндособытие);
3. прием смысла вторым коммуникантом (постсобытие).

Смысл представляет собой мыслительную единицу, абстракцию из области не коммуникативной, а непосредственно мыслительной, профессиональной управленческой деятельности: целеполагание, учет, прогноз, анализ, инструктирование, мотивация и т. д. К лингвистике смысловые единицы имеют косвенное отношение, поскольку управленческая деятельность обслуживается ими средствами языка в актах коммуникаций.

Математика и лингвистика относятся к семиотическим системам, описываемым с помощью логического аппарата, включающего формулы, уравнения, правила вычисления и исчисления и др. Отсчет и условия - отправные моменты математики и лингвистики. В математике аксиома - есть точка отсчета и как условие развития математической логики. В

языке системообразующей единицей служит сема, как некая точка отсчета, определяющая вектор возможных семантических трансформаций. Когнитивный подход к упорядочению человеческого опыта руководителя в области управления экономикой позволяет развить порождающую модель дальнейшего приращения в математике и лингвистике. Вместо уравнения, в лингвистике надо (на наш взгляд) использовать имплицативные высказывания, т.е. условные высказывания обычного языка, основной функцией которых является обоснование одного, ссылкой на нечто другое (если цены падают, то спрос растет), релевантной в субъекте и материально строгой - в объекте.

На основе имплицативных высказываний осуществляется логическое следование, как процедуры решения проблем в предметной области. Предметная область в экономике может быть представлена в виде семантической модели (СМ).

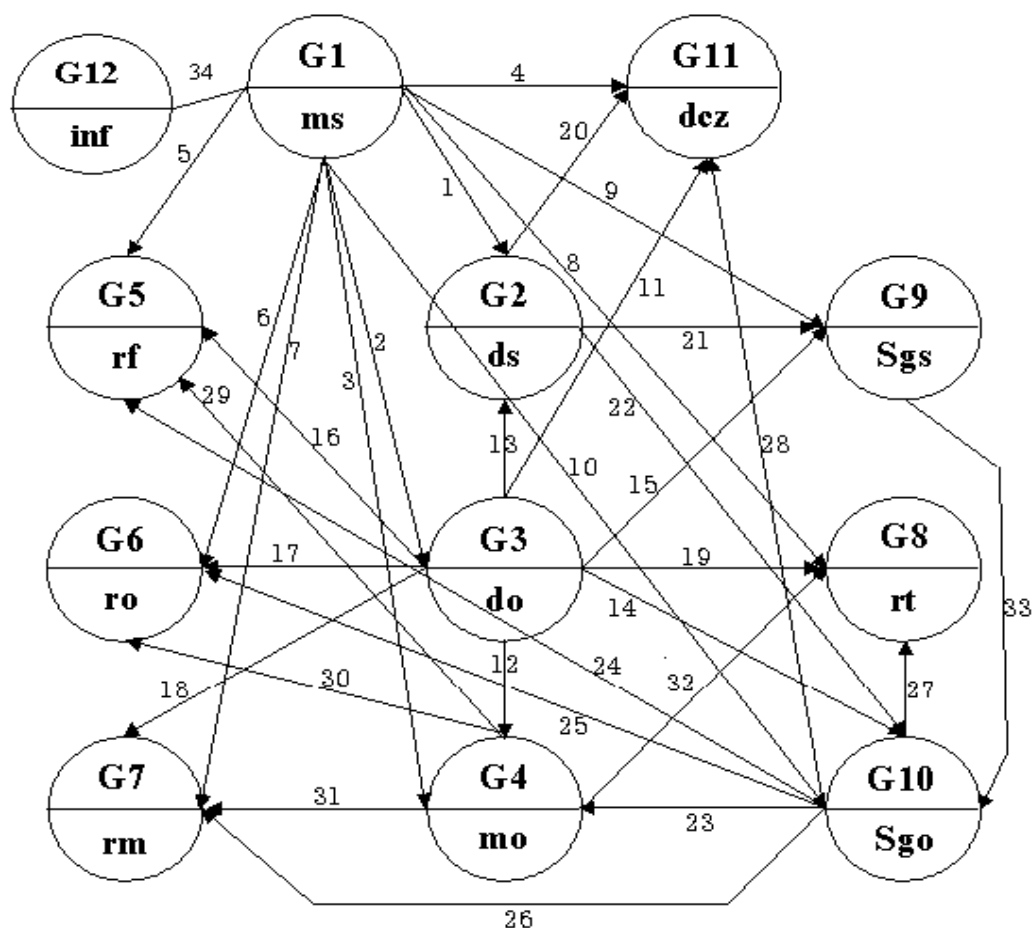


Рис.1 - Семантическая модель социально-экономической системы (СЭС)

Базовые понятия семантической модели

Графы семантической модели

G1 - Субъект

G2 - Дерево целей субъекта

G3 - Дерево целей объекта

G4 - Объект

G5 - РК «Финансы»

G6 - РК «Основные фонды»

Узлы графов (понятия)

ЛПР – лицо, принимающее решение

ЦРЦ - цель решающего центра

ЦЭО - цель элементарного объекта

ЭО - элементарный объект

ФРФ - фазы ресурсного комплекса «Финансы»

ФРОФ - фазы ресурсного комплекса «Основные фонды»

G7 - РК «Материалы»

ФРМ - фазы ресурсного комплекса «Материалы»

G8 - РК «Труд» альтернативный

ФРТ - фазы ресурсного комплекса «Труд»

G9-Сетевой график субъекта альтернативный (АСГ)

ДРЦ - действие решающего центра

G10-Сетевой график объекта (АСГ) субъекта

ДЭО - действие элементарного объекта

G11-дискретно-ситуационная сеть (ДСС)

ПС – Проблемная ситуация

G12 – РК «Знания»

Таблица 1

Базовые отношения семантической модели

№	Связи графов	Отношения понятий	№	Связи графов	Отношения понятий	№	Связи графов	Отношения понятий
1	G1->G2	ЛПР-ЦЛПР	12	G3->G4	ЦЭО-ЭО	23	G10->G4	ДЭО-ЭО
2	G1->G3	ЛПР-ЦЭО	13	G3->G2	ЦЭО-ЦЛПР	24	G10->G5	ДЭО-ФРФ
3	G1->G4	ЛПР-ЭО	14	G3->G10	ЦЭО-ДЭО	25	G10->G6	ДЭО-ФРОФ
4	G1->G11	ЛПР-С	15	G3->G9	ЦЭО-ДЛПР	26	G10->G7	ДЭО-ФРМ
5	G1->G5	ЛПР-ФРФ	16	G3->G5	ЦЭО-ФРФ	27	G10->G8	ДЭО-ФРТ
6	G1->G6	ЛПР-ФРОФ	17	G3->G7	ЦЭО-ФРОФ	28	G10->G11	ДЭО-С
7	G1->G7	ЛПР-ФРМ	18	G3->G7	ЦЭО-ФРМ	29	G4->G5	ЭО-ФРФ
8	G1->G8	ЛПР-ФРТ	19	G3->G8	ЦЭО-ФРТ	30	G4->G6	ЭО-ФРОФ
9	G1->G9	ЛПР-ДЛПР	20	G2->G11	ЦЛПР-С	31	G4->G7	ЭО-ФРМ
10	G1->G10	ЛПР-ДЭО	21	G2->G9	ЦЛПР-ДЛПР	32	G4->G8	ЭО-ФРТ
34	G1->G12	ЛПР-ЛПРИ	22	G2->G10	ЦЛПР-ДЭО	33	G9->G10	ДЛПР-ДЭО
11	G4->G11	ЦЭО-С						

Каждая проблемная ситуация в G11 может быть интерпретирована с помощью параметров предметной области (в том числе и модели управляющей структуры)

Существуют характеристики потока в субъекте и объекте СЭС (как материального, так и информационного):

Результат (процесса) — следствие, характеристика процесса, содержимое входящих из объекта потоков, т. е. изменений внутри объекта.

Потребность в результатах процесса — оценка характеристики содержимого выходящего из ЭО потока результатов, необходимого для достижения цели, выраженного в терминах результата деятельности.

Потребность в ресурсах данного вида — оценка характеристики содержимого потока ресурсов данного вида, необходимого для достижения результата.

Ограничение, налагаемые на поток:

Возможность — способность объекта к созданию выходящих потоков.

Исследование каждого управляемого процесса может быть охарактеризовано показателем эффективной интенсивности. Ресурсные потоки, образующие промышленный капитал (по всей цепочке создания стоимости) должны приносить соответствующую отдачу. Эта отдача характеризуется способностью ресурсов быть востребованными в технологических цепочках СЭС, участвовать в достижении «возможности» при возникновении «потребности». Стоимостная характеристика этой способности ресурсов (активов) согласуется с традиционным представлением о ликвидности предприятия и выражается в структурной ликвидности баланса.

Предполагаемая оценка качества управления СЭС учитывает реальные условия. Переход от произвольного неэффективного установления необходимой интенсивности к адаптивному режиму существенно повышает эффективность управления.

Оценка эффективности процесса управления должна строиться с применением показателей, характеризующих способы достижения нормативной эффективности управляемых процессов, оценивающих системно результаты процесса. Необходимая интенсивность не должна достигаться любой ценой.

Для адаптации СЭС необходимы интеллект, ответственность и компетентность ЛПР УС, без адаптации возникают риски возникновения угроз ПС. Разработка МАУ предполагает наличие локальных сценариев для стратегического анализа функционирования СЭС, выделенных целей и интересов ЛПР.

В анализ локальных проблемных ситуаций выбора (α -ситуаций) включаются N возможных инновационных мероприятий технологиче-

ского характера, которые образуют множество УВ в локальных сценариях действий с использованием альтернативных сетевых графиков (АСГ).

При разработке локальных сценариев действий, направленных на минимизацию рисков угроз возникновения ПС, в α -ситуациях осуществляется ранжирование УВ для снижения риска возникновения ПС.

Разработка механизма адаптивного управления, осуществляющего распознавание угроз возникновения ПС трех классов, их предотвращения или разрешения, предполагает исследование последовательных взаимодействий бинарных пар ЭО и построение структурных векторов граничных условий процесса формирования эталонного режима.

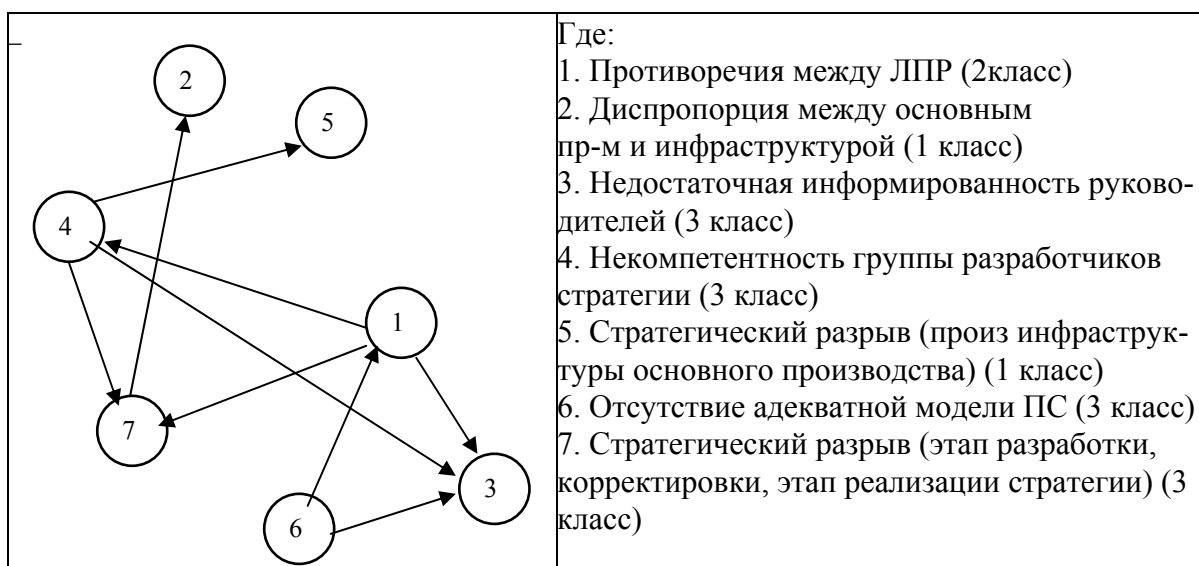


Рис.2 Пример фрагмента графа ДСС

Таблица 2

Фрагмент ДСС

	Имена проблемных ситуаций	1	2	3	4	5	6	7	Сумма причин
1	Противоречия между ЛПР (2класс)			4	3		3		10
2	Диспропорция между основным производством и инфраструктурой (1 класс)					1		1	2
3	Недостаточная информированность руководителей (3класс)	1			2		1	2	6
4	Некомпетентность группы разработчиков стратегии (3 класс)	2	2	3		4		3	14
5	Стратегический разрыв (произ инфраструктуры основного производства) (1 класс)	1	2						3
6	Отсутствие адекватной модели ПС (3 класс)	1		3					4
7	Стратегический разрыв (этап разработки, корректировки, этап реализации стратегии) (3 класс)	1	3						4
	Сумма следствий	6	7	10	5	5	4	6	43

По горизонтали представлены оценки показателей, характеризующие количественные зависимости между причинами и следствиями. На-

пример, оценка 4 (строка 1, колонка 3) означает, что ПС имеет сильное влияние на коммуникации. Оценка 1 (строка 3, колонка 1) означает, что недостаточная информированность в данном случае не критична. Для того, чтобы ответить на вопрос, какую проблему решать в первую очередь, необходимо оценить важность проблемной ситуации, как критичное появление новой или усиление существующей проблемы.

В первую очередь надо решать проблемы 1, 4 (важность 14), затем 3,5,7, а проблему 2 в последнюю очередь.

Рассмотрение системы взаимодействия ЛПР лучше осуществлять непосредственно на проблемной области, преимущество которой в том, что она содержит основные стимулы.

Дальнейшее исследование межсубъектных отношений в УС мы связываем с развитием лингво - комбинаторного моделирования и операции поляризации, поскольку оно связано с определением адаптивного максимума системы.

Адаптационный максимум - механизм адаптации, открытый в 1963 году профессором Игнатьевым М. Б. в результате исследования нелинейных систем с неопределенностью.

Феномен адаптационного максимума заключается в том, что системе из n переменных с поведением, заданным точностью до m пересекающихся многообразий, число произвольных коэффициентов в структуре эквивалентных уравнений будет определяться числом сочетаний из n по $m+1$, при $n > m$. Откуда следует, что для многомерных систем $n > 6$ при наложении ограничений, число произвольных коэффициентов будет сначала возрастать, достигнет максимума и затем начнет убывать.

Лишь для небольшого числа реальных систем имеются математические модели. Прежде всего, системы описываются с помощью естественного языка.

Ввиду высокой трудоемкости обработки информации после соответствующей формализации высказываний, предлагается способ перехода от описания на естественном языке к математическим уравнениям. Например, пусть имеется фраза:

$$\text{WORD1} + \text{WORD2} + \text{WORD3}. \quad (1.1)$$

В этой фразе мы обозначаем слова и только подразумеваем смысл слов. Смысл в сложившейся структуре естественного языка не обозначается. Предлагается ввести понятие смысла в следующей форме:

$$(\text{WORD1}) * (\text{SENSE1}) + (\text{WORD2}) * (\text{SENSE2}) + \\ (\text{WORD3}) * (\text{SENSE3}) = 0. \quad (1.2)$$

Будем обозначать слова как A_i (от англ. appearance), а смыслы – как E_i (от англ. essence). Тогда уравнение (2.2) может быть представлено как

$$A1 \cdot E1 + A2 \cdot E2 + A3 \cdot E3 = 0. \quad (1.3)$$

Уравнения (1.2) и (1.3) являются моделями фразы (1.1). Образование этих уравнений, приравнивание их к нулю - есть операция поляризации.

Таким образом, следует отметить, что лингво - комбинаторное моделирование функционирования СЭС существенно пополняет арсенал средств моделирования и позволяет сформировать новую картину мира, которая опирается на все достижения современной науки и прежде всего информатики, математики, лингвистики, психологии, психолингвистики.

В качестве основных направлений дальнейшего исследования следует выделить следующие направления:

1. Необходима адекватная форма системного представления предметной области, в которой есть возможность описывать и представлять существующее и будущее состояния через качественные и количественные метрики, что вытекает из теоретического анализа основ адаптивного стратегического управления.

2. Необходимо обеспечить перманентное коммуникативное подсоединение смыслов друг к другу на речевой основе, т.е. сформулировать механизм адаптивного управления (МАУ). Формирование системы стратегического эффективного, устойчивого, целостного управления развитием СЭС — есть редукция комплексности возможных коммуникаций ЛПР в управляющей структуре СЭС с помощью смысла.

Список литературы

1. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика.-М.: Наука.-Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.-288 с.
2. Шабес В. Я. Событие и текст: Моногр. – М.: Высш. Шк., 1989. – (Б-ка филолога) – 175 с.: ил.;
3. Кибернетическая картина мира: учеб. пособие / М. Б.Игнатъев.-СПб.: ГУАП,2010.-416 с.: ил. ISBN 978-5-8088-0581-1
4. Концептуализация механизма координации процессов государственного, муниципального и корпоративного стратегического управления / Б. Л. Кукор, Н. А. Кузьмин // Когнитивные исследования языка. Вып. XXII: Язык и сознание в междисциплинарной парадигме исследований: Материалы Международного конгресса по когнитивной лингвистике. 30 сентября – 2 октября 2015 г.\ отв. ред. вып. Т. А. Клепикова. – М.: Ин-т языкознания РАН; Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г. Р. Державина; СПб.: ООО «Книжный дом», 2015. – С. 893. ISBN 978-5-94777-385-9

УДК 330.46

Исмиханов Заур Намединович,

канд. экон. наук, доцент

МЕТОДИКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ СТРУКТУРИЗАЦИИ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТОВ О РАЗВИТИИ СИСТЕМЫ ВО ВНЕШНЕЙ СРЕДЕ

г. Махачкала, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный
университет»,
zaur_7979@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема формализации знаний управленческой группы о развитии системы регионального образования. Определены SWOT-факторы, характеризующие развитие системы регионального образования. Проведена оценка значимости выявленных SWOT-факторов путем групповой экспертной оценки их взаимовлияний. Предложены стратегические альтернативы развития системы регионального образования.

Ключевые слова: структуризация знаний, слабоструктурированная ситуация, SWOT-схема, когнитивная карта, стратегическая альтернатива, окно возможностей.

Zaur N. Ismihanov,

Ph.D. in Economics, associate professor

METHOD CONCEPTUAL STRUCTURIZATION KNOWLEDGE OF EXPERTS ON DEVELOPMENT SYSTEM IN THE EXTERNAL EN- VIRONMENT

Makhachkala, Dagestan state university,
zaur_7979@mail.ru

Abstract. In the article the problem of formalization of knowledge management group on the development of the regional education system. SWOT-determined factors that characterize the development of the regional education system. The evaluation of the significance of the identified SWOT-factors by a group of expert evaluation of their mutual influences. Strategic alternatives proposed regional education development.

Keywords: structuring knowledge, semistructured situation, SWOT-diagram, cognitive map, a strategic alternative, the window of opportunity.

Введение

В исследовании проблем сложных систем (в том числе и системы регионального образования) в последнее время широко применяются когнитивные карты и модели. На их основе осуществляется структуризация знаний эксперта, анализируется развитие слабоструктурированных ситуаций (СС) на основе имитационных моделей, а также подготавливаются управленческие решения (в виде стратегий) [1-4,7-8].

Одной из широко используемых концептуальных схем, применяемых для структуризации знаний о развитии сложного объекта (ситуации), является SWOT-схема (Strengths – сильные стороны, Weaknesses – недостатки, слабые стороны, Opportunities – возможности, Threats – угрозы)[5-6,8].

Применение этой схемы на этапе структуризации позволяет извлекать знания экспертов о развитии ситуации (например, системы регионального образования) во взаимодействии с внешней средой и представить ее в виде первичных факторов (SWOT-факторов), ранжированных и сгруппированных по важности. Оцененные факторы формируют основу формальной когнитивной карты развития ситуации, и служат основой для формирования сценариев моделирования развития ситуации на основе когнитивной карты.

Исследование посвящено методической поддержке когнитивной структуризации знаний о развитии системы регионального образования во внешней среде.

Для решения задачи структуризации знаний о развитии ситуации в системе регионального образования с использованием SWOT-схемы необходимо пройти ряд этапов:

1. Определение SWOT-факторов, характеризующих развитие системы регионального образования во внешней среде.
2. Оценка значимости выявленных SWOT-факторов путем групповой экспертной оценки их взаимовлияний, нацеленная на расстановку приоритетов.
3. Интегральная оценка каждой группы SWOT-факторов по выделенным критериям и деление их на классы важности.
4. Формирование стратегических альтернатив развития системы регионального образования, как основы сценариев моделирования.

1. SWOT-структуризация знаний о развитии системы регионального образования и оценка значимости

В ходе когнитивной структуризации знаний о развитии системы регионального образования с применением SWOT-структуризации определены четыре группы SWOT-факторов:

$S(s_1, \dots, s_n)$, где n - количество выявленных сильных сторон;

$W(w_1, \dots, m)$, где m - количество выявленных слабых сторон;

$O(o_1, \dots, o_l)$, где l - количество выявленных возможностей;

$T(t_1, \dots, t_k)$, где k - количество выявленных угроз.

Значимость SWOT-факторов устанавливается на основе анализа оценок сочетаний: возможности (O) - сильные (S) и слабые (W) стороны, угрозы (T) – сильные и слабые стороны и угрозы - возможности.

С помощью таких оценок формируется пять таблиц (рис. 1).

Формулировка SWOT-факторов		Сильные стороны системы (S)				
		1.S ₁	2.S ₂	3.S ₃	Значимость T _i (S _i)	Ранг R(T _S)
Угрозы (T)	1.T ₁	$t_1^{S_1}$	...	...		
	2. T ₂					
	Значимость S(T)	Σ				
	Ранг R(S _t)					

Рис .1. Пример таблицы оценок взаимосвязи сегмента «угрозы-сильные стороны»

Оценка взаимовлияний таких факторов проводится в ходе экспертного опроса или переработки аналитической информации.

Будут получены группы оценок значимости SWOT-факторов:

1.Оценка значимости взаимовлияний «возможности O - сильные стороны S», которая позволяет определить, насколько сильные стороны системы используют возможности, предоставляемые внешней средой.

2.Оценка значимости взаимовлияний «Возможности O - слабые стороны W» которая позволяет определить, насколько возможности позволяют нивелировать слабые стороны системы.

3.Оценка значимости взаимовлияний «Угрозы T - сильные стороны S», позволяющая определить, насколько сильные стороны s_i системы позволяют парировать угрозы t_j со стороны внешней среды и насколько угрозы могут ослабить сильные стороны.

4.Оценка значимости взаимовлияний «Угрозы T - слабые стороны W» позволяет определить, насколько угрозы со стороны внешней среды негативно отражаются на слабых сторонах системы.

5. Оценка значимости взаимовлияний «Угрозы T - возможности O» позволяет определить, насколько угрозы представляют опасность для возможностей и насколько возможности позволяют парировать угрозы.

3.Интегральная оценка каждой группы SWOT-факторов

Далее производится интегральная оценка каждой группы SWOT-факторов по критериям и деление их на классы важности.

Например, сформирована таблица значимости угроз. Значимость угроз оценивается по 5 параметрам (табл.1):

- значимость негативного влияния угрозы на возможности $R(T_o)$, определяющаяся путем упорядочения угроз по сумме лингвистических оценок негативного влияния угрозы на возможности;
- парирование угроз с помощью возможностей $R(T^o)$ - определяется оценка упорядочением угроз по сумме лингвистических оценок использования возможностей для парирования угроз;
- значимость негативного влияния на сильные стороны $R(T_s)$, упорядочением угроз негативного влияния на сильные стороны;
- возможность использования сильных сторон для парирования угрозы - оценка, которая определяется исходя из упорядочения угроз по сумме лингвистических оценок возможности использования сильных сторон для парирования угроз;
- значимость негативного влияния на слабые стороны, которая определяется исходя из упорядочения угроз по сумме лингвистических оценок негативного влияния на слабые стороны.

Таблица 1. Значимость угроз

Значимость Угрозы	Значимость негативного влияния на возможности	Снятие угроз с помощью возможностей	Значимость негативного влияния на сильные стороны	Возможность использования сильных сторон при парировании угроз	Значимость негативного влияния на слабые стороны
1. Повыш. конкуренции на межд.р. образ. услуг и отток кадров в заруб вузы	4	10	8	5	4
2. Повыш. конкуренции на глоб. р.иннов услуг	4	9	11	4	6
3. Разрыв в уровне и качестве мир. и рос. образ. и инновационных техн-й	3	4	2	2	3
4. Снижение спроса на р. образовательных услуг в связи с ростом конкуренции	2	8	3	8	2
5. Недостаточная инфраструктурная обесп-ть иннов-ной деятельности	1	2	1	1	1
6. Несовершенство механизмов частного инвестирования	5	4	6	7	7
7. Низкий уровень исполь-ния инноваций в экон-ке	6	2	5	4	4
8. Отсутствие механизмов привлечения высококвалифицированных кадров в инновационный сектор экономики	7	5	7	4	5
9. Сокращение госфинан-я образов-х учреждений	1	1	2	2	1

Анализируя данную таблицу, для группы факторов, характеризующих угрозы, выделяются следующие классы:

1. наиболее значимые угрозы с низкой возможностью их парирования,
2. средне значимые угрозы с высокой возможностью их парирования,
3. незначимые угрозы.

возможностей, сильных и слабых сторон.

Соответственно, в дальнейший анализ включаются факторы, попавшие в 1-й класс. Подобная процедура проводится для возможностей, сильных и слабых сторон.

Можно сформировать стратегические альтернативы (табл.2), направленные на парирование угроз 1 и 2 группы значимости.

Таблица 2. Область неопределенности внешней среды

Стратегическая альтернатива	Группа	Описание
Выработка мер по снижению оттока кадров в крупные города и другие регионы России	1	Отток кадров из системы регионального образования в условиях модернизации российского образования может привести к дефициту квалифицированных специалистов в этой сфере и риску не выполнения задач, стоящих перед системой образования региона. Уменьшить негативное влияние этой угрозы можно за счет улучшения социального положения педагогических кадров и научных работников.
Выработка мер по улучшению инфраструктурной обеспеченности инновационной деятельности образовательных учреждений	2	В современных условиях развития образования инновационная деятельность закономерна и необходима. Необходимо решить проблемы отсутствия системности и целостности внедряемых инноваций, недостаточности научно-методического обеспечения инновационных процессов, нормативно-правового обеспечения инновационной деятельности, отсутствия мониторинга качества и эффективности внедрения инноваций.
Выработка мер по улучшению государственного финансирования образовательных учреждений	2	Снижение государственного финансирования образовательных учреждений системы регионального образования может привести к приостановке процессов модернизации общества в целом и перехода к инновационной экономике региона, основанной на качественном образовании.
Выработка мер по сокращению существующего разрыва в уровне и качестве мировых и российских образовательных и инновационных технологий	2	Одной из существенных угроз для системы регионального образования является существующий разрыв в уровне и качестве мировых и российских образовательных и инновационных технологий. Необходимо решить проблемы: нарушения преемственности между средним и высшим звеном системы образования, снижения качества образования в высшей школе, недостаточного финансирования образования, преподавательских кадров, взаимодействия вузов и работодателей.

Таким образом, в результате реализации последовательности процедур предлагаемого в работе подхода могут быть выявлены 4 группы факторов, характеризующих угрозы и возможности со стороны внешней среды, и сильные слабые стороны системы регионального образования.

Список литературы

1. Авдеева З.К. Эвристический метод концептуальной структуризации знаний при формализации слабоструктурированных ситуаций на основе когнитивных карт // Управление большими системами. Выпуск 31. – №3. – 2010 - С. 6-34.

2. Авдеева З.К. Методы формирования стратегий решения слабоструктурированных проблем на основе когнитивных моделей: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Воронеж, 2006. – 24 с.

3. Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Радченко С.Н. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход. – Ростов-на-Дону: изд. РГУ, 2006. – 332 с.

4. Горелова Г.В., Макарова Е.Л. Моделирование взаимосвязи проблем системы высшего образования и социально-экономической системы средствами когнитивного подхода // Управление большими системами. Выпуск 31. – №1. – 2010 - С. 431-452.

5. Герасименко О.Н. Оценка маркетинговой привлекательности территории: Автореф. дис. канд. экон. наук. – Санкт-Петербург, 2009. – 22 с.

6. Жертовская Е.В. Разработка комплексной методики выбора и принятия управленческих решений в области развития туристского комплекса в социально-экономической системе: Автореф. дис. канд. экон. наук. – Ростов-на-Дону, 2007. – 28 с.

7. Исмиханов З.Н. Моделирование социально-экономического развития региона на основе когнитивного подхода // Бизнес-информатика. 2015. - № 2 (32). - С. 59-68.

8. Коврига С.В. Методические и аналитические основы когнитивного подхода к SWOT-анализу // Проблемы управления. – 2005. – №5. – С. 58-63.

УДК 330.1

Рыбачук Максим Александрович
Младший научный сотрудник

ОЦЕНКА ПРОПОРЦИЙ СИСТЕМНОЙ СТРУКТУРЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА

Москва, ЦЭМИ РАН
m.ribachuk@gmail.com

Аннотация. В работе представлена методика оценки системной сбалансированности предприятия, построенная на основе положений новой теории экономических систем. Приведен пример расчета индекса

системной сбалансированности. Рассмотрены возможности применения данного инструментария в стратегическом управлении и его использование для повышения внутренней сбалансированности и, как следствие, устойчивости отечественных предприятий.

Ключевые слова: индекс системной сбалансированности, новая теория экономических систем, предприятие, системные измерения, системная структура, системная экономическая теория, стратегическое управление тетрада, устойчивость предприятия.

Maksim A. Rybachuk
Junior researcher

EVALUATION OF SYSTEM STRUCTURE PROPORTIONS OF THE SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE

Moscow, CEMI RAS,
m.ribachuk@gmail.com

Abstract. This paper presents a technique of evaluation of the enterprise system balance. The technique is based on the new theory of economic systems. An example of system balance index calculations is given. Applicability of these instruments in strategic management and its application in order to increase the internal balance and, consequently, the stability of national enterprises has been considered.

Key words: system balance index, new theory of economic systems, enterprise, system measurement, system structure, system economic theory, strategic management, tetrad, enterprise stability.

Необходимость адаптации российских предприятий к изменяющимся условиям рынка, в частности, следование государственному курсу импортозамещения — снижения доли импортных товаров на российском рынке за счет замены их аналогичными товарами, произведенными внутри страны, необходимому для качественного подъема производства и стимулирования деловой активности, увеличивает значимость такой экономической категории как устойчивость предприятия.

Одним из ключевых показателей управленческого учета и критериев принятия управленческих решений является экономическая эффективность деятельности предприятия, которая тесно связана с показателем экономической устойчивости, имеющим не такое большое распространение. Однако для успешного функционирования и достижения поставленных целей в стратегической перспективе каждое предприятие должно быть не только эффективным, но и устойчивым. Если эффективность яв-

ляется оценкой результативности деятельности предприятия за определенный период, то устойчивость отражает возможности предприятия к поддержанию эффективности его деятельности в течение длительного времени.

Для повышения устойчивости экономики в целом требуется повышение устойчивости отечественных предприятий, которая может быть достигнута, например, через обеспечение их внутренней сбалансированности и такой важной ее части как системная сбалансированность.

В данной работе, выполненной за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-18-02294), излагается методика оценки системной сбалансированности предприятия, демонстрируются возможности ее применения в стратегическом управлении, и приводится пример расчета индекса системной сбалансированности, позволяющего оценить текущее состояние внутренней сбалансированности предприятия в системном аспекте.

Методологической основой работы выступает новая теория экономических систем, появившаяся вследствие развития идей системной парадигмы Я. Корнаи в экономических исследованиях [1, 2]. Согласно данной теории экономическая система рассматривается как целостная часть окружающего мира, выделяемая из него наблюдателем, и обладающая локализацией в двух измерениях — пространственном и временном. Соответственно, существует всего четыре типа экономических систем принципиально различных по своей природе и свойствам — объектные, средовые, процессные и проектные. Первый тип имеет определенные границы в пространстве, но не имеет определенной временной локализации. Второй тип не ограничен ни во времени, ни в пространстве. Третий тип обладает определенной длительностью существования, но его пространственные границы не определены. Четвертый тип ограничен и во времени и в пространстве.

Каждый тип экономических систем выполняет одну основную и одну дополнительную функцию, необходимые для обеспечения надежности функционирования экономики. Основной функцией для объектных систем является производство, для средовых систем — потребление, для процессных систем — распределение и для проектных систем — обмен. Дополнительной функцией для объектных систем является потребление, для средовых систем — распределение, для процессных систем — обмен, а для проектных систем — производство.

Системы четырех базовых типов связываются в кольцевидные структуры вида «*объект — среда — процесс — проект — объект*», названные в работе [3] тетрадами. Происходит это благодаря эффекту самоорганизации, возникающему по следующей причине: для полноценного существования каждой экономической системе требуется необходи-

мое количество ресурсов пространства и времени, которые он может получить посредством выполнения своих основных функций только через взаимодействие с системами других типов.

Предприятие как социально-экономическая система содержит в себе подсистемы всех четырех базовых типов и представляет собой тетраду. С другой стороны предприятие также может рассматриваться как холон [6] — целое, имеющее собственную структуру, но при этом представляющее собой часть какой-то большей системы. Другими словами, предприятие может состоять из набора тетрад более низкого уровня (например, отделов) и в то же самое время быть частью тетрады более высокого уровня (например, группы предприятий).

Тетрады, повторяя организационную структуру, объединяются от нижних уровней иерархии к верхним, и тем самым образуют системную структуру предприятия. Нижний уровень иерархии представлен, как правило, минимальными организационными единицами — отделами, а верхний уровень — предприятием в целом. Если объектом изучения выступает финансово-промышленная группа, то нижний уровень иерархии может быть изменен в зависимости от требуемой детализации и представлен департаментами предприятий или даже самими предприятиями.

При недостатке экономических систем и невыполнении ими своих функций или при избытке экономических систем и перевыполнении ими своих функций возникают различного рода системные дисбалансы, которые негативно сказываются на деятельности предприятия. Поэтому идеальным состоянием системной структуры считается состояние системной сбалансированности — равной выраженности системных составляющих (подсистем) тетрады верхнего уровня, что графически можно передать через образ квадрата, разделенного на четыре равные части.

Для стратегически устойчивого, гармоничного и эволюционного развития руководство предприятия на постоянной основе должно проводить мониторинг и регулировку пропорций системных составляющих предприятия, а при реализации стратегических решений учитывать соотношение внутрифирменных подсистем [4, 5]. Указанные действия целесообразно проводить на основе результатов, полученных посредством применения методики количественной оценки пропорций системной структуры.

Данная методика строится на предположении о том, что пропорции внутрифирменных подсистем могут быть оценены через подсчет количества сотрудников, выступающих представителями систем того или иного типа. Классификацию сотрудников проводится на основе документа «Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих» (утв. Постановлением Минтруда России от 21.08.1998 №37) (ред. от 12.02.2014). Таким образом, к представите-

лям объектных подсистем относятся должности руководителей (директор, главный бухгалтер, главный инженер и пр.); средовых подсистем — должности других служащих (дежурный, кассир, табельщик и пр.). В число представителей процессных подсистем включены должности специалистов (инженер, техник и пр.), но для представителей проектных систем в этом документе нет отдельной категории, поэтому должности сотрудников, отвечающих за развитие (начальник исследовательской лаборатории, специалист по кадрам и пр.), включены в другие группы.

Данные для расчетов приведены в штатном расписании предприятия. Однако для более точной оценки необходимо скорректировать полученные значения на коэффициент заработной платы, полученный как отношение заработной платы каждой должности к минимальной заработной плате (окладу) на предприятии.

Проведем оценку пропорций внутрифирменных подсистем для предприятия — научно-исследовательского института Московской области, организационно-правовая форма — непубличное акционерное общество (АО), отраслевая принадлежность — приборостроение. На первом шаге необходимо разделить организационную структуру предприятия на крупные блоки согласно зонам ответственности руководителей. На втором шаге — провести классификацию штатных единиц по принадлежности к четырем базовым типам экономических систем. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты оценки пропорций внутрифирменных подсистем для научно-исследовательского института Московской области

Руководитель	Системная составляющая, ед.			
	<i>Объектная</i>	<i>Средовая</i>	<i>Процессная</i>	<i>Проектная</i>
Руководство предприятия	35,80	4,34	3,65	0,00
Технический директор	11,50	11,12	21,56	61,31
Директор по научной работе	3,80	2,30	0,00	18,97
Директор по развитию	5,49	3,23	5,36	16,96
Директор по финансам	0,00	0,00	10,89	0,00
Начальник отдела качества	1,13	0,33	5,54	1,56
Директор по безопасности	0,00	11,95	2,33	0,00
Главный бухгалтер	2,88	3,55	0,00	0,00
Административный директор	0,00	37,82	0,00	2,63
Директор по производству	5,66	0,71	39,48	2,83
Итого:	66,27	75,35	88,81	104,27

Так оценка объектной системной составляющей составила 66,27 ед., средовой системной составляющей — 75,35 ед., процессной системной

составляющей — 88,81 ед. и проектной системной составляющей — 104,3 ед. Полученные значения отражают «вес» или размер той части тетрады, которую они занимают, но их не достаточно для ответа на вопрос о сбалансированности такой системной структуры. Для этого необходимо оценить интенсивность связей между подсистемами и рассчитать индекс системной сбалансированности.

По парам определим соотношения между типами внутрифирменных подсистем и внесем в табл. 2, обозначив их взаимодействие через четыре независимых параметра a , b , c , d (a — для пары «объект — среда»; b — для пары «среда — процесс», c — для пары «процесс — проект», — для пары «проект — объект»), характеризующих интенсивность связей между частями тетрады.

Таблица 2.

Соотношения между типами внутрифирменных подсистем по парам

Подсистема	Значение, ед.	Пара			
		a	b	c	d
		«объект — среда», %	«среда — процесс», %	«процесс — проект», %	«проект — объект», %
Объектная	66,27	47	х	х	39
Средовая	75,35	53	46	х	х
Процессная	88,81	Х	54	46	х
Проектная	104,27	Х	х	54	61

Для поиска указанных параметров полученные соотношения между внутрифирменными подсистемами научно-исследовательского института отметим на сторонах квадрата размером 100×100 , расположенного в Декартовой системе координат с вершинами $(0; 0)$, $(0; 100)$, $(100; 0)$ и $(100; 100)$. Соединим точки на противоположных сторонах квадрата и, используя уравнение прямой, проходящей через две точки, найдем уравнения двух пересекающихся прямых и определим координаты точки их пересечения. Таким образом, задача определения искомых параметров сводится к поиску длины изображенных на рис. 1 отрезков a , b , c , d , которую можно рассчитать с помощью формулы нахождения расстояния между двумя точками.

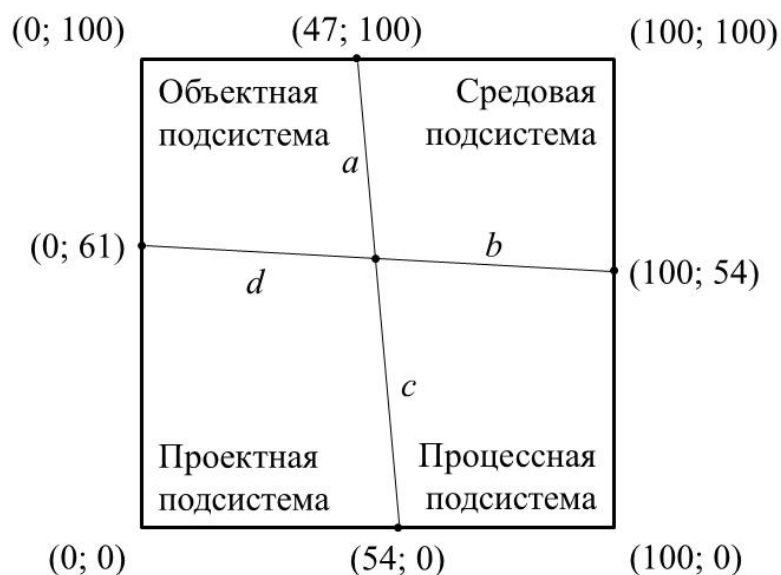


Рис. 1. Пропорции внутрифирменных подсистем в Декартовой системе координат

Проведя необходимые расчеты, получим следующие значения параметров, характеризующих интенсивность взаимодействия внутрифирменных подсистем, $a \approx 42$, $b \approx 53$, $c \approx 58$, $d \approx 47$. Затем, используя их, возможно рассчитать индекс системной сбалансированности по следующей формуле:

$$I = 1 / \left(\frac{a}{b} + \frac{b}{a} + \frac{a}{c} + \frac{c}{a} + \frac{a}{d} + \frac{d}{a} + \frac{b}{c} + \frac{c}{b} + \frac{b}{d} + \frac{d}{b} + \frac{c}{d} + \frac{d}{c} - 11 \right), 0 < I \leq 1.$$

Идеальное состояние тетрады (полная сбалансированность) достигается при равенстве параметров $a = b = c = d$ и значении $I = 1$. При этом чем ближе значение I к единице, тем более сбалансирована тетрада. Соответственно, чем ближе значение I к нулю, тем тетрада менее сбалансирована. Для научно-исследовательского института Московской области индекс системной сбалансированности близок к единице $I = 0,807$, что говорит о высокой степени сбалансированности системной структуры данной экономической системы. В таком случае руководству можно дать следующую рекомендацию — продолжать поддерживать сбалансированность системной структуры и при изменении стратегических целей, например, в сторону прикладных задач, контролировать пропорции системных составляющих на предприятии.

В сложившейся ситуации одной из ключевых задач экономической политики России должна стать задача обеспечения устойчивости национальной экономики. Учитывая комплексный характер данной задачи целесообразно двигаться последовательно — от микроуровня к мезо- и макроуровню экономики. Так для обеспечения устойчивости экономики

на микроуровне необходимо добиться гармоничного развития и стратегической устойчивости отечественных предприятий. Для этого необходимо внести изменения в процесс стратегического управления — включить в состав стратегического плана специальный раздел «*Достижение (поддержание) системной сбалансированности предприятия*». В стратегический план также должны быть заложены мероприятия для перехода к сбалансированной системной структуре в случае возникновения диспропорций, например, через ротацию, прием и увольнение кадров или изменение заработной платы сотрудников предприятия.

Список литературы

1. Клейнер Г.Б. Новая теория экономических систем и ее приложения // Журнал экономической теории. — 2010. — № 3. — С. 41-58.
2. Клейнер Г.Б. Системная организация экономики и концепция российской модернизации // Экономика образования. — 2011. — № 3. — С. 34-41.
3. Клейнер Г.Б. Системная организация экономики и системный менеджмент // XII Международная конференция по проблемам развития экономики и общества. — Т. 2. — М.: ВШЭ, 2012. — С. 66-75.
4. Рыбачук М.А. Системный подход к стратегическому управлению предприятием // Молодая экономика: экономическая наука глазами молодых ученых. Сборник материалов конференции под ред. Р.Н. Павлова. М.: ЦЭМИ РАН, 2014. — С. 108-110.
5. Рыбачук М.А. Тетрадоцентричный подход к управлению экономическими системами // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2015): Материалы Восьмой международной конференции, 29 сент. — 1 окт. 2015 г., Москва: в 2 т. / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук; под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. — Т. 1: Пленарные доклады, секции 1-4. — М.: ИПР РАН, 2015, с. 372-373.
6. Wilber K. A Brief History of Everything. Boston: Shambhala, 1996. — 342 p.

УДК65.011 = 111

Шляго Наталия Никодимовна

Канд. экон. наук, доцент, доцент
НИУ ВШЭ – Санкт-Петербург

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМАЛЬНОЙ И НЕФОРМАЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ НА РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Санкт-Петербург,
Национальный исследовательский университет Высшая школа
экономики – Санкт-Петербург

nshlyago@hse.ru

Аннотация. Обратная связь является основой управленческого процесса. Предприятие относится к категории систем с социальной со-

ставляющей. Формальная и неформальная обратная связь является признаком систем с социальной составляющей. В работе представлены результаты анализа формальной и неформальной обратной связи на российских предприятиях.

Ключевые слова. Система с социальной составляющей, управленческий учет, формальная и неформальная обратная связь.

Nataliya N.Shlyago

Ph. D., associate Professor,
HSE – Saint Petersburg

STUDY OF FORMAL AND INFORMAL FEEDBACK AT RUSSIAN ENTERPRISES

Saint Petersburg,
National Research University Higher School of Economics —
St. Petersburg
nshlyago@hse.ru

Abstract. Feedback is the basis of the management process. The company belongs to the category of systems with a social component. Formal and informal feedback is a sign system with a social component. The paper presents the results of the analysis of formal and informal feedback at the Russian enterprises.

Key words. System with a social component, management accounting, formal and informal feedback.

Введение

Управление предприятием – осознанно осуществляемый процесс. Различными научными школами менеджмента проблемы управления предприятием обсуждаются в рамках таких концепций как системы управленческого контроля – management control systems (англо-американская экономическая школа), и контроллинг – controlling (континентальная экономическая школа). В качестве информационно – инструментальной базы управленческого процесса выступает управленческий учет – management accounting. Основой управления, как известно, является обратная связь. Поэтому современных исследователей процесса управления компанией привлекает проблема реализации обратной связи в контексте управленческого учета. Целью настоящего исследования является выяснение особенностей понимания и реализации обратной связи, как базового принципа управления, сотрудниками современного российского предприятия.

Характеристика проблемы

Характеристика управленческого процесса, основанная на системной идее, достаточно хорошо известна. В работах западных ученых в той или иной форме она рассматривалась R. Anthony [1], Anthony & Govindarajan [2], S. Eilon [3], Otley, D. T. & Berry A. J. [4], R. L. Simons [5], T. Malmi & D.A. Brown [6], Flamholtz, E.G. [7], Э. Демингом [11], Horváth P. [8], Kueper H.-U. [9], Kueper H.-U./Weber J./Zuend A. [10], Д.Ханом [12] и др. В отечественной науке аналогичные идеи развивались в трудах Анохина П. К. [13], Моисеева Н.Н. [14], Волковой В.Н., Денисова А.А. [15] и др.

Понимание сути обратной связи обычно не вызывает затруднений. На вербальном уровне данное явление определяется следующим образом: «Это происходит [обратная связь – Н.Ш.], когда система возвращает часть выхода или информации о результатах данного этапа на свой вход для того, чтобы оказать влияние на следующий шаг» [16]. В данном случае описание системы осуществляется с помощью модели «черный ящик», функционирование которого оценивается по показателям «входа» и «выхода».

Обычно выделяют два вида обратной связи [17, 524] – отрицательную, то есть «направленную на сохранение, стабилизацию требуемого значения параметра» и положительную, «сохраняющую тенденции происходящих в системе изменений». В [16] эти виды обратной связи названы соответственно уравнивающей и усиливающей. Кроме того, выделяется еще одна разновидность обратной связи – упреждающая. В трудах отечественных исследователей обратная связь и упреждающая связь рассматриваются в качестве разных принципов управления [17, 742 – 749]. При этом принцип обратной связи (управление по отклонению) трактуется как корректировка управляющего воздействия при возникновении отклонения фактического значения результата функционирования системы от его заданного значения, а управление с упреждением (принцип компенсации) – как корректировка управляющего воздействия, поступающего от управляющей системы на объект управления, в случае возникновения помех. Объединение принципов обратной связи и управления с упреждением называется адаптацией, то есть способностью системы приспосабливаться к изменяющимся условиям среды.

Выявление различных форм обратной связи позволило проникнуть в суть процесса управления систем различной природы, в том числе и социально-экономических систем, к которым относится предприятие (фирма, компания, организация). Так, например, в работе [19] при рассмотрении обратной связи как циклического процесса, охватывающего деятельность компании и оценку ее влияния на достижение цели, выде-

лены задачи, решение которых, по мнению авторов, обратная связь и обеспечивает. К их числу относятся:

- функционирование подконтрольных корпоративных единиц в рамках заданного вектора развития (достижения целей),
- направление индивидуального поведения в соответствии с целями организации (согласованность целей),
- обучение и внесение изменений в деятельность организации и сотрудников (пересмотр целей).

В контексте управленческого учета долгое время доминировал подход, ограничивающийся рассмотренной концепцией управления и вышеназванными формами обратной связи. Однако по мере становления научной теории управленческого учета отношение к сущности, формам проявления и содержанию конкретных инструментов, из которых формируется практика управленческого учета, возникают и иные подходы к изучению обратной связи. Немаловажную роль в формировании новых подходов сыграло возникновение и развитие концепции живых систем [20], [21], [22], [23]. Так в дополнение к принципу адаптации в качестве важнейшего механизма функционирования социально-экономических систем теперь рассматривается принцип самоорганизации как способности «сложных систем выходить на новый уровень развития» [17, 605]. В.Е. Хиценко, исследуя проблемы самоорганизации, приходит к выводу: «С определенной степени сложности системы ее самоорганизацию можно отождествить со способностью моделировать среду и себя в среде, выявлять различия и уточнять границы. Равновесие в подобных системах невообразимо и, вероятно, губительно. Система устойчива тем, что никогда не приходит в состояние покоя. Идет непрерывная коррекция правил поведения, осуществляемая по неким алгоритмам, которые также корректируются и т.д.» [18].

В качестве основного инструмента адаптации традиционно признавалась отрицательная (уравновешивающая) обратная связь, обеспечивающая сохранение, достижение запланированного параметра. Достаточно вспомнить, что, по определению, контроль является процессом выявления отклонения фактического значения параметра от запланированного, а регулирование – процесс внесения корректировок с целью достижения запланированного результата на базе выявленных отклонений. Принцип самоорганизации расширяет арсенал востребованных форм обратной связи, активно используя положительную обратную связь. Так, например, в работе [18] подчеркивается значимость положительной (усиливающей) обратной связи, в контурах которой система накапливает полезные для себя тенденции, найденные в «хаосе неизбежных флуктуаций» и, тем самым, находить инновационные решения, обеспечивающие переход системы на новый уровень развития.

За последние десятилетия произошли изменения не только в восприятии природы предприятия как системы, но и в понимании сущности информационно-инструментальной базы управления – управленческого учета. Если в середине XX-го века управленческий учет трактовался как разновидность бухгалтерского учета (счетоводства), то в настоящее время данная сфера научно-практической деятельности рассматривается как «добавляющий ценность процесс непрерывного совершенствования планирования, проектирования, изменения и функционирования систем финансовой и нефинансовой информации, который направляет действия менеджмента, мотивирует поведение, поддерживает и создает культурные ценности, необходимые для достижения стратегических, тактических и оперативных целей организации» [24].

Эволюция взглядов на сущность управленческого учета генерирует исследовательский интерес к данной сфере научно-практической деятельности. При этом получают распространение исследовательские подходы, опирающиеся на широкий спектр социально-экономических и институциональных теорий [29]. Так, применительно к сфере исследования форм и механизмов действия обратной связи получает развитие подход, согласно которому выделяют формальный и неформальный вид обратной связи. Разные исследователи по-разному оценивают роль этих видов обратной связи. Так, например, данные проблемы рассматриваются в трудах R. L.Simons, развивающего концепцию диагностических и интерактивных систем [5]. Но, некоторые исследователи, как, например, A. Preston, отдают предпочтение неформальной обратной связи как основному механизму передачи информации в социальных группах [25].

Следует отметить, что, несмотря на значительный интерес к данной проблеме, современных исследований в этой области явно недостаточно. В связи с этим заслуживает внимания работа финских исследователей Pitkänen H., Lukka K.[19], направленная на изучение разновидностей формальных и неформальных практик обратной связи в управленческом учете и их взаимодействиях.

Постановка исследовательской задачи

Для стран с развивающейся экономикой, к которым относится и Россия, в настоящее время характерен бухгалтерский, финансово ориентированный взгляд на управленческий учет [26]. Таким формам управленческого учета свойственен формальный подход к решению управленческих проблем, обеспечивающий, как считается, более высокий, более жесткий уровень контроля. Вместе с тем, в работах, посвященных исследованию реализации концепций управленческого учета, часто отмечается расхождение между теоретическими постулатами и практикой [27], [28], [30]. В связи с этим ставится задача выяснения того, насколько

ко распространены в практике отечественных предприятий формальная и неформальная разновидности обратной связи.

Решение этой задачи, прежде всего, предполагает введение определения этих понятий. К сожалению, в настоящее время данные понятия имеют большое количество интерпретаций [19]. При проведении исследования, поскольку оно является своего рода «пилотным проектом», использовались наиболее простые способы определения. Так, формальная обратная связь рассматривается как запланированная и предоставляемая систематически в рамках официальных процедур в организации, а неформальная обратная связь как предоставляемая независимо от формальных механизмов.

Организация и результаты исследования

Исследование было проведено путем организации анкетного опроса. Респондентам был задан простой вопрос: «Можно ли утверждать, что на вашем предприятии в ходе процесса управления реализуется принцип обратной связи?»

Да____, каким образом?_____

Нет____, потому что _____».

В опросе приняли участие 110 респондентов, которыми являлись сотрудники предприятий, в т.ч.: менеджеры разного уровня – 61, бухгалтеры – 16, предприниматели – 2, специалисты (экономисты, юристы, маркетологи и т.п.) – 31 человек. Ответы были получены от 94 респондентов. Сводные данные по полученным ответам представлены в таблице 1. Обработка ответов осуществлялась путем подсчета частоты ответов.

Расчеты показывают, что 87, 3% ответивших признают реализацию обратной связи. При этом на использование формальной обратной связи (использование отчетов) в чистом виде указывают только 3,2% опрошенных, в то время как о неформальной обратной связи определенно сообщают, как минимум, 44,7%, о сочетании формальной и неформальной обратной связи – 2,1%. Данные результаты со всей очевидностью демонстрируют доминирование неформальной обратной связи. Содержательный анализ ответов позволяет выявить следующие разновидности используемой неформальной обратной связи, расположенные в порядке убывания частоты появления:

- проведение совещаний,
 - анкетирование и опросы,
 - беседы, собеседования,
 - сбор предложений от сотрудников,
 - сбор отзывов и личные контакты с клиентами,
 - электронная почта, блоги,

– прочее.

Таблица 1:

Результаты анкетного опроса

Наличие ответа	Количество	%	Комментарий
Без ответа	16		
	94	100	
«Нет», обратная связь не нужна	10	10,6	1) нет, потому что руководство непосредственно ... процессом производится руководителем, 2) нет, решаю все сама, 3) нет, потому что обратная связь плохо работает, 4) нет, потому что обратная связь не налажена, 5) нет, потому что нет необходимости, 6) нет, персонал узко специализирован и чётко выполняет поставленные задачи, не взаимодействует с менеджментом, 7) нет, потому что это не нужно, 8) нет, мнение сотрудников не интересует руководство,
Затрудняются с ответом	2	2,1	1) не уверен, 2) не знаю о таком принципе, необходимо объяснение.
«Да», без комментариев	11	11,7	Да
«Да» с комментариями	71	75,6	В т.ч.
	8	8,3	межличностные коммуникации
	2	3,2	На основе отчетов (формальная обратная связь)
	42	44,7	Неформальная обратная связь
	3	2,1	Сочетание формальной и неформальной обратной связи
	16	17,2	Ответ утвердительный, но суть не ясна

Помимо указанных форм неформальной обратной связи были выявлены также такие практики, как психологический аудит, проведение тренингов, а также введение должности менеджера по организации обратной связи и использование журнала операционных ошибок. Очевидно, уточнение характера этих форм обратной связи требует проведения дополнительных исследований. Можно допустить, что, по крайней мере, некоторые из них в действительности являются разновидностью формальной обратной связи. Отметим, что в вышеупомянутой работе [19] особо подчеркивается, что формальную и неформальную виды обратной связи «категорически нельзя рассматривать как дихотомические, они существуют».

Полученные результаты, хотя и являются, безусловно, предварительными и требующими дальнейшего развития исследований в данном направлении, заставляют, тем не менее, подумать о причинах сложившейся ситуации и сформулировать некоторые гипотезы.

Гипотеза 1: доминирование неформальной обратной связи в практике предприятий вызвано низким уровнем образования менеджеров в области современного управленческого учета.

Гипотеза 2: доминирование неформальной обратной связи в практике предприятий обусловлено ограниченным горизонтом планирования управленческой деятельности на современном предприятии.

Гипотеза 3: доминирование неформальной обратной связи в практике предприятий является свидетельством того, что менеджмент в действительности не заинтересован в организации сильного контроля.

Понятно, что перечень гипотез может быть продолжен.

Заключение

В данной статье представлены результаты исследования, инициированного распространяющимся на западе интересом к проблемам формальной и неформальной обратной связи, как признаку социальной системы. Принадлежность предприятия (фирмы, компании, организации) к системам данного вида делает данную проблематику актуальной.

Результаты проведенного исследования на материале, собранном на отечественных предприятиях, демонстрируют доминирование неформальной обратной связи. Данный результат приходит в противоречие с распространенным суждением, что менеджмент современной отечественной компании ориентирован на организацию жесткого контроля.

Главным выводом проведенного исследования следует считать осознание необходимости продолжения исследований в данном направлении.

Список литературы

1. Anthony, R. N. (1965) Planning and control systems: a framework for analysis. Boston: Harvard Business School.
2. Anthony, R. N., & Govindarajan, V. (2007). Management control systems (12th edn.). Boston: McGraw-Hill.
3. Eilon, S. (1962) Problems in studying management control. International Journal of Production Research, 1(4), 13.
4. Otley, D. T., & Berry, A. J. (1980) Control, organization and accounting. Accounting, Organizations and Society, 5(2), 231–244.
5. Simons, R. L. (1995) Levers of control: how managers use innovative control systems to drive strategic renewal (Hardcover). Boston: Harvard Business School Press Books.
6. Malmi, T., & Brown, D. A. (2008) Management control systems as a package: opportunities, challenges and research directions. Management Accounting Research, 19, 287–300.

7. Flamholtz, E.G., 1996. Effective organizational control: a framework, applications and implications. *Eur. Manage. J.* 14, 596–611.
8. Horváth P. Controlling: Entwicklung und Stand einer Konzeption zur Loesung der Adaptions- und Koordinationprobleme der Fuerung// *Zeitschrift fuer Betriebswirtschaft*, № 3, с. 194 – 208, 1978.
9. Kueper H.-U. Konzeption des Controlling aus betriebswirtschaftlicher sicht, Scheer, A.-W. (Hrsg.): *Rechnungswesen und EDV*, Heidelberg, с. 82-116, 1987.
10. Kueper H.-U./ Weber J./ Zuend A. Zum Verstaendnis und Selbstvernstaendnis des Controlling// *Zeitschrift fuer Betriebswirtschaft*, № 3, с.281 – 293, 1990.
11. Деминг У. Э. Новая экономика / У. Эдвард Деминг; [пер. с англ. Т. Гуреш]. – М.: Эксмо, 2006. – 208 с.
12. Хан Д. Планирование и контроль: концепция контроллинга: Пер. с нем. - М.: Финансы и статистика, 1997. – 800 с.
13. Анохин П. К. Системные механизмы высшей нервной деятельности. М.: Наука, 1979.
14. Моисеев Н.Н. Численные методы в теории оптимальных систем. М.: Наука, 1971.
15. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем: Учебное пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – М.: Высш. шк., 2006. – 511 с.
16. О'Коннор Дж. Искусство системного мышления: Необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем / О'Коннор Дж. Искусство системного мышления: Необходимые знания о системах и творческом подходе к решению проблем / Джозеф О'Коннор и Иан Макдермотт ; пер с англ. - 4-е изд. – М.: Альпина Паблишерз, 2010. – 254 с.
17. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник: Учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 742 с.
18. Хиценко В.Е. Самоорганизация: становление теории и перспективы социальных приложений// http://nashaucheba.ru/v34120/хиценко_в.е._самоорганизация_элементы_теории_и_социальные_приложения.
19. Pitkänen H., Lukka K. Three dimensions of formal and informal feedback in management accounting. *Management Accounting Research* 22 (2011) 125–137
20. Матурана У. Биология познания // *Язык и интеллект*. Сб./ Пер. с англ. и нем./Сост. и вступ. ст. В. В. Петрова. – М.: Издательская группа «Прогресс», 1996. – с.95 – 142.
21. Луман Н. Что такое коммуникация? //«Социологический журнал», № 3, 1995 год. [Электронный ресурс] // Центр гуманитарных технологий. URL: <http://gtmarket.ru/laboratory/expertize/2954>
22. Мейер, К. Живая организация. Компания, как живой организм. Грядущая конвергенция информатики, нанотехнологии, биологии и бизнеса: пер. с англ. / К. Мейер, С. Дэвис. - М.: Добрая книга, 2007. — 368 с.
23. Де Гиус А. Живая компания: рост, научение и долгожительство в деловой среде. СПб.: Стокгольмская школа экономики в Санкт-Петербурге, 2004.
24. Аткинсон Э.А., Банкер Р.Д., Каплан Р.С., Янг М.С. Управленческий учет, 3-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2007.– с.26.

25. Preston, A., 1986. Interactions and arrangements in the process of informing. *Acc. Organ. Soc.* 11, 521–540.
26. Шляго Н.Н. Управленческий учет: рудименты прошлого в осознании настоящего. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 160 с.
27. Baxter Jane, Chua Wei Fong. Alternative management accounting research - whence and whither // *Accounting, Organizations and Society*. - 2003. - 28. - С. 97-126
28. Ittner Christopher D., Larcker David F. Assessing empirical research in managerial accounting: a value-based management perspective // *Journal of Accounting and Economics*. - 2001. - 32. -С. 349-410.
29. Hopper T., Powell A. Making sense of research into the organizational and social aspects of management accounting: a review of its underlying assumptions/ Address for reprints: Mr. T. Hopper, Department of Accounting and Finance, Faculty of Economics and Social Studies, University of Manchester M13 9PI.
30. McLellan J. Management Accounting Theory and Practice: Measuring the Gap in United States Businesses. *Journal of Accounting – Business & Management* vol. 21 no. 1 (2014) 53-68

УДК 311+37

Кацко Игорь Александрович¹,
Д-р экон. наук, профессор,
Величко Павел Юрьевич²,
Канд. экон. наук,
Кацко Светлана Александровна¹,
Канд. экон. наук,
Павлов Сергей Геннадьевич²,
соискатель

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД КАК ИДЕОЛОГИЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ

¹г. Краснодар, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», ingward@mail.ru, ²г. Москва.

Аннотация. С точки зрения идеологии постепенной формализации математических моделей предложено концептуальное описание непрерывной цепочки – от простейших методов описательной статистики до кубов *OLAP* с одной стороны и от методов аналитической статистики до методов *Data Mining* с другой, позволяющее сформировать целостное мировоззрение на роль анализа данных сегодня, как инструмента получения новых знаний для решения задач управления, прогнозирования и принятия решений на всех уровнях нашего общества – от предприятия, до государства.

Ключевые слова: идеология, постепенная формализация, описательная статистика, аналитическая статистика, кубы OLAP, Data Mining.

Igor A. Katsko¹,
Doctor of Economics, Professor,
Pavel Yu. Velichko²,
Ph.D. in Economics,
Svatlana A. Katsko¹,
Ph.D. in Economics,
Sergey G. Pavlov²,
Applicant

A SYSTEM APPROACH AS A DATA ANALYSIS IDEOLOGY

¹Krasnodar, Federal State Institution of Higher Professional Education «Kuban State Agrarian University», ingward@mail.ru, ²Moscow.

Abstract. From the perspective of the gradual formalisation ideology of mathematical models suggested conceptual description of a continuous chain - on the one hand, from the simplest methods of descriptive statistics to OLAP cubes; on the other hand, from the analytical methods of statistics to Data Mining methods, allowing to form a holistic world view on data analysis role nowadays, as a tool to obtain new knowledge to solve problems of management, forecasting and decision-making at all levels of our society - from the enterprise to the state.

Keywords: ideology, gradual formalization, descriptive statistics, analytical statistics, OLAP cubes, Data Mining.

Современное научное мировоззрение трактует окружающий нас мир как систему, в которой все взаимосвязано. В зависимости от целей того или иного раздела науки обычно рассматривается лексикографическое упорядочивание системных задач, например, для прикладной статистики (анализа данных): наблюдаемость, идентификация, реализация, прогнозирование и (или) управление и т.д.

Цель анализа данных – получение новых знаний о системе с использованием наблюдений или иначе – свертка имеющейся информации для решения прикладных задач анализа и объяснения особенностей функционирования изучаемой системы, управления, прогнозирования и принятия решений. Ограниченность возможностей осознанного восприятия окружающего мира, потребовала от человека разработки взаимодополняющих подходов: выборочного метода и сжатия информации для пред-

ставления в виде вербальных и формальных (математических) теорий и моделей.

Современная точка зрения на процесс формализации берет начало у Ж. Адамара, дальнейшее развитие – это понятие получило в работах В.Н. Волковой, формализация это [3]:

уточнение содержания изучаемых объектов и процессов с применением какой-либо устойчивой конструкции, и в частности – математического аппарата.

В сущности, имеет место итеративный процесс:

образное восприятие ↔ формальная модель.

Момент остановки определяется по достижению цели моделирования (управление, прогноз, принятие решения).

Анализ данных представляет собой идеологию формализации по эмпирическим наблюдениям, отношение к которым у исследователей не однозначно. Сегодня понятие «данные» расширяется за счет развития информационных технологий (это тексты, графика, мультимедиа, *web*-страницы, датчики, передающие данные в нетрадиционных форматах и пр.). Предполагается, что наблюдения, в исходном виде или преобразованные принадлежат одной из основных типов шкал (номинальной, порядковой, интервальной, отношений).

Идеология «сжатия» данных предполагает использование функций агрегирования данных, зависящих от типа шкалы (номинальной, порядковой, интервальной, отношений) и соответствующие меры центральной тенденции (моду, медиану, среднюю арифметическую, среднюю геометрическую).

Вопросы необходимости и точности измерений отражены в прикладной информационной экономике Дугласа У. Хаббарда, предложившего подход к пониманию измерения как экономически оправданному методу снижения неопределенности и состоящему из ряда этапов [15], которые пересекаются с идеологией прикладных системных исследований, нашедшей отражение у Р. Акоффа, Ф. Т. Тарасенко, В. Н. Волковой, Ю. И. Лыпаря [6], а также руководством по принятию решений Дж. Хэммонда, Р. Кини, Г. Райфа [16].

Этап 0. Подготовка проекта. Предварительные исследования, встреча с заинтересованными лицами. Подбор экспертов. Формирование рабочей группы и планирование ее работы.

Этап 1. Построение модели принятия решений. Четкое определение проблемы, полученное уточнением ограничений и четкой формулировкой цели. Документирование проблемы; диагностика проблемы; составление списка непосредственных участников проблемной ситуации; выявление сопутствующих проблем; определение минимального набора профессиональных языков, определяющегося природой проблемы; уточ-

нение цели и критериев качества решения. Уточнение соответствия между типом проблемы, данными и их возможными техническими источниками (таблица 1) или экспертными.

Таблица 1

Соответствие между типами проблем и представлением данных

Проблемы	Данные	Представление данных
Структурированные, хорошо выраженные количественно	Структурированные (табличные)	Таблицы «объект – свойство», «свойство-свойство», представленные в электронных таблицах и реляционных базах данных
Слабоструктурированные, выраженные как количественно, так и качественно	Слабоструктурированные (блоги, сенсорные данные и т.д.)	Сложные форматы, использующие нереляционные платформы, например, mongodb, hadoop – реализующие концепцию распределённых (параллельных) вычислений MapReduce
Неструктурированные, выраженные в основном качественно	Неструктурированные (тексты, видео- и аудиофайлы)	

Этап 2. Предварительные измерения. Анализ стоимости информации по каждой переменной входящей в модель. Предварительный выбор метода измерения. Выявление переменных с высокой стоимостью. Выбор методов их оценки, снижающих неопределенность до определенного порога, при достижении которого, необходимо принять решение. Применяемые методы измерения:

– разложение на составляющие (классический пример использования разложения на составляющие «вопрос Ферми» о числе настройщиков пианино в Чикаго [15]: «число настройщиков пианино в Чикаго = (численность населения / число членов одной семьи) * процент семей, пользующихся услугами настройщиков * число настроек в году / (число пианино, настроенных одним настройщиком * число дней в году)»).

Ответ на вопрос о самом крупном источнике неопределенности в разложении позволяет понять, какие измерения снижают неопределенность.);

– случайный отбор, ориентированный на статистическую идеологию выборочного метода и закон больших чисел;

– субъективно-байесовский подход;

– контролируемый эксперимент;

– метод линзы.

Итеративное усовершенствование модели принятия решения и оценка конечной стоимости анализа затрат на информацию (стоимость затрат на измерения и моделирование не должна превышать стоимости информации).

Этап 3. Выбор показателей и конечные результаты. Полный анализ «риск/доходность». Выбор способов отслеживания показателей. При необходимости построение и усовершенствование моделей принятия решений на основе чередования методов активизации интуиции специалистов и методов формализованного представления систем (либо создание нового объекта в рамках системы, для решения проблемы). Генерация альтернатив, понимание взаимосвязанности решений, анализ последствий, выбор или принятие решения.

Оптимизация решения. Заключительный отчет и презентация.

Мы сегодня говорим о базовом уровне аналитики, предполагая теорию вероятностей и математическую статистику, статистику и анализ данных или прикладную статистику. Сегодня ряд ведущих компаний по обработке данных придерживаются идеологии *Internationale Institute for Analytics (IIA)*, который позиционирует в настоящее время три уровня аналитики, основывающейся на разнообразных оперативных данных. Считается, что в ближайшее десятилетие десятки миллиардов источников данных сделают термины *Big Data* и *Internet of Things* (большие данные и интернет вещей) обыденными. В конце 2015 г. один из руководителей компании *Google* прогнозировал скорое окончание обычного для нас интернета – все общество будет внутри гигантской паутины, накапливающей разнообразные данные, обменивающейся данными, анализирующей данные для управления современными организациями и бизнес-процессами в режиме реального времени, практически без вмешательства человека.

Традиционные методы анализа данных и бизнес-аналитика (Аналитика 1.0) ориентированы на выработку рекомендаций человеку для поддержки принятия решений на основании ретроспективных данных. Реализуется один из вариантов системы поддержки принятия решений (СППР), использующей внутреннюю структурированную отчетность как с помощью электронных таблиц (*Excel*) и статистических пакетов (*Statistica, IBM SPSS, SAS*), так и информационных технологий OLAP, *Data Mining (DM)* и *Knowledge Discovery in Database (KDD)*, реализованных, например, в аналитической платформе *Deductor*.

Аналитика 2.0 ориентирована на использование больших данных для построения прогнозов, основное отличие больших данных не размер, а разнообразие, т.е. они могут быть как структурированными, так и неструктурированными, не только внутренними, но и внешними, имеющими различные форматы представления и т.д. Термин большие данные получил распространение в первом десятилетии 21 века, хотя еще в 90-е годы прошлого века база данных в 1 Мб считалась большой, сегодня размеры увеличились во много раз и стало понятно, что *big data* не относится непосредственно к размерам данных, а к технологиям их сбора,

хранения и обработки. *Big data* – динамично развивающаяся ИТ-методология одновременной обработки разнообразных структурированных, слабоструктурированных и неструктурированных данных, характеризующихся объемом и скоростью прироста, которая предполагает использование как реляционных, так и нереляционных баз данных.

Аналитика 3.0 или операционная аналитика, работает в пределах времени принятия решений для прогноза событий и предписания действий для достижения цели. Например, вы заходите на сайт интернет-магазина *Ozon*, и одновременно получаете информацию о продажах продукции, предполагающей знание ваших интересов по прошлым посещениям. Аналитика 3.0 интенсивно развивающееся направление в связи с появлением новых источников данных и как следствие, новых типов данных и новых инновационных аналитических технологий прогностической и предписывающей аналитики. Например, бесплатные услуги в сети интернет, служат источником информации для продавцов тех или иных товаров и услуг. Постепенно все вещи вокруг нас (холодильники, телевизоры, компьютеры, смартфоны, часы, браслеты, а со временем и одежда) снабжаются встроенными датчиками, позволяющими собирать данные и доставлять аналитику, даже часть страницы на вебсайте используется для тестирования пользователей. Считается, что окружающие нас вещи в ближайшее время станут самым большим источником данных.

В конце 1990-х годов по поводу «интернет-пузыря» говорилось, что «интернет – это телеграф, возмнивший себя экономикой». Сегодня все констатируют, что реальность превзошла самые смелые мечты той эпохи, поэтому сегодня даже сложно предсказать, как повлияет на нашу жизнь операционная аналитика. Но уже сегодня ясно, что для ее применения должно выполняться ряд условий:

- наличие ясной цели в управлении организацией,
- если достижение цели сопряжено с проблемой, то выяснение вопросов: какие данные позволяют решить проблему, есть ли в данных нужная нам ценная информация,
- данные должны быть качественные и актуальные.

Таким образом, необходима последовательность:

ЦЕЛЬ – ПРОБЛЕМА – ДАННЫЕ,

реализующая стратегию создания аналитического окружения, которое может быть, как консолидировано в рамках единой аналитической платформы (например, *Deductor*), так и разрозненно (взаимодействие в социальных сетях, обслуживание клиентов, веб-поведение, сенсорные данные и т.д.). Постулируется ценность каждого нового источника информации, позволяющего оценить решаемую проблему в новом срезе или контексте. Новым источникам данных сопутствуют новые проблемы (качества,

хранения и обработки, метрики, полезности, уникальности, масштабирования) и новые возможности (повышение качества существующих аналитических процессов, появление новых подходов к решению проблем, выявление новых проблем).

Современные тенденции развития аналитики непосредственно связаны с достижениями человеческого интеллекта, вызывающими футуршок (страх перед будущим). Человечество озабочено собственными представлениями о могуществе компьютеров и предполагаемыми последствиями появления искусственного интеллекта (ИИ). Один из лидеров в области ИИ, компания *DeepMind*, условием своего поглощения компанией *Google* поставила создание совета по этике и безопасности. Видимо стоит отметить необходимость создания такого совета на государственном и международном уровне в свете появления ряда художественных фильмов, нагнетающих обстановку в обществе (таких как «Матрица» и, появившийся в прокате весной 2016 года, «Хардкор»). Актуальными, как для деятелей культуры, которые, видимо, не осознают негативность влияния на социум своих созданий об эпохе ИИ, так и для ученых, работающих в области ИИ, как на виртуальном, так и материальном уровне остаются три закона робототехники А. Азимова, которые он предварил нулевым законом:

0. Робот не может нанести вред человечеству или своим бездействием допустить, чтобы человечеству был нанесён вред.

1. Робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить, чтобы человеку был причинён вред.

2. Робот должен повиноваться всем приказам, которые даёт человек, кроме тех случаев, когда эти приказы противоречат Первому Закону.

3. Робот должен заботиться о своей безопасности в той мере, в которой это не противоречит Первому или Второму Законам.

Мир быстро меняется, следует учесть, что все революционные нововведения в истории человечества давали больше, чем предполагал человек. «Три волны», (аграрная – 10 000 лет назад, индустриальная – около 300 лет назад, информационная – около 60 лет назад) по Алвину Тоффлеру, неузнаваемо преобразили наш мир. Сегодня мы живем в «глобальной деревне» (М. Маклюэн), которая позволяет отметить тенденцию к формированию коллективного разума человечества, долговременную память которого сегодня формирует корпорация Google, путем сбора перекрестных ссылок на интернет-страницы, а оперативную – средства массовой информации. Человеку сложно сохранить свою индивидуальность, не вступая в конфликт с коллективной идентичностью. Проблема возможной будущей конкуренции искусственного интеллекта и человека должна рассматриваться в контексте идеи постепенной формализации моделей принятия решений по В. Н. Волковой, рассмотренной выше и

соответствующей взаимодействию полушарий мозга человека – левого, ответственного за логику и правого, ответственного за интуицию, творчество. Искусственный интеллект в этом случае – это способ (необычный, ранее не встречавшийся) формализации задач, поставленных человеком, творческий потенциал которого не может ставиться под сомнение.

Известный футуролог Э. Тоффлер говорит о трех волнах в развитии общества: аграрной, индустриальной, информационной. Анализ данных всегда развивался в направлении удовлетворения потребностей общества. Если в аграрном обществе достаточно было описательной статистики, в индустриальном – аналитической статистики, то постиндустриальное общество и ожидаемое информационное расширили прикладную статистику методами машинного обучения, использующими как структурированные, так и неструктурированные данные (*Data Mining, Text Mining, Web Mining, Social Mining, Big Data* и интернет вещей) (табл.2).

Таблица 2

Методы анализа данных в контексте общественного развития

Общество	Общественное производство	Ограничивающий фактор	Характер изменчивости требований рынка	Требуемый тип мышления	Методы анализа ретроспективных данных
Аграрное	Продукты питания	Земля	Стабильность	Консервативный	Описательные, Аналитические (начало)
Индустриальное	Товары	Капитал	Достаточная стабильность	Рыночный, способный реагировать на изменения	Описательные, Аналитические, Методы машинного обучения (начало)
Постиндустриальное	Информация	Знания	Резкие дискретные скачкообразные изменения	Стратегический, способный увидеть и сменить цели и стратегии фирмы	Описательные, Аналитические, Оперативная отчетность, Data Mining, KDD
Информационное	Знания	Социальное время	Резкие изменения в первую очередь под воздействием информационных факторов	Стратегический, способный реагировать на информационные воздействия	Описательные, Аналитические, Оперативная отчетность, Data Mining, KDD Text Mining, Web Mining, Visual Mining, Social Mining, Big Data и интернет вещей и т.д.

Таким образом, востребованность методов анализа данных определяется уровнем развития общества, например, технологии бизнес-аналитики, давно использующиеся в Москве и Санкт-Петербурге, получают развитие в регионах лишь в последние годы, становясь одной из затратных статей бизнеса. Возникает необходимость системного осмысления возможностей и ограничений анализа данных на современном этапе развития общества.

Демонстрация непрерывной цепочки – от простейших методов описательной статистики до кубов *OLAP* с одной стороны и от методов аналитической статистики до методов *Data Mining* с другой, позволяет сформировать целостное мировоззрение на роль анализа данных сегодня, как инструмента получения новых знаний для решения задач управления, прогнозирования и принятия решений на всех уровнях нашего общества – от предприятия, до государства.

Жизнь человека в информационном обществе, сопряженная с большими потоками информации, быстрыми изменениями и пр. требует от человека выделять главные факторы посредством использования *ИТ, наблюдений «в поле»* и использовать их в своей жизни, не теряя при этом человечности и *понимания информационных технологий* сквозь призму человеческого бытия, времени, религии и искусства *как дополнения к жизни, обогащенной близостью к природе, физическим трудом, общением с друзьями* [8].

Список литературы

1. Арнольд В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели / В.И. Арнольд. – МЦНМО. 2008. – 32 с.
2. Брусиловский П. Data Mining vs. Statistics – <http://www.bisolutions.us/Data-Mining-vs-Statistics.php>.
3. Волкова В. Н. Постепенная формализация моделей принятия решений / В. Н. Волкова. – Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 120 с.: ил.
4. Гараедаги Дж. Системное мышление: Как управлять хаосом и сложными процессами: Платформа для моделирования архитектуры бизнеса / Дж. Гараедаги. – Гревцов Букс, 2010. – 480 с.
5. Горелова Г.В. Когнитивный анализ и моделирование устойчивого развития социально-экономических систем. / Г.В. Горелова, Е.Н. Захарова, Л.А. Гинис. – Изд-во Рост, ун-та, 2005. – 288 с.

6. Кацко И.А. Модели и методы прикладных системных исследований (практикум): (учебное пособие) / Под ред. А.И. Трубилина, И.А. Кацко. – Кубанский ГАУ. – 2014. – 449 с., ил. (Серия: Вероятность, статистика и прикладные исследования в аграрном университете)
7. Мостеллер Ф. Анализ данных и регрессия / Ф. Мостеллер, Дж. Тьюки. – «Финансы и статистика», 1982. Вып. 1 – 317 с., вып. 2 – 239 с.
8. Нейсбит Дж. Высокая технология, глубокая гуманность: технологии и наши поиски смысла / Джон Нейсбит. – АСТ: Транзиткнига, 2005. – 381 с.
9. Тоффлер Э. Метаморфозы власти: Знание, богатство и сила на пороге XXI века / Э. Тоффлер / Пер. с англ. Науч. ред., предисл. П.С. Гуревича. – ООО «Издательство АСТ», 2002. – 670 с.
10. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений / Э.А. Трахтенгерц. – СИНТЕГ, 1998. – 376 с.
11. Тума Т. Эксклюзивный опрос в странах группы G20 / Т. Тума, Д. Хайльман. WEB: <http://inosmi.ru/politic/20160328/235888545.html>
12. Форман Дж. Много цифр: Анализ больших данных при помощи Excel / Дж. Форман; пер. с англ. А. Соколовой. – Альпина Паблишер, 2016. – 461с.
13. Фрэнкс Б. Укрощение больших данных: как извлекать знания из больших массивов информации с помощью глубокой аналитики / Б. Фрэнкс; пер. с англ. А. Баранова. – Манн, Иванов и Фарбер, 2014. – 352 с.
14. Фрэнкс Б. Революция в аналитике: Как в эпоху Big Data улучшить ваш бизнес с помощью операционной аналитики / Б. Фрэнкс; пер. с англ. – Альпина Паблишер, 2016. – 316 с.
15. Хаббард Д. Как измерить все, что угодно. Оценка стоимости нематериального в бизнесе / Д. Хаббард; пер с англ. Е. Пестеревой. – ЗАО «Олимп-Бизнес», 2009. – 320 с.: илл.
16. Хэммонд Дж. Правильный выбор по принятию решений / Дж. Хэммонд, Р. Кини, Г. Райфа; пер с англ. В.Н. Егорова. – Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 254 с.: ил.
17. Шарф К. Где место разуму? / К. Шарф. WEB: <http://inosmi.ru/science/20160329/235898814.html>

УДК 621.391.2

Гаршина Вероника Викторовна

Канд. техн. наук, доцент, доцент ВГУ

Карлова Алина Викторовна

магистрант

Усов Евгений Геннадьевич

магистрант

ПРИМЕНЕНИЕ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

г. Воронеж, Воронежский государственный университет, Воронеж-
ский государственный архитектурно-строительный университет,
alina_karlova_93@mail.ru

Аннотация: В данной статье была проведена работа по изучению Байесовских сетей, применения их для решения задач экономического моделирования. Из множества современных программных средств был выбран инструмент фирмы Hugin AIS. Проведён анализ выбранного инструмента для проектирования Байесовских сетей доверия и сделан вывод.

Ключевые слова: Байесовские сети доверия, количественная оценка субъективных ожиданий, экономическое моделирование, Hugin Expert, теория графов.

Veronika V. Garshina,

PhD in Technical Sciences, associate professor,

Alina V. Karlova,

Student in the master's program,

Evgeny G. Usov,

Student in the master's program,

APPLICATION OF BAYESIAN BELIEF NETWORKS TO MEET THE CHALLENGES OF ECONOMIC MODELING

Voronezh, Voronezh State University, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, alina_karlova_93@mail.ru

Abstract: In this paper, work on the study of Bayesian networks was carried out, using them to meet the challenges of economic modeling. Of the

many modern software Hugin AIS firm was selected. The analysis of the selected tool for the design of Bayesian belief networks and concluded.

Keywords: Bayesian belief networks, quantitative evaluation of subjective expectations, economic modeling, Hugin Expert, graph theory.

При решении задач в области экономического моделирования, часто приходится проводить рассуждения с ограниченными знаниями и неполной информацией. Для решения этих задач можно использовать научные подходы, основанные на различных формах вероятностных рассуждений. Одним из них является подход, называемых байесовскими сетями доверия (Bayesian Believe Network), предложенный Дж. Перлом в 1988г.

Байесовские сети доверия это графические структуры для представления вероятностных отношений между большим количеством переменных и для осуществления вероятностного вывода на основе этих переменных. Они используются в тех предметных областях, которые характеризуются наследованной неопределённостью вследствие [1]:

- неполного понимания предметной области;
- неполных знаний;
- когда задача характеризуется случайностью.

Байесовская сеть доверия (БСД) – это направленный ациклический граф, обладающий следующими свойствами.

- вершинами сети являются множество случайных переменных, которые могут быть дискретными или непрерывными;
- каждая переменная может принимать одно из конечного множества взаимоисключающих значений;
- вершины попарно соединяются ориентированными рёбрами;
- для двух вершин X и Y , если ребро направлено от вершины X к вершине Y , то вершина X называется родительской по отношению к вершине Y ;
- для вершин без родителей вероятности её состояний являются безусловными (маргинальными);
- каждой переменной-потомку A с переменными-предками $B_1, \dots, B_n$ приписывается таблица условных вероятностей $P(A | B_1, \dots, B_n)$ или функция условных вероятностей.

Числовые значения вероятностей в Байесовых сетях могут быть как математическими вероятностями, так и субъективными, личностными, оценками экспертов по поводу возможности осуществления событий. У разных лиц степень ожидания события может быть разной, это зависит от индивидуального опыта и объема априорной информации.

Количественная оценка субъективных ожиданий: эксперту предлагается сделать выбор в игре с теоретически известной вероятностью альтернативы. Смена выбора происходит при выравнивании степени ожидания эксперта и теоретической вероятности.

Рассмотрим инструменты для проектирования БСД. Современные программные средства обеспечивают инструментарий для построения таких сетей, а также возможность использования байесовских сетей доверия для введения новых свидетельств и получения решения (вывода) за счёт пересчёта новых вероятностей во всех вершинах, соответствующих вновь введенным свидетельствам.

Можно привести ряд open source инструментов: GeNIe & RISO, SamJam). А так же коммерческие программные продукты, имеющие триал – версии и бесплатные учебные версии (Agenarisk; BayesLab; Hugin).

Для примера решений задач, экономического моделирования, был выбран “Hugin Expert” фирмы Hugin AIS (Дания) функционирующий в среде OS Windows, а так же имеющий версии UNIX и Mac OS. Система позволяет создавать базы знаний и фактов. Существует возможность интеграции пользовательских приложений с моделями через Hugin Expert API с C++, Java, VisualBasic. Также, HUGIN представляет возможность генерировать HTML документ содержащий результаты вывода на БСД.

Hugin Expert поддерживает два основных режима работы:

- Режим редактирования и построения причинно-следственной сети, а также заполнения таблиц условных вероятностей,

- Режим расчёта вероятностных оценок для принятия решения по всем событиям, входящим в причинно – следственную сеть.

Расчёты могут осуществляться как на основе классической теории Байеса, так и на основе методов теории возможностей.

Hugin Expert позволяет оперировать не только дискретными, но и непрерывными случайными переменными. Однако при использовании БСД, содержащих как непрерывные, так и дискретные переменные существует ряд ограничений: дискретные переменные не могут иметь непрерывных родителей; непрерывные переменные должны иметь нормальный закон распределения, условный на значениях родителей.

Модели на основе БСД способны к самообучению и самосовершенствованию по мере накопления экспериментальной информации. Выделяют задачи обучения БСД:

- 1) необходимо оценить вероятности на рёбрах, уже зная структуру сети (внешний вид графа);

- 2) необходимо узнать и вероятности, и структуру сети по имеющимся статистическим данным.

Для построения Байесовой сети на основе априорной информации необходимо:

- сформулировать проблему в терминах вероятностей значений целевых переменных;
- выбрать понятийное пространство задачи, определить переменные, имеющие отношение к целевым переменным, описать возможные значения этих переменных;
- выбрать на основе опыта и имеющейся информации априорные вероятности значений переменных;
- описать отношения «причина – следствие» (как косвенные, так и прямые) в виде ориентированных ребер графа, разместив в узлах переменные задачи;
- для каждого узла графа, имеющего входные ребра указать оценки вероятностей различных значений переменной для комбинаций значений переменных – предков на графе.

Оценка числовых значений вероятностей для входных переменных производится на основе субъективных оценок ожиданий экспертов по поводу возможности осуществления событий. В некоторых случаях субъективные оценки ожидания экспертов – единственная альтернатива, так как необходим учет мнения экспертов, и в рамках объема работ нет возможности провести крупномасштабное исследование.

Подводя итоги, можем сказать, что Байесовские сети доверия представляют собой инструмент, позволяющий включать в модель качественную информацию и естественным образом моделировать зависимости между различными рисками.

Байесовские сети доверия позволяют находить оптимальные пути решения и вычислять вероятность рисков при решении задач экономического моделирования. Использование БСД на предприятиях позволит улучшить работоспособность и поможет снизить возникновение рисков в производственном процессе.

Список литературы

1. Десятирикова, Е. Н. Основы теории и информационные технологии управления в простых и сложных системах: учеб. пособие / Е. Н. Десятирикова, А. А. Сирота. Воронеж: Издво ВГУ, 2007. 229 с. : ил. (Учебник Воронежского государственного университета).

Шашихин Владимир Николаевич
Д-р техн. наук, профессор, профессор

АНТАГОНИСТИЧЕСКИЕ ИГРЫ С ИНТЕРВАЛЬНЫМИ ФУНКЦИЯМИ ВЫИГРЫША

Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, shashihin@bk.ru

Аннотация. Рассматривается антагонистическая матричная игра с интервальными стратегиями и функциями выигрыша. С использованием аппарата полной интервальной арифметики получены внешние оценки для объединённых множеств нижних и верхних значений игры, которая задана с помощью платёжной матрицы.

Ключевые слова: антагонистическая игра, интервальная платёжная матрица, внешние оценки значений игры.

Vladimir N. Shashihin,
Doctor of Technical Sciences, Professor

TWO-PERSON ZERO-SUM GAMES WITH INTERVAL PAYOFF

Saint Petersburg, Saint Petersburg polytechnic university,
shashihin@bk.ru

Annotation. Two-person zero-sum games with interval payment matrix is considered. Out ward bound for lower and upper pure value of the game are get using interval analysis.

Key words: two-person zero-sum games, interval payment matrix, lower and upper pure value of the game.

Выбор предпочтительных решений группой участников, имеющих противоречивые цели, основывается на математической теории игр [1]. Классическая теория игр ориентирована на стратегии игроков с вещественными параметрами. Однако жизнь богаче и неопределенность присутствует не только в выборе стратегии, но и в значениях, приписываемых той или иной стратегии. Круг практически решаемых задач можно расширить, введя в рассмотрение интервальные параметры.

В работы рассматриваются антагонистические матричные игры с интервальными параметрами (стратегиями). Стратегия является интервальной, если в рассматриваемой игре она может принимать любое значение из некоторого интервала. Для решения матричных игр в интервальной постановке используется аппарат интервального анализа [2].

Основным объектом исследования является интервальная антагонистическая игра двух лиц в нормальной форме

$$\tilde{\Omega} = (\tilde{X} \subseteq \mathbb{IR}, \tilde{Y} \subseteq \mathbb{IR}, \tilde{K}(\tilde{x}, \tilde{y})), \quad (1)$$

где $\mathbb{IR} = \{\tilde{a} = [\underline{a}, \bar{a}] \mid \underline{a}, \bar{a} \in \mathbb{R}\}$ - множество вещественных интервалов, состоящее из всевозможных упорядоченных пар вещественных чисел; $\tilde{X}, \tilde{Y}$ - непустые подмножества произвольной мощности (множества интервальных стратегий); $\tilde{x} = [\underline{x}, \bar{x}] \in \tilde{X}$ - интервальная стратегия первого игрока; $\tilde{y} = [\underline{y}, \bar{y}] \in \tilde{Y}$ - интервальная стратегия второго игрока; $\tilde{K}(\tilde{x}, \tilde{y}): \tilde{X} \times \tilde{Y} \rightarrow \mathbb{IR}$ - интервальнозначная функция выигрыша первого игрока.

Под интервальной игрой (1) будем понимать совокупность всех «точечных» игр

$$\Omega = (X \subseteq \mathbb{R}, Y \subseteq \mathbb{R}, K(x, y) \in \mathbb{R}) \quad (2)$$

со стратегиями $x \in \tilde{x} = [\underline{x}, \bar{x}]$, $y \in \tilde{y} = [\underline{y}, \bar{y}]$ и функцией выигрыша $K(x, y) \in \tilde{K}(\tilde{x}, \tilde{y}) = \{K(x, y) \mid x \in \tilde{x}, y \in \tilde{y}\}$

$$\tilde{\Omega} = (\tilde{X}, \tilde{Y}, \tilde{K}(\tilde{x}, \tilde{y})) \stackrel{def}{\Leftrightarrow} \{\Omega = (X, Y, K(x, y)) \mid x \in \tilde{x}, y \in \tilde{y}, K(x, y) \in \tilde{K}(\tilde{x}, \tilde{y})\}.$$

Пусть множества стратегий обоих игроков имеют конечные мощности $|\tilde{X}| = m$ и $|\tilde{Y}| = n$. Упорядочим множества $\tilde{X}$ и $\tilde{Y}$, установив взаимно однозначное соответствие между множеством натуральных чисел $M = \{1, 2, 3, \dots, m\}$ и множеством $\tilde{X} = \{\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \tilde{x}_3, \dots, \tilde{x}_m\}$, а также между множеством $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ и множеством $\tilde{Y} = \{\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \tilde{y}_3, \dots, \tilde{y}_n\}$. Тогда игра (1) может быть полностью определена заданием интервальной матрицы

$$\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{i,j=1}^{m,n} \in \mathbb{IR}^{m \times n} \quad (3)$$

с элементами $\tilde{a}_{ij} = [\underline{a}_{ij}, \bar{a}_{ij}] \in \mathbb{IR}$, которые равны $\tilde{a}_{ij} = [\underline{K}(\tilde{x}_i, \tilde{y}_j), \bar{K}(\tilde{x}_i, \tilde{y}_j)]$ значениям интервальной функции выигрыша $\tilde{K}(\tilde{x}_i, \tilde{y}_j) \in \mathbb{IR}$ при выборе первым игроком стратегии $\tilde{x}_i$, а вторым – стратегии $\tilde{y}_j$. Игру (1) с матрицей выигрышей (3) обозначим $\tilde{\Omega}_{\tilde{A}}$.

Пусть $V = \sup_{x \in X} \inf_{y \in Y} K(x, y)$ и $W = \inf_{y \in Y} \sup_{x \in X} K(x, y)$ - нижнее и верхнее значение "точечной" игры (2), тогда целью проведения интервальной матричной игры $\tilde{\Omega}_{\tilde{A}}$ является определение:

- объединённого множества всех нижних значений игры

$$\tilde{V} = [\underline{V}; \overline{V}] \stackrel{\text{def}}{=} [\inf\{V \mid x \in \tilde{x}, y \in \tilde{y}\}; \sup\{V \mid x \in \tilde{x}, y \in \tilde{y}\}]; \quad (4)$$

- объединённого множества всех верхних значений игры

$$\tilde{W} = [\underline{W}; \overline{W}] \stackrel{\text{def}}{=} [\inf\{W \mid x \in \tilde{x}, y \in \tilde{y}\}; \sup\{W \mid x \in \tilde{x}, y \in \tilde{y}\}]; \quad (5)$$

- объединённого множества всех стратегий, на которых достигается нижнее значение игры

$$(\tilde{x}_H, \tilde{y}_H) \stackrel{\text{def}}{=} \{(x_H, y_H) \in X \times Y \mid (\exists x_H \in \tilde{X})(\exists y_H \in \tilde{Y})(K(x_H, y_H) = V \in \tilde{V})\}$$

и верхнее значение игры

$$(\tilde{x}_B, \tilde{y}_B) \stackrel{\text{def}}{=} \{(x_B, y_B) \in X \times Y \mid (\exists x_B \in \tilde{X})(\exists y_B \in \tilde{Y})(K(x_B, y_B) = W \in \tilde{W})\}.$$

Таким образом, требуется найти по возможности наиболее просто и наиболее точно «внешние» оценки объединённого множества (4) нижних значений и объединённого множества (5) верхних значений игры $\tilde{\Omega}_{\tilde{A}}$, которые образованы нижними и верхними значениями «точечных» игр (2) со стратегиями $x \in \tilde{x}, y \in \tilde{y}$ и функциями выигрыша $K(x, y) \in \tilde{K}(\tilde{x}, \tilde{y})$.

Из определения объединённых множеств нижних и верхних значений видно, что при решении интервальных антагонистических игр привлекаются операции взятия минимума и максимума от функции нескольких аргументов. Для решения таких задач требуется специальная минимаксная интервальная арифметика, которая реализует вычисление минимакса. В качестве требуемой минимаксной интервальной арифметики может быть использована полная интервальная арифметика или полная арифметика Каухера, названная по имени её создателя [3].

Максимальным элементом множества $\tilde{E} \subset \mathbb{IR}$ является интервал $\tilde{c}$, удовлетворяющий условиям

$$\tilde{c} = \max\{\tilde{e}_i \mid \tilde{e}_i \subset \tilde{E}\} := ((\tilde{c} \subset \tilde{E}) \& (\forall \tilde{e}_i \subset \tilde{E})(\tilde{e}_i \leq \tilde{c})).$$

а минимальным элементом множества $\tilde{E} \subset \mathbb{IR}$ является интервал $\tilde{d}$ такой, что:

$$\tilde{d} = \min\{\tilde{e}_i \mid \tilde{e}_i \subset \tilde{E}\} := ((\tilde{d} \subset \tilde{E}) \& (\forall \tilde{e}_i \subset \tilde{E})(\tilde{e}_i \geq \tilde{d})).$$

Полная интервальная арифметика является структурой, то есть всякое его двухэлементное подмножество имеет точные верхнюю и нижнюю грани.

$$\sup(\tilde{a}, \tilde{b}) = [\sup(\underline{a}, \underline{b}); \sup(\overline{a}, \overline{b})], \quad (6)$$

$$\inf(\tilde{a}, \tilde{b}) = [\inf(\underline{a}, \underline{b}); \inf(\overline{a}, \overline{b})]. \quad (7)$$

Будем полагать, что основное допущение теории игр о разумном поведении игроков (их стремлении к получению максимального выигрыша при любых действиях партнера) выполнено. Оптимальная стратегия первого игрока, которая обеспечит ему наибольший из возможных выигры-

шей вне зависимости от стратегии второго игрока, определяется решением задачи

$$\max_{\tilde{x} \in \tilde{X}} \min_{\tilde{y} \in \tilde{Y}} \tilde{K}(\tilde{x}, \tilde{y}).$$

Оптимальной стратегией второго игрока будет столбец платежной матрицы с наименьшим значением максимального платежа

$$\min_{\tilde{y} \in \tilde{Y}} \max_{\tilde{x} \in \tilde{X}} \tilde{K}(\tilde{x}, \tilde{y}).$$

Если первый игрок будет придерживаться максиминной стратегии, то его выигрыш будет принадлежать интервалу, удовлетворяющему соотношению

$$\tilde{V} \geq \max_{\tilde{x} \in \tilde{X}} \min_{\tilde{y} \in \tilde{Y}} \tilde{K}(\tilde{x}, \tilde{y}).$$

Этот интервал $\tilde{V}$ будем называть нижним значением игры или нижней ценой интервальной игры (1). Соответственно, второй игрок, придерживаясь минимаксной стратегии, обеспечит себе проигрыш, принадлежащий интервалу

$$\tilde{W} \leq \min_{\tilde{y} \in \tilde{Y}} \max_{\tilde{x} \in \tilde{X}} \tilde{K}(\tilde{x}, \tilde{y}).$$

Интервал $\tilde{W}$ будем называть верхним значением или верхней ценой игры (1).

Если максимум и минимум на множествах $\tilde{X}$ и $\tilde{Y}$ недостижимы, то первый игрок может всегда обеспечить себе выигрыш, используя стратегию, полученную в результате решения задачи

$$\tilde{V} \geq \sup_{\tilde{x} \in \tilde{X}} \inf_{\tilde{y} \in \tilde{Y}} \tilde{K}(\tilde{x}, \tilde{y}). \quad (8)$$

Второй игрок всегда может себе гарантировать проигрыш

$$\tilde{W} \leq \inf_{\tilde{y} \in \tilde{Y}} \sup_{\tilde{x} \in \tilde{X}} \tilde{K}(\tilde{x}, \tilde{y}). \quad (9)$$

В матричной игре экстремумы всегда достигаются, поэтому нижнее и верхнее значение игры соответственно равны

$$\tilde{V} = \max_{i \in M} \min_{j \in N} \tilde{a}_{ij}, \quad (10)$$

$$\tilde{W} = \min_{j \in N} \max_{i \in M} \tilde{a}_{ij}. \quad (11)$$

Ситуацию $(\tilde{x}^*, \tilde{y}^*) \in \tilde{X} \times \tilde{Y}$ естественно считать равновесной (оптимальной), если ни одному из игроков невыгодно от нее отклоняться. В ситуации равновесия выполняются следующие соотношения

$$\tilde{K}(\tilde{x}, \tilde{y}^*) \leq \tilde{K}(\tilde{x}^*, \tilde{y}^*) \text{ и } \tilde{K}(\tilde{x}^*, \tilde{y}) \geq \tilde{K}(\tilde{x}^*, \tilde{y}^*).$$

для всех $\tilde{x} \in \tilde{X}$ и $\tilde{y} \in \tilde{Y}$.

Максиминная стратегия (10), при которой первый игрок получает выигрыш равный нижнему значению игры, и минимаксная стратегия (11) второго игрока, при которой его проигрыш будет равен верхнему значению игры, могут быть найдены по следующей схеме:

	$\tilde{Y}$						
	$\tilde{y}_1$	$\tilde{y}_2$	...	$\tilde{y}_j$	...	$\tilde{y}_n$	
$\tilde{x}_1$	$\tilde{a}_{11}$	$\tilde{a}_{12}$	...	$\tilde{a}_{1j}$	...	$\tilde{a}_{1n}$	$\inf_j \tilde{a}_{1j}$
$\tilde{x}_2$	$\tilde{a}_{21}$	$\tilde{a}_{22}$	...	$\tilde{a}_{2j}$	...	$\tilde{a}_{2n}$	$\inf_j \tilde{a}_{2j}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$\tilde{x}_i$	$\tilde{a}_{i1}$	$\tilde{a}_{i2}$	...	$\tilde{a}_{ij}$	...	$\tilde{a}_{in}$	$\inf_j \tilde{a}_{ij}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$\tilde{x}_m$	$\tilde{a}_{m1}$	$\tilde{a}_{m2}$	...	$\tilde{a}_{mj}$	...	$\tilde{a}_{mn}$	$\inf_j \tilde{a}_{mj}$
	$\sup_i \tilde{a}_{i1}$	$\sup_i \tilde{a}_{i2}$		$\sup_i \tilde{a}_{ij}$		$\sup_i \tilde{a}_{in}$	
$\inf_j \sup_i \tilde{a}_{ij} = \tilde{W}$							

Алгоритм поиска нижнего и верхнего значений игры состоит в следующем. Используя определение (7), находим точную нижнюю грань множества, состоящего из интервальных элементов i -ой строки матрицы $\tilde{A}$

$$\inf_j (\tilde{a}_{ij}) = [\inf_j (\underline{a}_{ij}); \inf_j (\overline{a}_{ij})].$$

Далее повторяем предыдущий шаг для каждой строки матрицы $\tilde{A}$ и вписываем найденные интервалы в предпоследний столбец схемы.

Затем определяем, используя соотношение (6), точную верхнюю грань множества, состоящего из интервалов, которые найдены на предыдущих шагах $\sup_i \{\inf_j (\tilde{a}_{ij})\}$. Найденная точная верхняя грань, в соответствии с формулой (8), определяет интервал, которому принадлежит нижнее значение игры.

Находим точную верхнюю грань множества, состоящего из элементов j -го столбца матрицы $\tilde{A}$, используя соотношение (6)

$$\sup_i (\tilde{a}_{ij}) = [\sup_i (\underline{a}_{ij}); \sup_i (\overline{a}_{ij})].$$

Повторяем предыдущий расчёт для каждого столбца матрицы $\tilde{A}$. Найденные интервалы вписываем в последнюю строку схемы и вычисляем точную нижнюю грань множества, состоящего из элементов $\inf_j \{\sup_i \tilde{a}_{ij}\}$, которая определяет, в соответствии с формулой (9), верхнее интервальное значение игры.

Для определения нижнего значения интервальной игры (1) с использованием предлагаемой методики необходимо $2(n-1)(n+1)$ парных сравнений элементов матрицы $\tilde{A}$ и столько же парных сравнений для опреде-

ления верхнего значения игры, всего для решения интервальной игры требуется $2^2(n-1)(n+1)$ парных сравнений.

Таким образом, рассмотрена методика решения антагонистических игр с интервально заданными стратегиями и функциями выигрыша. Алгоритм решения основан на аппарате полной интервальной арифметики и использовании понятий точной верхней и точной нижней граней множества. Предлагаемая методика позволяет определить с минимальными вычислительными затратами внешние оценки для объединенных множеств нижних и верхних значений интервальной игры.

Список литературы

1. фон Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. - М.: Наука, 1970. - 780 с.
2. Калмыков С. А., Шокин Ю. И., Юлдашев З. Х. Методы интервального анализа. - Новосибирск: Наука, 1986. - 223 с.
3. Kaucher E. Interval analysis in the extended interval space $\mathbb{IR}$ // Computing Supplement. - 1980. - N. 2. - P. 33–49.

УДК 303.732

Козлов Владимир Николаевич,
Д-р техн. наук, профессор
Ефремов Артем Александрович
Канд. физ.-мат. наук, доцент

УСТОЙЧИВОСТЬ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ С ПРОЕКЦИОННЫМИ УПРАВЛЕНИЯМИ И СЖИМАЮЩИЕ РАЗНОСТНЫЕ ОПЕРАТОРЫ

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, (812) 297–14–40
saiu@ftk.spbstu.ru

Аннотация

Рассмотрен аналитический метод синтеза нелинейных систем автоматического управления дискретными или непрерывными объектами управления, описываемыми разностными или дифференциальными кусочно-линейными операторами.

Сформулированы операторы конечномерной оптимизации и соответствующие условия сжатия для решения задач в конечномерном евклидовом пространстве.

Ключевые слова[^] нелинейные системы автоматического управления, дискретные и непрерывные объекты управления, операторы конечномерной оптимизации, распределенные системы

Vladimir N. Kozlov,

Doctor of Technical Sciences, Professor

Artem A. Efremov,

PhD, Associate Professor

STABILITY OF DISCRETE SYSTEMS WITH PROJECTION CONTROLS AND COMPRESSIVE DIFFERENCE OPERATORS

St. Petersburg Polytechnic University Peter the Great,
St. Petersburg, Polytechnicheskaya str., 29. (812) 297–14–40
saiu@ftk.spbstu.ru

Abstract

Considered an analytical method for the synthesis of nonlinear systems of automatic control of discrete or continuous control objects described by difference or differential piecewise-linear operators.

Formulated to optimize the finite-dimensional operators and the relevant conditions of compression for solving problems in a finite-dimensional Euclidean space.

Keywords: nonlinear automatic control system, discrete and continuous objects of control, operators finite-dimensional optimization, distributed system

Рассматривается аналитический метод синтеза нелинейных систем автоматического управления на основе проекционных операторов конечномерной оптимизации [1 – 3] и соответствующие условия сжатия на основе свойств разностного оператора. Метод использует модели дискретных или непрерывных объектов управления, которые описываются разностными или дифференциальными кусочно-линейными операторами.

Сформулированы операторы конечномерной оптимизации для решения задач в конечномерном евклидовом пространстве, в которые «погружаются» задачи аналитического вычисления управлений дискретных автоматических систем.

1. Синтез дискретных систем с допустимыми и локально оптимальными управлениями. Действующий в евклидовом пространстве разностный оператор системы с допустимыми управлениями, имеющий вид

$$x_{k+1} = \bar{H} x_k + \gamma F_u T \tilde{\theta} P^0 C \eta_k \in \square^{n_x}, y_k = C x_k \in \square^{n_y}, x_{k0} = x^0, \quad (1.a)$$

с параметром допустимости

$$\tilde{\theta} = 1 - 2\theta, \theta \in [0, 1]$$

и управлениями, которые заданы проектором на ядро оператора A :

$$P^0 = E_n - P_A A, P_A = A^T \bar{A}, \bar{A} = (A A^T)^{-1}, A = (E_n | -c F_u),$$

по условию устойчивости должен быть *сжимающим*. При этом локально допустимое (оптимальное) управление в (1) аналитически задается *оператором оптимизации*

$$u_{k*} = \gamma T \arg \min \left\{ \varphi = \|z_k - C_k\|_2^2 \mid A z_k = b_k = c H x_k, \|z_k\|_2^2 \leq r^2 \right\} = \quad (1.6)$$

$$= \gamma T (P_A b_k + P^0 C_k \eta_k) = \gamma T (P_A b_k + \tilde{\theta} T P^0 C_k \eta_k), T = (0_{n_u \times n_y} \mid E_{n_u \times n_u}), \eta_k = (r^2 - \|P_A c H x_k\|_2^2)^{1/2}.$$

Теорема. Пусть выполнены условия:

- 1). Оператор (1.a) имеет управляемую по Р. Калману пару $(\bar{H}, F_u)$.
- 2). Параметр $\gamma \in \square$ определяет линейный устойчивый оператор подсистемы с минимально-фазовым объектом с линейным проекционным управлением

$$\bar{H} = (E_n + \gamma F_u T P_A c) H, \|H\| < 1,$$

для которого выполнены условия устойчивости с запасом устойчивости $\|\Delta H\| = 1 - \|\bar{H}\|$.

- 3). Нелинейная часть оператора управления $u_{k*} = \gamma T \tilde{\theta} P^0 C_k \eta_k$ оператора (1.6) учитывает ограничения на координаты и управления.
- 4). Оператор (1) имеет единственную стационарную точку.
- 5). Справедливы оценки для инвариантного множества

$$S(0, r_1), r_1 = r (\|c\| \cdot \|H\| \cdot \|\bar{A}\|)^{-1},$$

поскольку параметры заданы равенствами $P^0 C_k \eta_k, \|P^0 C_0\| = 1, \|T\| = 1$. 6).

Выполнена регуляризация для параметра $\theta \in [0, 1]$ проектором

$$p_1(\theta) = 0,5(|\theta| - |\theta - 1| - 1) \in [0, 1] \in \square, |p_1(a) - p_1(b)| \leq L_1 |a - b|, L_1 \leq 1, \quad (3)$$

а также для счетных условий совместности ограничений

$$\alpha_k = r^2 - p_2 \left(\|P_A c H x_k\|_2^2 \right) \geq 0, k = 1, 2, \dots,$$

проектором на интервал числовой оси

$$p_2(q_k) = 0,5 \left(|q_k^T q_k - \varepsilon^2| - |q_k^T q_k - (r - \varepsilon)^2| + \varepsilon^2 + (r - \varepsilon)^2 \right) \in [\varepsilon^2, (r - \varepsilon)^2] \in \square, \quad (4)$$

с постоянной Липшица L_2 . Тогда, если выполнено неравенство

$$|\gamma| < \left[1 - \|\bar{H}(\gamma)\|\right] \left[\|F_u\| \cdot \|P_A\| \cdot \|c\| \cdot \|H\| L_0 L_1 L_2 (1 + 2L|\tilde{\theta}|r)\right]^{-1}, \quad (5)$$

то дискретная система локально допустимого управления с оператором объекта (1.а), управлением (1.б) и регуляризацией (3), (4) является устойчивой в шаре (2) евклидова пространства, включающем векторы

$$x_{k0}, x_k, x_*, C_k \in S(0_n, r_1),$$

с инвариантным множеством типа (2). Неравенство (5) содержит условия устойчивости для системы локально оптимального управления, в которой «параметр допустимости» заменяется «параметром оптимальности», принадлежащим интервалу $[0, 1]$ [1, 3].

Рассмотрены применения метода для управления крупными энергетическими системами, распределенными системами передачи углеводородов по магистральным сетям и движущимися объектами.

Список литературы

1. Козлов В.Н. Метод нелинейных операторов в проектировании динамических систем. Изд-во Ленингр. гос. ун-та. Л.: - 1986.
2. Козлов В.Н. Негладкие системы, операторы оптимизации и устойчивость. Изд-во Политехн. ун-та. СПб.: 2012.
3. Козлов В.Н. Устойчивость разностных операторов систем с проекционными локально оптимальными управлениями и регуляризацией. Труды VI Международной научной конференции «Современные проблемы и методы теории операторов и гармонического анализа и их приложения». Изд-во Южного федераль. ун-та. Ростов на Дону. 2016.

УДК 303.732

Лыпарь Юрий Иванович
Д-р техн. наук, профессор

КРИТЕРИЙ СТРУКТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ И СИНТЕЗ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА

Санкт-Петербург. Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет Петра Великого
ylup@mail.ru

Аннотация. Использована связь чувствительности к изменениям параметров элементов с запасом устойчивости систем для синтеза структур аналоговых систем (АСУ) с помощью предложенных критериев стабильности объектов. Их реализация структурно делает систему устойчивой и не зависящей от значений параметров элементов. Обеспе-

чивается низкая чувствительность АСУ к изменениям параметров её элементов.

Ключевые слова: Система на кристалле (SoC), высокое качество, критерии устойчивости, элементы.

Yury'Lypar`

CRITERION FOR STRUCTURAL STABILITY AND SYNTHESIS OF ANALOG HIGH QUALITY

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Россия, Санкт-Петербург, (812) 297–14–40
ylup@mail.ru

Аннотация. Использована связь чувствительности к изменениям параметров элементов с запасом устойчивости систем для синтеза структур аналоговых систем (АСУ) с помощью предложенных критериев стабильности объектов. Их реализация структурно делает систему устойчивой и не зависящей от значений параметров элементов. Обеспечивается низкая чувствительность АСУ к изменениям параметров её элементов.

Keywords: System on Chip (SoC), high quality, stability criteria, elements/

Введение.

Широкое распространение систем на кристалле (SoC), содержащих датчики измеряемых или управляющих сигналов и цифровой блок, получили широкое распространение в различных областях техники, потребительской электронной аппаратуре, «умном доме». Малая потребляемая мощность высокая скорость обработки информации способствуют расширению их применения. Одной из важнейших задач в таких системах является повышение их качества [1]. Для его оценки у проектируемой системы применяют функции относительной чувствительности (ФОЧ) характеристик объекта к изменению параметров его элементов. Однако, традиционно эти функции применяют к уже спроектированному объекту, а качество объекта закладывается на первых этапах синтеза его структуры. В результате оценить качество объекта на ранних этапах проектирования, когда ещё идёт синтез его структуры кажется не возможным. Сначала перечислим на примере аналоговых электронных систем те стороны их качества, которые можно оценить с помощью ФОЧ. Она используется в известных методах решения задач аппроксимации характеристик объекта [2, 3] синтеза параметров элементов [4, 5], синтез допусков на элементы [6, 7], определения надёж-

ности к постепенным отказам [9, 10], нестабильности характеристик [3, 6, 8] уровня шумов, нелинейных искажений и динамического диапазона сигналов [10]. Так как в процедуре синтеза структур необходимо сравнивать свойства объектов между собой, то это удобно делать с помощью функций относительной чувствительности, т.е. безразмерной функции. Поэтому необходимо исследовать влияние относительного изменения параметров элементов и соответственно получим относительное изменение функций объекта..

Естественно, при переносе задачи в другую область должны соблюдаться линейные соотношения между этими объектами. Будем синтезировать структуру объекта такой, чтобы функции относительной чувствительности были низкими при любых значениях параметров её элементов. В качестве примера возможности осуществления таких структур можно указать, в частности, на пассивный кварцевый резонансный контур, добротность которого может быть весьма большой, при высокостабильной частоте колебаний.

Поэтому электронные системы (ЭС) с обратными связями должны иметь структуру, обеспечивающую такое же качество как у вышеуказанного резонатора. На первых этапах синтеза структур объекта для прямого анализа качества системы отсутствуют данные, поэтому выполним переход в другую область, в которой можно сформулировать множество требований для каждого последующего этапа синтеза структуры системы.

Таким образом, информация о структуре объекта будет увеличиваться. При традиционном подходе к проектированию стремятся применить методы оптимизации с единственным критерием. Часто это приводит к слишком жестким требованиям к технологии и конструкции, связанных с отклонениями параметров элементов при изготовлении (допуски на отклонение от расчётного значения, стоимость) и эксплуатации в естественных условиях изменения окружающей среды: температуры, влажности, износа, вибрации и т.д.

Таким образом, число факторов, влияющих на возможность серийного изготовления объекта высокого качества, приводит к высоким издержкам, значительным временным затратам. Эти последние факторы для SoC являются определяющими, так как компания первой, вышедшая на рынок с новым объектом, изготавливает его миллионами тиражами. Компании конкуренты несут огромные убытки или даже разоряются.

Процедуру синтеза структур устройств и систем покажем с помощью метамоделей проектирования (рис.1), предложенной и теоретически обоснованной в [2, 3]. Она охватывает все аспекты проектирования: технологический (T), функциональный (F), структурный (S), конструк-

торский (С). По этой же модели разрабатывается и программное обеспечение (ПО) синтеза структур (ПОСС). В отличие от стандартного подхода к проектированию ПО тестирование его осуществляется на физическом уровне, с применением методов анализа получаемых характеристик, а не путём разработки специального ПО для тестирования, как это делается в настоящее время. Таким образом, выполняется верификация ПО и характеристик всего объекта. Проектирование начинается с постановки проблемы создания нового объекта, описание которого формулируется в основном потребителем, с помощью вербальных переменных. При этом требования к качеству объекта, его характеристикам, времени проектирования и стоимости предъявляются высокие. Так как качество объекта в основном определяется его структурой, а все последующие процедуры изготовления объекта: конструкция и технология только ухудшают качество первоначально спроектированного объекта из-за технологических и конструкторских так называемых “малых” параметров. Заметим, что эти параметры чаще всего называют паразитными, так как они в исходной модели проектирования не предусматриваются. Вместе с тем, с ростом сложности устройства такие параметры элементов описываются уравнениями, отражающими взаимное влияние элементов. Поэтому целесообразно называть их технологическими и конструкторскими параметрами.

Метамодель синтеза объекта (рис.1) содержит 7 этапов необходимых для получения данных для формального решения задач каждого последующего этапа. Несмотря на то, что в начале, будет использован критерий устойчивости Гурвица, разработанный для линейных систем, в модели при переходе от одного аспекта проектирования к другому свойство линейности непосредственно не используется. Более того, если необходимо синтезировать вольтамперную характеристику нелинейного или ключевого элемента, то возникает ещё один или два под этапа синтеза вида нелинейности элемента в рамках структурного аспекта.

На первом этапе проектирования (рис.1) формируются функции выбора, описывающие сущность проектируемого объекта. Лица, принимавшие решения (ЛПР), от всех аспектов формируют свои функции выбора, уменьшающие область возможных вариантов решений проектирования и изготовления объекта. На функциональном аспекте выполняется анализ требований - ограничений на решения, полученных после завершения очередного этапа. Формируется общая для всех аспектов функция выбора эффективных решений F_{Ef} , т.е. удовлетворяющих требованиям потребителей. Таким образом, первый этап проектирования заканчивается существенным ростом критериев выбора по сравнению с исходными данными. Заметим, попытки решить задачи синтеза высо-

кого качества структуры объекта с помощью методов оптимизации на данном этапе не приводили к положительному результату, так как экстремум легко достигается когда имеются близкие по значению два слагаемых одно из которых может принимать отрицательное значение.

Второй этап начинает выполняться на структурном аспекте: выбирается или синтезируется принцип построения объекта S_{Pr} . Выполнив этот этап, можно переходить от этапов: *пойди туда не знаю, куда и принеси то, не знаю что*: к этапу создания математической модели аппроксимирующей желаемые характеристики объекта S_A . **Очень важно, что в результате выполнения аппроксимации появляются два важных числа: необходимое число узлов устройства и число элементов**, осуществляющих связи между всеми узлами электрической цепи. Кроме того, порядок уравнений определяет также число реактивных элементов. Этих данных достаточно для дальнейшего формального синтеза множества структур объектов.

Отметим, что проблема синтеза аналоговых систем, в отличие от цифровых систем, состояла в отсутствии формальных методов перехода от этапа к этапу. В прочем и цифровые элементы приходится синтезировать на этапе проектирования динамических характеристик логических элементов. Сложность и универсальность структурного синтеза и соответственно модели проектирования можно оценить следующим образом. Если на каждом этапе и аспекте создавать по 9 вариантов объектов, то мощность множества объектов будет примерно равна [11] $4,7 \times 10^{101}$. Задачи такой мощности называют *NP*-полными, т.е. не решаемыми путём сравнения возможных вариантов, так как на современных вычислительных средствах потребуется время большее существования вселенной. Таким образом, известными методами поиска “оптимального” решения с помощью анализа и сравнения решений на современной вычислительной технике невозможно. Предложенная модель после формирования функций выбора и решения задачи аппроксимации, желаемых характеристик объекта предоставляет возможность перейти к формальному решению задачи без перебора вариантов. Для этого воспользуемся теорией графов, аппарат которой наиболее эффективно оперирует с элементами структур объектов проектирования. Автором разработан алгоритм синтеза структур, обеспечивающий раскраску элементов в цвета элементов синтезируемой системы.

Далее идут два этапа: исчисление способов построения S_{Met} и синтез множества структур S_{Ap} , *которые, как и принципы построения S_{Pr} , в настоящее время в основном решаются на интуитивном уровне*. В приложении П2. “Автоматизация синтеза электрических схем” учебника [12] и учебного пособия [6] приведены алгоритмы и методики синтеза структур электронных устройств: активных *RC*-фильтров, ге-

нераторов гармонических колебаний с перестраиваемой частотой [6, 7], теоретически обоснован и предложен квазикаскадный принцип построения электронных устройств. Полученные решения на вышеуказанных этапах до сих пор во всём мире патентуются или создаётся ноу-хау, принадлежащее проектировщику. Последние три этапа традиционны: расчёт параметров элементов S_{Par} объекта, допусков S_{Tol} на отклонения параметров от номинальных значений при их изготовлении. Если в системе должен быть нелинейный элемент, то синтезируется его характеристика, зависящая от места включения его в контуры обратной связи или в путь прохождения сигнала от входа к выходу устройства.

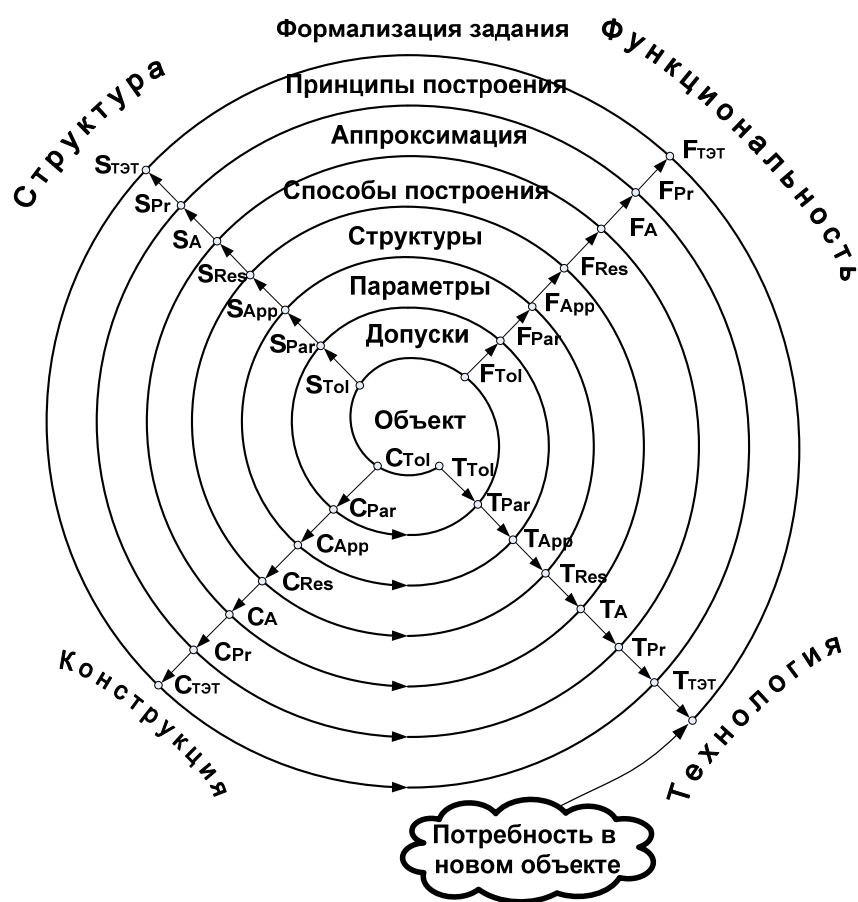


Рис. 1 Метамодель проектирования объектов

Таким образом, только после этого этапа можно будет использовать уже известные системы автоматизированного проектирования. Это традиционный подход к проектированию из-за чего приходится несколько раз изменять структуру и соответственно конструкцию объекта.

Однако, как заявлено в начале статьи, выбрав принцип S_{Pr} построения, а затем, создав на этапе аппроксимации желаемой S_A математической модели характеристик объекта можно решать задачи, обеспечения качества и стабильности работы синтезируемого объекта за счёт особенностей его структуры. Сразу отметим, что в системах с обратными связями одной из важнейших проблем является обеспечение стабильности работы объекта. Проблемам анализа качества и обеспечения устойчивости работы уже спроектированных непрерывных линейных систем посвящены достаточно многочисленные исследования [1, 2, 3, 6]. Ниже излагается вывод алгебраических критериев стабильности пригодных для синтеза структур аналоговых электронных систем (АЭС) управления, обеспечивающих при реализации критериев, стабильность АЭС не параметрическим, а структурным путём.

В линейных системах запас устойчивости [1] определяют в зависимости от места включения элемента по формуле (1) если параметр элемента χ_0 входит в числитель передаточной функции $K(j\omega)$:

$$\frac{\Delta\chi}{\chi_0} = 1 / \left[S_{\chi_0}^{K(j\omega_{кр})} (j\omega_{кр}, \chi_0) - 1 \right] \chi = \chi_0, \quad (1)$$

вычисляется при номинальном значении параметров на критических частотах $\omega = \omega_{кр}$, обладающих свойством, где функция относительной чувствительности $S_{\chi_0}^{K(j\omega_{кр})} (j\omega_{кр}, \chi_0)$

$$\left[\operatorname{Im} S_{\chi}^{K(j\omega_{кр})} (j\omega_{кр}, \chi_0) \right]_{\chi=\chi_0} = 0,$$

а если параметр элемента χ входит в её знаменатель, то по формуле (2)

$$\frac{\Delta\chi}{\chi_0} = 1 / \left[S_{\chi_0}^{K(j\omega_{кр})} (j\omega_{кр}, \chi_0) \right] \chi = \chi_0, \quad (2)$$

где $\omega_{кр}$ - критическая частота, на которой система возбуждается; χ_0 - расчётное значение параметра элемента, $K(j\omega)$ - передаточная функция системы, а выражение в квадратных скобках в формуле (2) называют функцией относительной чувствительности (function of the relative sensitivity) (FoRS).

Представим передаточную функцию в операторной форме $K(s) = B(s) / A(s)$, где s - оператор Лапласа:

$$A(s) = a_0 + a_1 s + a_2 s^2 + a_3 s^3 + a_4 s^4 + a_5 s^5 + a_6 s^6 + a_7 s^7 + \dots + a_n s^n = 0 \quad (3)$$

Из выражений (1) и (2) следует, что запас устойчивости будет стремиться к бесконечности, если ФОЧ будет находиться вблизи значений 1 и 0. Таким образом, если необходимо синтезировать неразде-

лимую на отдельные блоки систему со стабилизирующими обратными связями такими, чтобы ФОЧ ко всем критическим элементам, формирующим $A(s)$, были заметно меньше 1, то получим систему с запасом устойчивости, в пределе стремящимся к бесконечности.

Итак, если обеспечить запас устойчивости при любых значениях параметров элементов достаточно большим, то система будет иметь низкую относительную чувствительность к отклонению её параметров всех элементов от расчётного значения, т.е. она будет иметь стабильные характеристики. Следовательно, необходимо синтезировать такие структуры системы, которые будут обеспечивать с одной стороны стабильность, не зависящую от значений параметров элементов, а с другой высокое качество.

Сформулируем **критерии стабильности** систем для процедуры синтеза их структур, в общем случае имеющих порядок n дифференциальных уравнений модели системы содержащих контуры стабилизирующей обратной связи.

Для обеспечения устойчивости системы достаточно установить согласно критериям Гурвица, что корни характеристического уравнения асположены в левой части комплексной полуплоскости. Следовательно, не обязательно искать сами корни в уравнениях высокого порядка. Достаточно сформулировать критерии, выполнение которых обеспечит расположение её комплексных полюсов в левой части комплексной полуплоскости.

В справочнике по математике [6] приведена теорема альтернативная теореме Гурвица. Она позволила составить простые алгебраические критерии устойчивости в форме удобной для синтеза таких структур систем, которые обеспечивают её стабильность, не зависящей от значения параметров элементов системы. Итак, составим действительный полином порядка n альтернативный полиному Гурвица.

Теорема [6]. Все корни действительного уравнения n -ой степени имеют отрицательную действительную часть в том случае, если это верно для уравнения $n-1$ степени

$$\begin{aligned} A(x) &= a'_0 + a'_1 x + a'_2 x^2 + a'_3 x^3 + a'_4 x^4 + a'_5 x^5 + a'_6 x^6 + a'_7 x^7 \dots a'_n \equiv \\ &\equiv a_1 x + (a_2 - a_0 a_3 / a_1) x^2 + a_3 x^3 + (a_4 - a_0 a_5 / a_1) x^4 + \\ &+ a_5 x^5 + (a_6 - a_0 a_7 / a_1) x^6 + a_7 x^7 + \dots + a_{n-1} x^{n-1} = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Синтез структуры стабильной системы с высоким качеством начнём с формирования структуры коэффициентов a_i . Поэтому в отличие от [6] коэффициенты a_i описываются символьными выражениями, а не числами. В общем случае, они состоят из сумм произведе-

ний названий параметров элементов физически реализующих эти коэффициенты.

Таким образом, необходимо сформулировать требования к структуре коэффициентов a_i так, чтобы **стабильность системы не зависела от значений параметров её элементов**.

Из уравнения (4) следует, что все коэффициенты при переменной x не чётной степени должны быть положительными, а коэффициенты при переменных x чётной степени описываются неравенствами

$$\begin{aligned} &1. a_i > 0; i = 0, 1, 2, \dots, n-1; \quad 2. (a_2 a_1 - a_0 a_3) > 0; \quad 3. (a_4 a_1 - a_0 a_5) > 0; \\ &4. (a_6 a_1 - a_0 a_7) > 0, \end{aligned} \quad (5)$$

и должны удовлетворять следующим отношениям, которые и представляют собой критерии стабильности

$$\begin{aligned} &1. a_i > 0, i = \overline{(n-1, 0)}; \quad 2. a_0 a_3 \subset a_1 a_2; \quad 3. a_0 a_5 \subset a_1 a_4; \quad 4. a_6 a_1 \subset a_0 a_7 \quad 5. \\ &a_0 a_7 \subset a_1 a_6 \dots n-1. a_0 a_{n-1} \subset a_1 a_{n-1}; \end{aligned} \quad (6)$$

где левые части отношений входят в качестве подмножества (слагаемого) в правую часть, например, критерий 2: $a_1 a_2 = a'_1 a'_2 + a_0 a_3$ после подстановки его в неравенства (5) получим $2. a_1 a_2 = a'_1 a'_2$. Аналогичным образом формируются структуры и других коэффициентов. Тогда критерии (6) выполняются при любых значениях параметров элементов системы, ограниченных условиями нормального режима работы элементов и значениями коэффициентов рассчитанных на этапе синтеза аппроксимирующей функции (4). Несмотря на то, что предложенные критерии структурной стабильности были разработаны для линейных систем из отношений (6) вытекает независимость стабильности системы и при наличии в её структуре компонентов с нелинейностями. Эти же критерии целесообразно применять и в системах с характеристиками, перестраиваемыми электронным путём. Например, при создании систем синтеза речи, в которых широко используются фильтры с перестраиваемыми частотами. Элементы, реализующие перестройку входят, в сокращающиеся элементы критериев стабильности, а поэтому они не влияют на их изменения и не будут сказываться на точности и стабильности, так как сократятся тождественно равные элементы.

Таким образом, проблема проектирования систем высокого качества переведена из технологического и конструкторского аспектов в область структурного аспекта проектирования, обеспечивая стабильность перестраиваемых характеристик в соответствии с критериями (6). электронным путём синтеза структур стабильных систем

Практическая возможность реализовать критерии (6) показана в авторских свидетельствах автора и его учеников, например [9], и в нём

также показан анализ ФОЧ, который подтверждает низкую чувствительность характеристик фильтра третьего порядка с достаточно высокой добротностью.

Список литературы

1. В. Немудров, Г. Мартин Системы- на- кристалле. Проектирование и развитие. Москва. Техносфера, 2004.- 216 с. ISBN 5-94836-029-6
2. Лыпарь Ю.И. Системное проектирование в функциональном и структурном аспектах // Кибернетика и информатика: Сборник научных трудов к 50-летию Секции кибернетики Дома учёных им. М. Горького РАН. Санкт-Петербург.СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та 2006. С. 217- 238.
3. Гехер К. Теория чувствительности и допусков электронных цепей.— пер. с англ.- под ред. Ю. Хотунцева.- М.: Сов радио, 1973, -- С. 200
4. Калниболотский Ю.М., Казанджан Н.Н., Нестер В.В. Расчёт чувствительности электронных схем.- Киев: Техника, 1982.-С. 17
- 5.. Рутман Р.С. Устойчивости запас.— В кн. «Автоматизация производства и промышленная электроника», т.4. С. 216-217. —М.: Сов. энциклопедия
6. Granino A. Korn, Teresa Korns, Mathematical Handbook for saintliest and engineers. McGraw – Hill Book Company- New York, 1968.
7. Маслов А.Я., Татарский В.Ю. Повышение надёжности радиоэлектронной аппаратуры.- М.: Сов. радио, 1972. – 264 С.
8. Мееров М. В. Синтез структур систем автоматического управления высокого качества. Москва, Физматгиз, 1969, 282р
9. Ю.И. Лыпарь, Н.Н. Балтруков, Д.А. Скойбеда. Полосовой активный РС-фильтр. Авторское свидетельство СССР № 815868, к л. Н 03 Н 11/12, 1978.
10. Лыпарь Ю.И. Автоматизация проектирования избирательных усилителей и генераторов.(монография) Л.: Изд. ЛГУ, 1983. 164 с.
11. Оптимальная реализация линейных электронных схем / А.А. Ланнэ, Е.Д. Михайлова, Б.С. Саркисян, Я.Н. Матвийчук. – Киев: Наукова думка, 1982. – 208 с.
12. Захаров В.К., Лыпарь Ю. И. Электронные устройства автоматики и телемеханики: учебник. 3-е издание. Л.: Энергоатомиздат, 1984.
13. Лыпарь Ю.И. Синтез структур электронных устройств: учеб. пособие). – Л.: Издательство ЛПИ, 1983

**UNCERTAINTY ANALYSIS: DERIVATION OF METHODOLOGY
AND AUTOMATION WITH APPLICATION TO HYDRAULIC MOD-
ELLING RESULTS**

Swindon, UK, CH2M, kostyavasiliev@hotmail.com

Abstract. In this paper the author describes what uncertainty and uncertainty analysis are, why it is important to take uncertainty into account when presenting results of hydraulic model calculations. This paper also describes the methodology for uncertainty analysis proposed by the author and also the way this methodology was derived. In order to automate the calculations of uncertainty in the results in a hydraulic model, an additional MS Excel-based tool was developed – Flood Modeller Simulation Modification Tool. The description of the tool is provided in the paper. In addition the paper describes the preliminary results achieved and the proposed areas for further work.

Keywords: uncertainty analysis, hydraulic modelling, flood risk assessment, presentation of hydraulic model results

Introduction

According to [1] uncertainty is “what is not known precisely”. Extrapolating this definition onto the flood risk estimations the definition can be modified to say that uncertainty is “what is not known precisely” about some parameters used in calculation of the final result. Over the last decade uncertainty analysis has started to be used in engineering consultancy companies in the UK. Mainly the uncertainty analysis used in consultancy companies is based on calculation of probability of uncertainty, however there are other methods of calculating the uncertainty, example of which can be Fuzzy Logic.

According to the author’s experience of working on numerous flood risk management projects over the past decade the following belief stands behind the application of uncertainty analysis: “A client should be shown not only the results, but the interval of its uncertainty”. Nowadays it should be noted that the Environment Agency, the main governing body in the UK on environmental matters has started to investigate uncertainty. Example of this can be the work on freeboard calculation which the Environment Agency has commissioned to Mott MacDonald Limited and Risk and Policy Analysts Limited in 2000. According to Fluvial freeboard Guidance Note prepared by the above-mentioned contractors [2], freeboard is an allowance to take account of:

1. physical processes that affect the defence level, that have not been allowed for in the design water level;
2. adverse uncertainty in the prediction of physical processes that affect the defence level.

Up to this day uncertainty in flood risk mapping particularly for higher return periods has been acknowledged by major clients and consultancy companies. However, users of flood maps are usually presented with a single contour which represents the modeller's best estimate of the flood extent for a particular design event (i.e. the 1 in 100 year event). This can make interpreting and actually using the flood maps difficult (i.e. for development control), since the user has no idea whether or not land or developments just beyond the maximum extent would be within the extent if a slightly different set of parameters had been used (i.e. roughness, peak flow, timing of peaks etc) [3]. So the idea of mapping the uncertainty in flood extents has appeared.

Methodology

The methodology developed in the course of a flood risk management project in the UK contained a generic list of uncertainties that have to be taken into account and methods for assessing these uncertainties.

The uncertainties mentioned in the project could be separated into two groups: uncertainties in hydrological parameters and hydraulic parameters.

Uncertainties in hydrology consisted of uncertainty in determining the discharges in the river and uncertainty in determining the hydrograph timing.

Among the hydraulic parameters the uncertainty in determining the roughness coefficient (Manning's coefficient) and uncertainty in topography were considered.

The ways of assessing the uncertainties in these parameters were presented. For example, uncertainty in Manning's coefficient can be derived from ranges presented in [4] and according to CH2M's hydraulic modelling expertise can be partitioned into correlated and uncorrelated components. Uncertainty in estimating the elevation of the cross-sections has been considered as uncorrelated and modelled as uniformly distributed with a range of ± 25 cm, corresponding to the error in LIDAR.

The distributions of the water levels when uniform distributions of these parameters were used as an input for river modelling system simulation were derived by running 100 simulations for each parameter. This showed that most of the distributions of the water levels were log-normal.

At the start of this research there was a hypothesis that it is possible to find a simple method for calculating the uncertainty and later mapping it. The methodology suggests that it is possible with only doing two simulations to derive the uncertainty for a particular reach of the river. These two simulations should take the parameters as they are presented to the modellers ("unperturbed" state) and with maximum possible values (for that reach) of Man-

ning's coefficient, 84% percentile of the values of the discharge for that reach, 25 cm uncorrelated topographic noise and the hydrographs coinciding in time. 84 % percentile for the values of the discharge was chosen because it is equivalent to the mean with one standard deviation for normal distribution added. It should be noted that 50 % percentile would be the “unperturbed” value of the discharge. This percentile was chosen so that to take into account the high values of the flow due to the uncertainty of the estimation of the discharge.

Such assumption has been validated by carrying out 1000 simulations from the distributions of all of the parameters described above. These Monte-Carlo simulations provided a value for water level at each cross-section for each of the simulations. Thus it was possible to compile statistics for the water level based on 1000 values from the simulations. This provided enough data for estimation of extreme percentiles (5 and 95 % percentile) at each cross-section. This distribution of the water level after running the Monte-Carlo simulation was also log-normal. Therefore, it was possible to investigate the tails of the distributions, so that to analyse the extreme possible events due to the uncertainty of the parameters.

Analysis of the percentiles derived from the 1000 simulations and results for water levels obtained just from two simulations showed that there is a linear relationship between percentiles (measured relative to the median) found from the Monte-Carlo simulations and the difference between the “unperturbed” and “worst case” simulation. However more research is needed to see if this relationship holds by using different discharges in the Mimram model.

The investigation has been carried out on a small reach Mimram of a tributary of the river Lee in London. This reach has the desirable properties of a mixture of river and structure units (for example, weirs), is small (20 nodes) and has 2 input hydrographs (so time to peak sensitivity) can be tested).

The calculations for the simulations of a flow in the river were done by Flood Modeller [5], however for the modification of the parameters a special tool had to be developed.

Development of the Flood Modeller Simulation Modification Tool for Uncertainty Calculations

Background

While working on this research and development project there was a need to run 1000 Flood Modeller's 1D Solver simulations (1D hydrodynamic model for flood risk calculations) and also modify such parameters of the 1D river model as Manning's coefficient, elevation, discharge and time to peak. A special tool has been created to implement these modifications.

According to the Flood Modeller manual [6] there is an option for global change for Manning's coefficient, and elevation of cross-sections, but this option does not allow random changes in this parameter, i.e. one value can only be added or subtracted from the parameter. While deriving the methodology

required by the project it was needed to bring uncorrelated perturbations into this coefficient as well as elevation data and the value of the discharge and time to peak. So it was decided to develop a tool that would have the ability to implement all the actions related to modification of the 1D Solver file (.dat file) including those that are already implemented in Flood Modeller (i.e. global change of Manning's coefficient).

As there was a need to run lots of 1D Solver simulations in Flood Modeller and preparation of the 1D model in Flood Modeller (.ief file) takes some time, the idea of the tool was to also provide an option to automate the creation of the 1D Solver .ief files.

Description of the Modification Tool

The Flood Modeller Simulation Modification Tool is designed to create Flood Modeller .dat files with modified values (Manning, Elevation, Discharge). A .dat file is provided as an input information to the 1D hydrodynamic model – 1D Solver of Flood Modeller.

Modifications are made according to parameters of change defined by the user. The Tool also provides ability to run numerous 1D Solver simulations (based on modified 1D model .dat files) and process the results for maximum water elevation at the river section nodes of the provided 1D Model .dat file.

The core functionality of the 1D Solver Simulation Modification Tool:

1. Modification in 1D Model .dat files to values of
 - Manning's Coefficient (in RIVER SECTION unit)
 - Elevation (in RIVER SECTION unit)
 - Values of Q (in QTBDY unit) by changing the Q value and also shifting the Time To Peak values.

The amount of 1D Model .dat files produced is determined by the number of simulations required.

2. Creation of IEF files (1D Solver control files) with the predefined ISIS Event Details section and also creation of .bat file to run the required amount of ISIS simulations in batch mode.

3. Creation of .bat file to run TabularCSV tool in batch mode so that to extract the results of ISIS runs (.zzn files) into .csv files.

4. Importing the results with values of maximum stage from .csv files into an Excel worksheet Results.

Besides these functions the tool provides options for storing the parameters of change and other information (such as Time To Peak per each QTBDY, paths for the files produced in the course of modifications, ISIS simulations and runs of TabularCSV tool) with the purpose of viewing them later when results (maximum stage values) are analysed.

Sequence of actions to be taken while using the tool is shown on Figure 1.

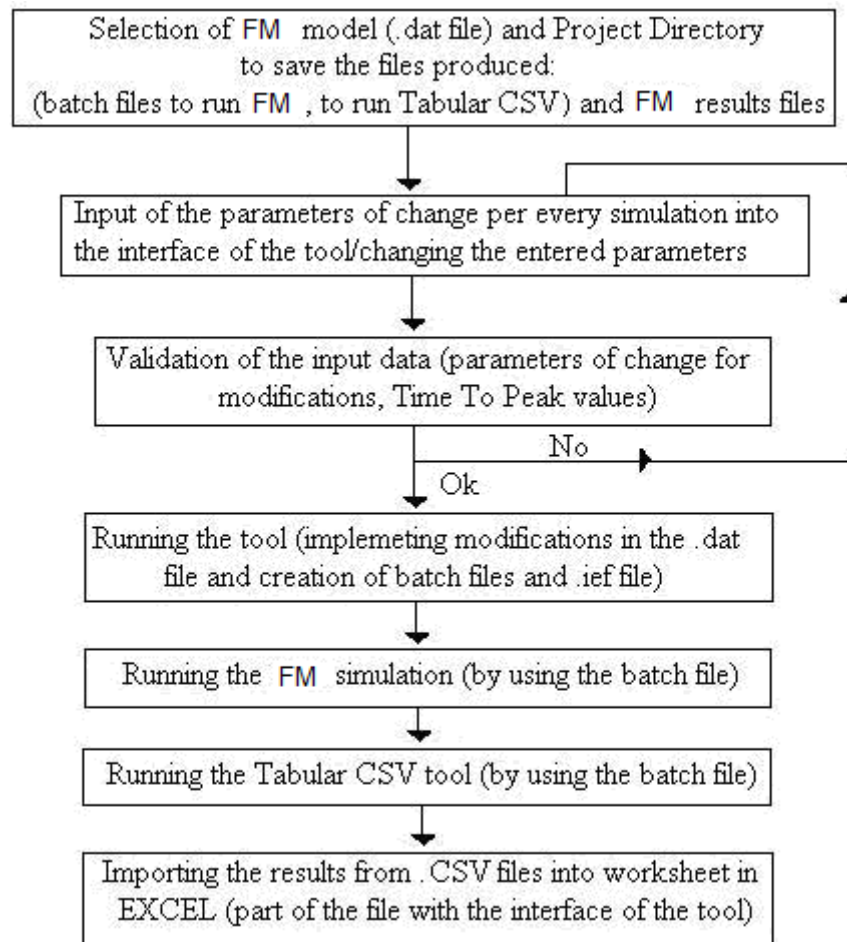


Figure 1. Sequence of actions for using the Flood Modeller (FM) Simulation Modification Tool

The modifications in given Flood Modeller .dat file are done in the following sequence:

1. Systematic additive modification for Manning's coefficient expressed by relative value (%);
2. Systematic additive modification for Manning's coefficient expressed by absolute value;
3. Random multiplicative modification for Manning's coefficient expressed by relative value (%);
4. Random multiplicative modification for Manning's coefficient expressed by absolute value;
5. Random additive modification for the value of elevation expressed by absolute value;
6. Systematic additive modification for the value of elevation expressed by absolute value;
7. Scale multiplicative modification for the value of discharge (Q) expressed by relative value (%);
8. Modification to time to peak (shift) expressed by relative value (%);

9. Modification to time to peak (shift) expressed by absolute value;

The parameters of change can be inserted into the tool in the same order as mentioned above (see Figure 2).

Uncertainty Analysis																																																																																																																																					
Select Model File: G:\Uncertainty\Test\Extid_FM9_SS1000YX.dat																																																																																																																																					
Select Project Directory: C:\Uncertainty Test																																																																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Mannings N</th> <th colspan="2">Elevation</th> <th colspan="2">QT Boundary</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Sim Id</th> <th colspan="2">Fixed Var.</th> <th colspan="2">Random Var.</th> <th colspan="2">Value Variations</th> <th colspan="2">Value Variation</th> </tr> <tr> <th>Percent</th> <th>Abs.</th> <th>Percent</th> <th>Abs.</th> <th>Rand.</th> <th>Abs.</th> <th>%Value</th> <th>%TP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>-5.359</td><td>0</td><td>30</td><td>0</td><td>0.25</td><td>0</td><td>68.203</td><td>19.455</td></tr> <tr><td>2</td><td>-0.673</td><td>0</td><td>30</td><td>0</td><td>0.25</td><td>0</td><td>85.404</td><td>-19.45</td></tr> <tr><td>3</td><td>-0.304</td><td>0</td><td>30</td><td>0</td><td>0.25</td><td>0</td><td>30.048</td><td>-8.716</td></tr> <tr><td>4</td><td>23.848</td><td>0</td><td>30</td><td>0</td><td>0.25</td><td>0</td><td>-8.891</td><td>4.3825</td></tr> <tr><td>5</td><td>-14.6</td><td>0</td><td>30</td><td>0</td><td>0.25</td><td>0</td><td>10.393</td><td>9.2434</td></tr> <tr><td>6</td><td>17.201</td><td>0</td><td>30</td><td>0</td><td>0.25</td><td>0</td><td>-16.59</td><td>-12.14</td></tr> <tr><td>7</td><td>-15.41</td><td>0</td><td>30</td><td>0</td><td>0.25</td><td>0</td><td>-29.29</td><td>-9.965</td></tr> <tr><td>8</td><td>-26.03</td><td>0</td><td>30</td><td>0</td><td>0.25</td><td>0</td><td>0.5857</td><td>-16.88</td></tr> <tr><td>9</td><td>-0.84</td><td>0</td><td>30</td><td>0</td><td>0.25</td><td>0</td><td>37.87</td><td>2.6935</td></tr> <tr><td>10</td><td>-19.45</td><td>0</td><td>30</td><td>0</td><td>0.25</td><td>0</td><td>-28.99</td><td>-18.74</td></tr> <tr><td>11</td><td>-24.91</td><td>0</td><td>30</td><td>0</td><td>0.25</td><td>0</td><td>26.87</td><td>12.275</td></tr> </tbody> </table>										Mannings N				Elevation		QT Boundary		Sim Id	Fixed Var.		Random Var.		Value Variations		Value Variation		Percent	Abs.	Percent	Abs.	Rand.	Abs.	%Value	%TP	1	-5.359	0	30	0	0.25	0	68.203	19.455	2	-0.673	0	30	0	0.25	0	85.404	-19.45	3	-0.304	0	30	0	0.25	0	30.048	-8.716	4	23.848	0	30	0	0.25	0	-8.891	4.3825	5	-14.6	0	30	0	0.25	0	10.393	9.2434	6	17.201	0	30	0	0.25	0	-16.59	-12.14	7	-15.41	0	30	0	0.25	0	-29.29	-9.965	8	-26.03	0	30	0	0.25	0	0.5857	-16.88	9	-0.84	0	30	0	0.25	0	37.87	2.6935	10	-19.45	0	30	0	0.25	0	-28.99	-18.74	11	-24.91	0	30	0	0.25	0	26.87	12.275
Mannings N				Elevation		QT Boundary																																																																																																																															
Sim Id	Fixed Var.		Random Var.		Value Variations		Value Variation																																																																																																																														
	Percent	Abs.	Percent	Abs.	Rand.	Abs.	%Value	%TP																																																																																																																													
1	-5.359	0	30	0	0.25	0	68.203	19.455																																																																																																																													
2	-0.673	0	30	0	0.25	0	85.404	-19.45																																																																																																																													
3	-0.304	0	30	0	0.25	0	30.048	-8.716																																																																																																																													
4	23.848	0	30	0	0.25	0	-8.891	4.3825																																																																																																																													
5	-14.6	0	30	0	0.25	0	10.393	9.2434																																																																																																																													
6	17.201	0	30	0	0.25	0	-16.59	-12.14																																																																																																																													
7	-15.41	0	30	0	0.25	0	-29.29	-9.965																																																																																																																													
8	-26.03	0	30	0	0.25	0	0.5857	-16.88																																																																																																																													
9	-0.84	0	30	0	0.25	0	37.87	2.6935																																																																																																																													
10	-19.45	0	30	0	0.25	0	-28.99	-18.74																																																																																																																													
11	-24.91	0	30	0	0.25	0	26.87	12.275																																																																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">QT Boundary Units</th> </tr> <tr> <th>QT Name</th> <th>QT TP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>R1(EB)</td><td></td></tr> <tr><td>EB3</td><td></td></tr> <tr><td>EB2</td><td></td></tr> <tr><td>T1(EB)</td><td></td></tr> <tr><td>EB1</td><td></td></tr> <tr><td>R1(ED)</td><td></td></tr> <tr><td>ED2</td><td></td></tr> <tr><td>ED1</td><td></td></tr> <tr><td>R1(DB)</td><td></td></tr> <tr><td>T1(DB)</td><td></td></tr> <tr><td>DB2</td><td></td></tr> </tbody> </table>										QT Boundary Units		QT Name	QT TP	R1(EB)		EB3		EB2		T1(EB)		EB1		R1(ED)		ED2		ED1		R1(DB)		T1(DB)		DB2																																																																																																			
QT Boundary Units																																																																																																																																					
QT Name	QT TP																																																																																																																																				
R1(EB)																																																																																																																																					
EB3																																																																																																																																					
EB2																																																																																																																																					
T1(EB)																																																																																																																																					
EB1																																																																																																																																					
R1(ED)																																																																																																																																					
ED2																																																																																																																																					
ED1																																																																																																																																					
R1(DB)																																																																																																																																					
T1(DB)																																																																																																																																					
DB2																																																																																																																																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">River Section Units</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>R1(ED)</td></tr> <tr><td>EBRY46</td></tr> <tr><td>EBRY45</td></tr> <tr><td>EBRY44</td></tr> <tr><td>EBRY43</td></tr> <tr><td>EBRY42</td></tr> <tr><td>EBRY40</td></tr> <tr><td>EY40BLd</td></tr> <tr><td>EBRY40c</td></tr> <tr><td>EY0L13</td></tr> <tr><td>EY0L12</td></tr> <tr><td>EY0L11</td></tr> </tbody> </table>										River Section Units		R1(ED)	EBRY46	EBRY45	EBRY44	EBRY43	EBRY42	EBRY40	EY40BLd	EBRY40c	EY0L13	EY0L12	EY0L11																																																																																																														
River Section Units																																																																																																																																					
R1(ED)																																																																																																																																					
EBRY46																																																																																																																																					
EBRY45																																																																																																																																					
EBRY44																																																																																																																																					
EBRY43																																																																																																																																					
EBRY42																																																																																																																																					
EBRY40																																																																																																																																					
EY40BLd																																																																																																																																					
EBRY40c																																																																																																																																					
EY0L13																																																																																																																																					
EY0L12																																																																																																																																					
EY0L11																																																																																																																																					

Figure 2. Interface of the Flood Modeller simulation modification tool showing the input fields for parameters of change in the order they are used during modifications.

If some of the parameters are not entered or set to 0, no modification is made with the respect to this parameter. If value of time to peak is set to 0, then no modification related to time to peak is made. If there is no parameter entered for the whole line then the previous line with any parameter entered will be considered as the one containing information for the last modification (i.e. there is no parameter entered in line 15, but there are parameters entered in lines 1-14 and 16 – 20, then only 14 Flood Modeller 1D Model .dat files will be released, parameters entered in lines 16-20 will not be taken into account).

An example of the tool's application to determining the distribution of water levels using a uniform distribution of Manning's coefficient as an input data is described in the Results section of this paper.

Results

In this section of the paper an example of the abilities of the Flood Modeller simulation modification tool is illustrated.

The example below illustrates the result of running Flood Modeller’s 1D Solver simulation with Manning’s coefficients in the chainages of each river section, changed by applying a random multiplicative modification to the values of Manning’s coefficient in the original 1D Solver Flood Model file of the Mimram reach of the river Lee in London.

Figure 3 shows the values of water level in one node (cross-section Mim 14) obtained as a result of such simulations. Figure 4 shows the histogram of the frequency of the water levels in the same node.

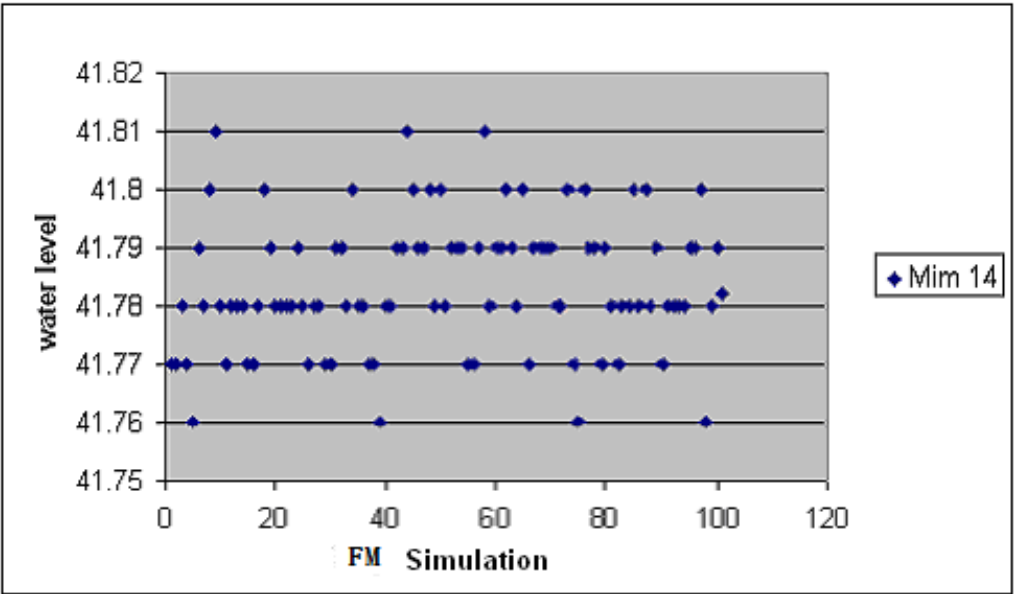


Figure 3. Results of the water elevation at one node (Mim 14) obtained in the course of 100 1D model simulations of Mimram reach of the river Lee in London with values of Manning’s coefficient, obtained by random multiplicative modification of the values in the original model file.

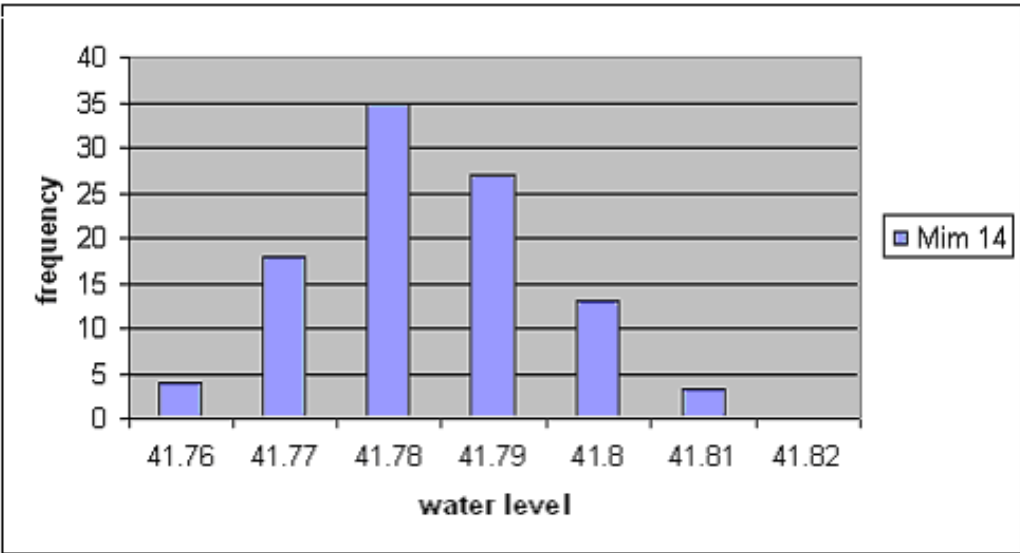


Figure 4. Histogram of frequency of water level values at one node (Mim 14) obtained from 100 1D simulations with Manning’s coefficients obtained after a random multiplicative modification of the Manning’s coefficients of the original model.

It has to be noted that the distribution of the Manning's coefficient used for the input of the 1D Model was uniform, however as seen by the Figure 4 the distribution of the values of water level obtained as a result is log – normal. This means that supply of the normal distribution of the input parameter produces the log-normal distribution of the water level.

The developed tool was capable of supporting the same analysis for other parameters: elevation, discharge and time to peak. As mentioned earlier, the distributions of the water level obtained were obtained, which helped to understand the influence of the distribution of each parameter onto the distribution of the water level obtained from Flood Modeller.

Further research in this area can be carried out. The work needs to be generalized further by using different discharges in the Mimram model, the linear relationships should be applied and validated on all test cases. And the uncertainty should be illustrated on a flood map of a flood risk management project using the latest advancements in visualization of hydraulic model results.

Conclusion

With the increase of the application of the Uncertainty Analysis in consultancy projects it is expected that the functionality of the tool to bring random changes to Manning's coefficient, elevation of a chainage of a cross-section and changes to the discharges will be incorporated in Flood Modeller in its future releases.

Flood Modeller's 1D Solver lacked the functionality of bringing random changes to Manning's coefficient and elevation, so an additional tool was developed that eventually combined all the necessary functionality for modifications of the original Flood Modeller's 1D data file. Moreover, the tool was building up on the Flood Modeller's functionality of running in the batch mode and converting the results into .csv format. The development of the Flood Modeller simulation modification tool is a good example of the adjustment of the existing tool to the needs of a consultancy project. The modification tool has been adjusted to include the random change functionality in addition to the global change one already available.

Reference

1. Booker, J.M., Ross, T.J. (2011). An evolution of uncertainty assessment and estimation. *Scientia Iranica*. Volume 18, Issue 3, June 2011, Pages 669-676.
2. Kirby, A.M., Ash, J.R.V. (2000). *Fluvial Freeboard Guidance Note*. Research and Development Technical Report W187. Research contactors: Mott MacDonald Ltd, Risk and Policy Analysts Ltd. Environment Agency.
3. Horritt, M. (2007). *Proposal – Representing Uncertainty in Flood Extents*. Halcrow Group Ireland Limited.
4. Chow, V. T. (1959) *Open Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill.

5. The web site www.floodmodeller.com. Accessed 13th May 2016.
6. Flood Modeller v 4.1.1 Manual (2015). CH2M HILL

УДК 532.516

Сорокина Наталья Владимировна,
аспирант

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ВОЗМУЩЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ ПО ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ТРУБЕ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Россия, snv_special@inbox.ru

Аннотация: В этой статье даётся аналитическое решение дифференциального уравнения, описывающего течение вязкой несжимаемой жидкости по прямолинейной трубе круглого сечения, с одним возмущающим параметром. Возмущение вводится в уравнение через возмущение вязкости, зависящей от температуры. Решение соответствующего дифференциального уравнения ищется в виде ряда по малому параметру. Таким образом, исследуется реакция потока на внутреннее возмущение. Представленное в данной статье решение даёт возможность в дальнейшем проанализировать влияние температуры на движение вязкой слабо сжимаемой жидкости в трубе. Данное исследование может представлять интерес в задачах управления потоками углеводородов по магистральным трубопроводам.

Ключевые слова: нестационарная гидродинамика, однопараметрическое возмущение, переменная вязкость, несжимаемая жидкость, трубопровод, математическое моделирование.

Natali Sorokina
postgraduate

THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF ONE-PARAMETER PERTURBATION OF THE VISCOUS INCOMPRESSIBLE LIQUID MOTION THROUGH STRAIGHT ROUND PIPE

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Russia
snv_special@inbox.ru

Abstract: In this paper the analytical solution of the differential equation, describing viscous incompressible liquid motion through straight round pipe, with one perturbation parameter is given. The perturbation is introduced

into the equation through the disturbed viscosity, depending on the temperature. The solution of the corresponding differential equation is sought in the form of a series in the small parameter. Thus the flow reaction to the internal disturbance is studied. The solution, presented in this article, gives an opportunity to further studying the temperature impact on a viscous weakly compressible liquid motion through a pipe. This research may be of interest to the problems of hydrocarbons control flow through main pipelines.

Sorokina **Keywords:** non-stationary hydrodynamics, one-parameter perturbation, variable viscosity, incompressible liquid, pipeline, math modeling

1. Введение

Гидродинамические уравнения, описывающие движение вязкой жидкости по трубе, содержат такие параметры как динамическая вязкость жидкости и её плотность. Ранее автором была решена задача о нестационарном течении вязкой несжимаемой жидкости по цилиндрической трубе круглого сечения при постоянных вязкости и плотности [1,2]. Однако, эти условия для практических задач оказываются слишком строгими.

Динамическая вязкость в общем случае не является постоянной: она зависит от температуры. Кроме того, реальные углеводороды часто оказываются слабо сжимаемыми средами. В настоящей работе решается задача, которая в перспективе позволит учесть влияние сжимаемости и переменной вязкости при движении реальных углеводородов по трубопроводам.

Чаще всего изменение вязкости можно характеризовать некоторым малым параметром. Например, при изменении температуры во многих случаях можно считать справедливой следующую формулу [3]:

$$\mu = \mu_0 (1 + \alpha (T - T_0)),$$

где μ_0 – динамическая вязкость жидкости при температуре T_0 , α – некий малый параметр, зависящий от вещества. Данное соотношение имеет место для малых интервалов температур. В данной работе возможное малое изменение вязкости представим в виде

$$\mu = \mu_0 (1 + \alpha), \quad \alpha \ll 1. \quad (1)$$

2. Постановка задачи

Уравнение, которое описывает одномерное движение вязкой жидкости по трубе круглого сечения радиуса R , имеет вид:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} \right). \quad (2)$$

Начальные условия представляют собой начальное распределение скоростей по сечению трубы: $v(0, r) = \varphi(r)$; краевые условия обусловлены «прилипанием» жидкости к стенкам: $v(t, R) = 0$. В настоящей работе пренебрегаем нестационарными условиями на концах трубопровода, и поэтому имеем однородное дифференциальное уравнение.

Принимая во внимание выражение (1), запишем уравнение (2) в безразмерном виде:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = (1 + \alpha) \left(\frac{\partial^2 u}{\partial \eta^2} + \frac{1}{\eta} \frac{\partial u}{\partial \eta} \right), \quad (3)$$

где $u(\tau, \eta)$ – безразмерная скорость; τ – безразмерное время; η – безразмерная радиальная координата. Начальные и граничные условия принимают вид $u(0, \eta) = \tilde{\varphi}(\eta)$ и $u(\tau, N) = 0$ соответственно [1].

Построим решение уравнения (3) и оценим влияние на него постоянного малого параметра α . Функцию $u(\tau, \eta)$ будем искать в виде асимптотического разложения $u(\tau, \eta, \alpha) \approx \sum_{n=0}^{\infty} u_n(\tau, \eta) \cdot \alpha^n$, ограничиваясь тремя слагаемыми и считая α достаточно малым [4,5]:

$$u(\tau, \eta, \alpha) = u_0(\tau, \eta) + u_1(\tau, \eta) \cdot \alpha + u_2(\tau, \eta) \cdot \alpha^2. \quad (4)$$

3. Результаты

Подставим в уравнение (3) вместо $u(\tau, \eta)$ её разложение по параметру (4). Тогда для определения коэффициентов разложения $u_0(\tau, \eta)$, $u_1(\tau, \eta)$ и $u_2(\tau, \eta)$ получаем систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial u_0}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 u_0}{\partial \eta^2} + \frac{1}{\eta} \frac{\partial u_0}{\partial \eta}, \quad u_0(0, \eta) = \tilde{\varphi}(\eta), u_0(\tau, N) = 0, \\ \frac{\partial u_1}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 u_1}{\partial \eta^2} + \frac{1}{\eta} \frac{\partial u_1}{\partial \eta} + \frac{\partial^2 u_0}{\partial \eta^2} + \frac{1}{\eta} \frac{\partial u_0}{\partial \eta}, \quad u_1(0, \eta) = 0, u_1(\tau, N) = 0, \\ \frac{\partial u_2}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 u_2}{\partial \eta^2} + \frac{1}{\eta} \frac{\partial u_2}{\partial \eta}, \quad u_2(0, \eta) = 0, u_2(\tau, N) = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Решая дифференциальные уравнения, входящие в представленную систему, методом Фурье, получаем:

$$u_0(\tau, \eta) = \int_0^N G(\eta, \xi, \tau) \cdot \tilde{\varphi}(\xi) d\xi, \quad (6)$$

$$u_1(\tau, \eta) = \int_0^{\tau} \int_0^N G(\eta, \xi, \tau - \sigma) \cdot f(\tau, \xi) d\xi d\sigma, \quad (7)$$

$$u_2(\tau, \eta) = - \int_0^\tau \int_0^\sigma \int_0^N G(\eta, \xi, \sigma - s) \cdot f(s, \xi) d\xi ds d\sigma, \quad (8)$$

где

$$G(\eta, \xi, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\xi e^{-\frac{\mu_n^2}{N^2}\tau}}{N^2 (J_1(\mu_n))^2} J_0\left(\frac{\mu_n}{N}\eta\right) J_0\left(\frac{\mu_n}{N}\xi\right),$$

$$f(\tau, \xi) = - \int_0^N \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2\xi e^{-\frac{\mu_n^2}{N^2}\tau} \mu_n^2}{N^4 (J_1(\mu_n))^2} J_0\left(\frac{\mu_n}{N}\xi\right) J_0\left(\frac{\mu_n}{N}\zeta\right) \tilde{\varphi}(\zeta) d\zeta.$$

Для пересчёта $u(\tau, \eta, \alpha)$ в $v(t, r, \alpha)$ используются так называемые характерные величины: кинематическая вязкость жидкости $\nu_0 = \frac{\mu_0}{\rho}$ и характерный размер трубопровода – диаметр [1]. В качестве начальных условий примем распределение Пуазейля [3].

Перепишем выражение (4) для $v(t, r, \alpha)$:

$$v(t, r, \alpha) = c_0(t, r) + c_1(t, r) \cdot \alpha + c_2(t, r) \cdot \alpha^2,$$

и построим графики коэффициентов её разложения (рис.1,2,3).

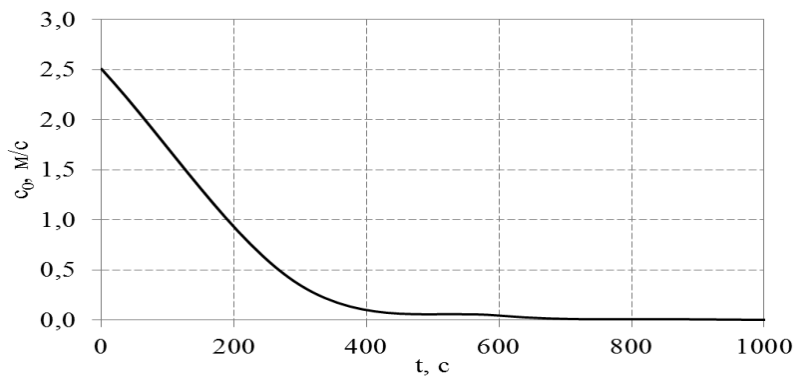


Рис. 1. График зависимости c_0 от времени при $r=0$

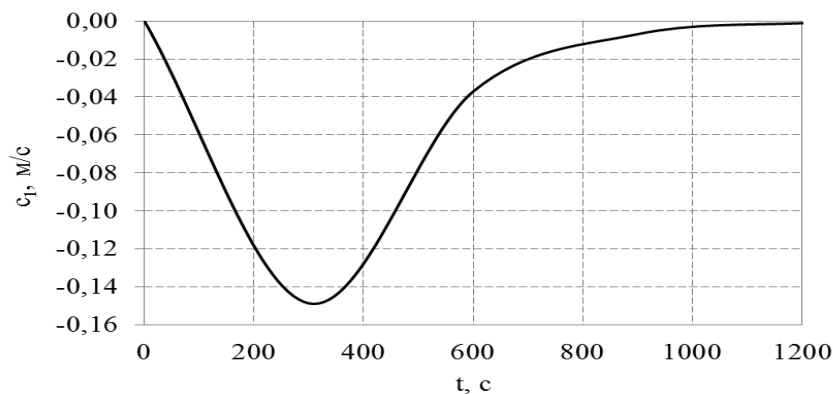


Рис. 2. График зависимости c_1 от времени при $r=0$

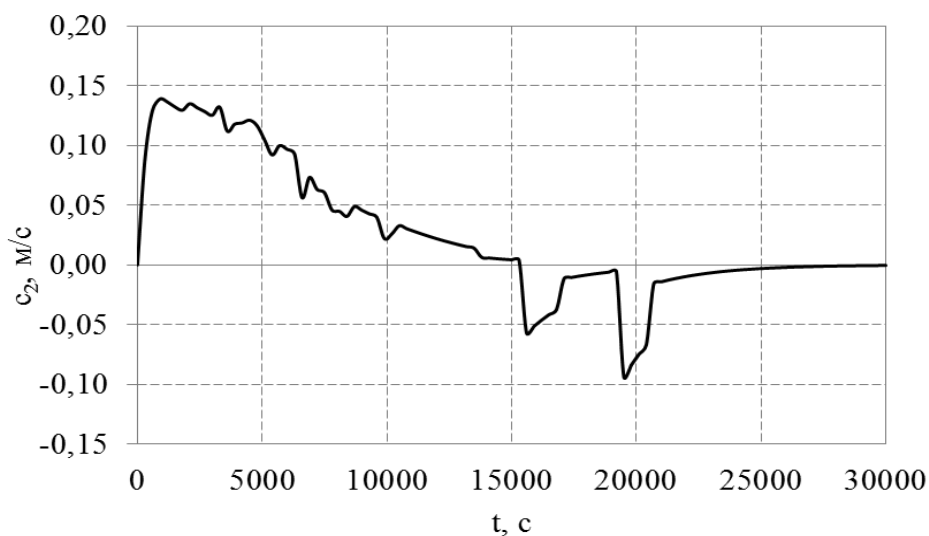


Рис. 3. График зависимости c_2 от времени при $r=0$

Как видно из графиков выше, главный коэффициент разложения – c_0 – в 10 раз больше c_1 и c_2 , поэтому можно сделать вывод о том, что второе и третье слагаемое в разложении функции $\nu(t, r, \alpha)$ незначительно влияют на её величину.

Далее приведём решение для трёх вариантов значения параметра α : 0,1, 0,01 и 0,001.

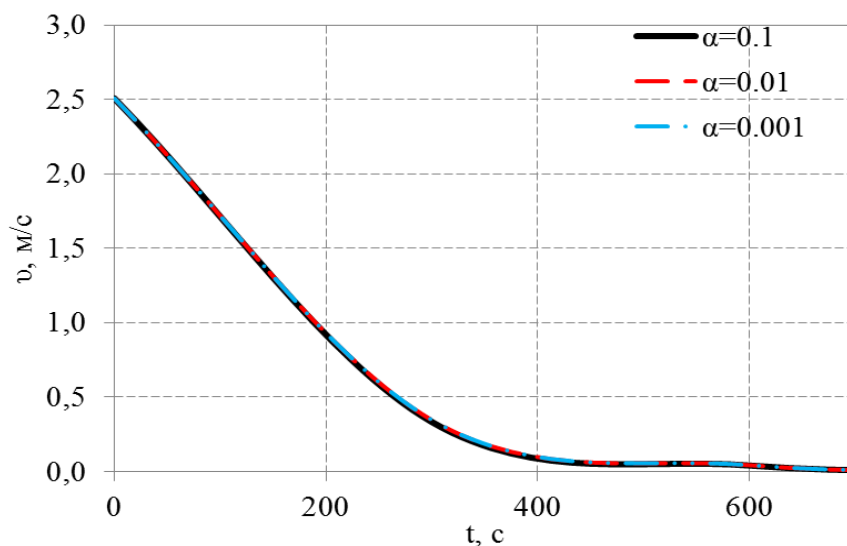


Рис. 4. График зависимости скорости жидкости ν от времени при $r=0$ для трёх различных значений параметра α

Ниже приведём графики разности между $\nu_1 = \nu(t, r, 0.1)$, $\nu_2 = \nu(t, r, 0.01)$ и $\nu_3 = \nu(t, r, 0.001)$ (рис.5).

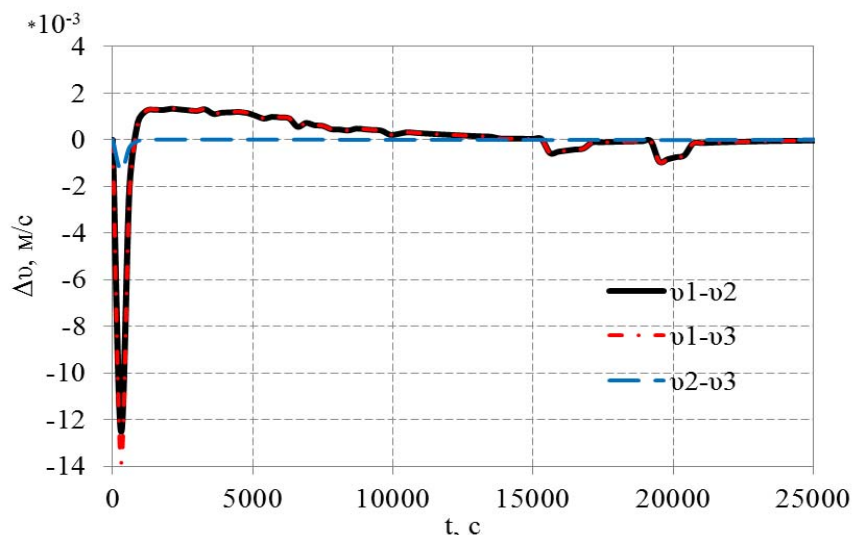


Рис. 5. График отклонения между скоростями на оси трубы, вычисленными для разных значений параметра α , в зависимости от времени

На рис.4 хорошо видно, что при трёх различных α , отличающихся на порядок, величина скорости жидкости на оси трубопровода заметно не меняется. Максимальная величина отклонения между v_1 и v_2 , и между v_1 и v_3 имеет порядок коэффициентов $c_1(t, r)$ и $c_2(t, r)$ (рис.5). Значения скоростей, полученные при $\alpha = 0.01$ и $\alpha = 0.001$, практически не отличаются.

4. Заключение

В статье представлено решение задачи об однопараметрическом возмущении движения вязкой несжимаемой жидкости по прямолинейной трубе круглого сечения. Полученные результаты позволяют говорить о том, что наличие одного постоянного малого параметра не оказывает существенного влияния на поведение решения соответствующего дифференциального уравнения. В дальнейшем это поможет исследовать влияние переменной вязкости на течение при нестационарных условиях на концах трубы.

Список литературы

1. Сорокина Н., Фирсов А. Задача о движении вязкой несжимаемой жидкости по цилиндрической трубе круглого сечения с нестационарными краевыми условиями. – III international scientific and technical conference “Technics. Technologies. Education. Safety”: Proceedings, Vol.2, 28-29 May 2015, С.9-10
2. Sorokina, N.V., Firsov, A.N. Flow analysis of viscous incompressible liquid through pipes in non-stationary edge conditions. – in: European Science And Technology: materials of the V international research and practice conference, Vol.1, October 3rd – 4th, 2013, Munich, P. 286 – 292
3. Валландер, С.В. Лекции по гидроаэродинамике. Учеб. пособие. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1973, 296 с.

4. Nayfeh, A.H. Introduction to perturbation techniques. – John Wiley & Sons, 1981
5. Hinch, E.J. Perturbation methods. – Cambridge University Press, 1991, 160 p.

УДК 532.5; 681.5.01

Кузнецова Лидия Валерьевна¹,
Магистр, аспирант,
Фирсов Андрей Николаевич²,
Д-р техн. наук, профессор

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ЧАСТИЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТВЕРДОГО ТЕЛА В ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, ¹lida.kuznetsova@gmail.com; ²anfirs@yandex.ru

Аннотация. Эта статья содержит в себе аналитический и численный анализ математической модели синтеза управления твердым телом, всплывающим в несжимаемой вязкой среде. Полагается, что тело не имеет собственных движителей, но оснащено управляемыми рулями – крыльями конечного размаха. Оно всплывает под действием силы Архимеда и подъемной силы крыльев.

Ключевые слова: движение твердого тела в жидкости, управление движением, выталкивающая сила, достижение заданной точки, крыло конечного размаха, подъемная сила крыла.

Lidiia V. Kuznetsova¹,
Master of Science, Postgraduate student,
Andrey N. Firsov²,
Doctor of Technical Sciences, Professor

THE SOLUTION OF THE SYNTHESIS PROBLEM OF PARTIAL MOTION CONTROL OF A RIGID BODY IN AN INCOMPRESSIBLE VISCOUS FLUID

Saint Petersburg, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University,
¹lida.kuznetsova@gmail.com; ²anfirs@yandex.ru

Abstract. The report presents an analytical and numerical analysis of mathematical model of the control synthesis of a solid body moving in an incompressible viscous fluid. It is assumed that the body does not have its own propulsion system, but is equipped with controlled rudders - wings of finite span. It pops up under the influence of the buoyancy force and wings lift.

Keywords: motion of solids in a fluid, traffic control, buoyancy force, ensuring access to the given point, wings of finite span, wings lift

1. Введение

Эффективность наблюдений и измерений, получаемых при исследовании подводного мира с помощью подводных, в частности, беспилотных, аппаратов, во многом зависит от минимизации степени влияния этих подводных аппаратов на окружающую подводную среду. В первую очередь, это относится к движущимся аппаратам, перемещение которых осуществляется посредством тех или иных энергетических установок (гребной винт или иной движитель). Таким образом, снижение или исключение подобного влияния представляет собой важную прикладную задачу. Очевидно, что идеальным вариантом было бы полное отсутствие двигателя. А это значит, что управление движением подобного тела может осуществляться только за счет естественных гидродинамических сил (например, силы Архимеда или эффекта подъемной силы крыла, которым можно оснастить рассматриваемый объект). Основную терминологию и классические результаты, касающиеся движения тел в сплошной среде, можно найти, например, в книгах [1,2].

2. Математическая модель

Рассматривается большой водоем конечной глубины, заполненный идеальной несжимаемой нетеплопроводной стратифицированной жидкостью. Предполагается, что слои разной плотности, которую считаем известной. Кроме того, жидкость в каждом слое водоема может двигаться прямолинейно и равномерно вдоль горизонтальной оси.

В этой работе будем рассматривать случай двумерного движения подводного аппарата, который в начальный момент времени находится в неподвижном состоянии на заданной глубине (см. рис. 1).

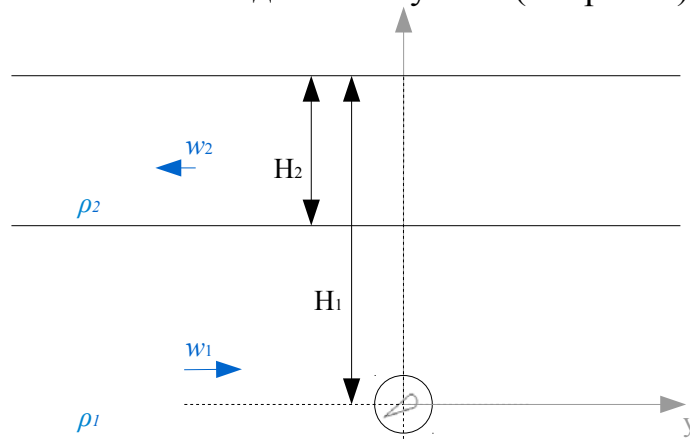


Рис. 1. Схема двуслойной сплошной среды.

В качестве подводного аппарата предлагается рассматривать однородное шарообразное тело, оборудованное двумя одинаковыми крыльями-

ми, симметрично расположенными относительно центра шара (см. рис. 2).

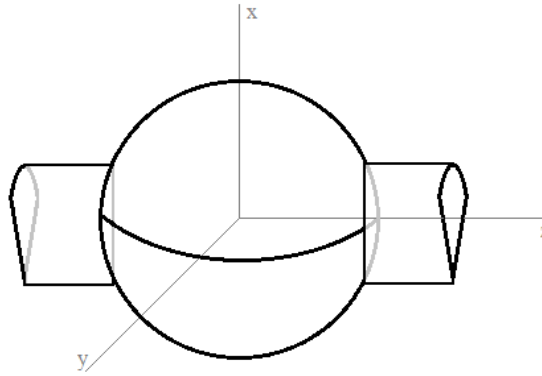


Рис. 2. Схематичное изображение подводного аппарата.

В предыдущей работе авторов [3] была построена математическая модель плоского движения такого подводного аппарата, допускающая управление аппаратом через изменение угла атаки крыльев:

$$\begin{cases} \left(m + \frac{2}{3} \rho \pi R^3 \right) \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{arch} - 2F_i \cos \delta - (F_{drag}^{(1)} + 2F_{drag}^{(2)}) \cos \delta - 2F_{lift} \sin \delta - F_g, \\ \left(m + \frac{2}{3} \rho \pi R^3 \right) \frac{d^2 y}{dt^2} = -2F_i \sin \delta - (F_{drag}^{(1)} + 2F_{drag}^{(2)}) \sin \delta - 2F_{lift} \cos \delta. \end{cases}$$

F_{arch} – выталкивающая сила, $F_{drag}^{(j)} = C_X^{(j)} S^{(j)} \frac{\rho v^2}{2}$ – сила лобового сопротивления шара ($j=1$) и крыльев ($j=2$), $F_{lift} = \rho v^2 S \frac{k\alpha}{1 + \mu_0}$ – подъемная сила

крыла, $F_i = \frac{\rho}{2} v^2 S \frac{\mu_0}{2k} \left(\frac{2k\alpha}{1 + \mu_0} \right)^2$ – сила индуктивного сопротивления (подробности см. в [3]).

Настоящая работа посвящена анализу построенной математической модели с точки зрения возможности управления траекторией всплытия аппарата. При этом необходимо оценить, в какой мере изменения параметров, которые можно варьировать, приводят к изменению траектории движения соответствующего объекта.

Как правило, при расчетах принимается предположение о малости угла атаки [4]. Мы так же примем это предположение. Малость угла атаки влечет малость угла δ и, следовательно, можно принять $\sin \delta \approx \delta$, $\cos \delta \approx 1$.

Используя замену переменных

$$\begin{aligned} x &= z_1 & y &= z_3 \\ \dot{x} &= \dot{z}_1 = z_2 & \dot{y} &= \dot{z}_3 = z_4 \end{aligned}$$

исходную математическую модель приводим к нелинейной системе дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{z}_1 = z_2 \\ \dot{z}_2 \cdot b_0 = b_1 - (b_2 \cdot \alpha^2 + b_3 + 2b_4) \cdot (z_2^2 + z_4^2) - 2b_5 \cdot \alpha \cdot z_4 \sqrt{z_2^2 + z_4^2} \\ \dot{z}_3 = z_4 + w \\ \dot{z}_4 \cdot b_0 = -(b_2 \cdot \alpha^2 + b_3 + 2b_4) \cdot z_4 \cdot (z_2^2 + z_4^2) + 2b_5 \cdot \alpha \cdot z_4 \sqrt{z_2^2 + z_4^2} \end{cases}, \quad (1)$$

где коэффициенты определяются как:

$$\begin{aligned} b_0 &= m + \frac{2}{3} \rho \pi R^3, & b_1 &= \rho \pi v - mg, & b_2 &= \rho S_{kp} \frac{2k\mu_0}{(1+\mu_0)^2}, & b_3 &= C_{0\_sph} \frac{\rho \pi R^2}{2}, \\ b_4 &= C_{0\_w} \frac{\rho S_w}{2}, & b_5 &= \rho S_{kp} \frac{k}{1+\mu_0}. \end{aligned}$$

Варьируя значение угла атаки α , можно корректировать траекторию движения подводного аппарата. В качестве примера рассмотрим три случая:

- 1) Нулевой угол атаки.
- 2) Угол атаки – постоянная малая константа, не равная нулю.
- 3) Кусочно-постоянное значение угла атаки.

Если H_1 – глубина первоначального погружения тела, а H_2 – толщина второго слоя, то, принимая начальные условия нулевыми, из (1) получаем искомый вектор перемещения аппарата в придонном слое. Во втором слое расчеты проводятся аналогичным образом с соответствующей заменой начальных условий.

2.1 Численные эксперименты

Для иллюстрации приведем следующий пример расчета, выполненного на основании сформированных уравнений (1). Используем программный продукт MATLAB 7.10.0 (R2010A).

На рис. 3 представлены траектории движения подводного аппарата для различных углов атаки в двуслойной жидкости с разнонаправленными течениями, когда $\vec{w}_1 \uparrow \downarrow \vec{w}_2$.

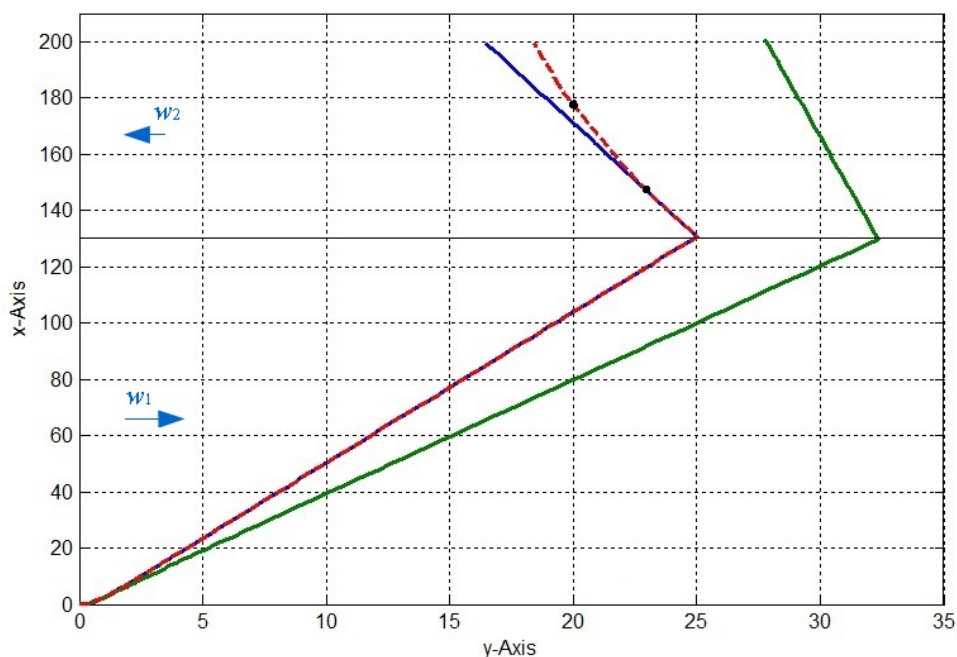


Рис. 3. Траектории движения подводного аппарата для различных углов атаки: синим цветом для нулевого угла атаки; зеленым – для угла атаки в 0.2 рад.; красным – для кусочно-постоянного значения угла атаки (изначально $\alpha=0$, во втором слое при достижении координаты $y=23$ $\alpha=0.1$, а при достижении координаты $y=20$ $\alpha=0.2$).

На рис. 4 представлена траектория движения подводного аппарата в однородной жидкости без сдвиговых течений при кусочно-постоянном значении угла атаки. Принцип изменения угла атаки см. в таблице 1.

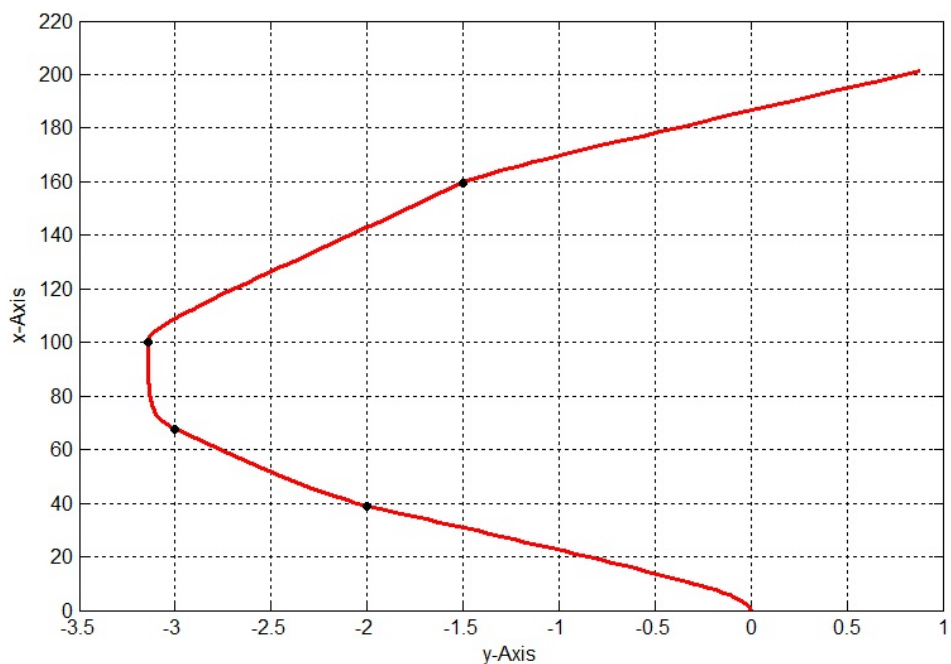


Рис. 4. Траектория движения подводного аппарата при кусочно-постоянном значении угла атаки в однородной жидкости.

Таблица 1. Изменение значений угла атаки.

Значение угла атаки	Условие смены угла атаки
$\alpha = -0.2$	$y = -2$
$\alpha = -0.1$	$y = -3$
$\alpha = 0$	$x = 100$
$\alpha = 0.1$	$y = -1.5$
$\alpha = 0.2$	$x = 200$, т.е. аппарат всплыл

В примерах приняты следующие значения величин: диаметр всплывающего объекта (шара) равен 1 метру, его масса рассчитывается как $m = 0.98\rho V$, где ρ – усредненная плотность тела. Рассматриваем прямоугольные крылья с размахом 1 м, удлинением 5 и относительной максимальной толщиной 16%. Пусть изначально аппарат находился на глубине $H_1 = 200$ м. Глубину второго слоя H_2 положим равной 70 м, плотности жидкости в слоях равны $\rho_1 = 1050$ кг/м³ и $\rho_2 = 1025$ кг/м³; сдвиговые течения имеют скорости $|\vec{w}_1| = 0.15$ м/с и $|\vec{w}_2| = 0.1$ м/с соответственно.

Выводы

В данной работе дан алгоритм расчета траектории движения подводного аппарата, всплывающего под воздействием силы Архимеда и эффекта подъемной силы крыла.

Проанализирована возможность управления движением этого аппарата по углу атаки. Остается открытым вопрос об оптимальных форме и размерах крыльев для достижения наилучшего управления.

Список литературы

1. Валландер С. В. Лекции по гидроаэродинамике. – Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 1978. 296 с.
2. Кочин Н. Е., Кибель И. А., Розе Н. В. Теоретическая гидромеханика. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1963. Тт. 1-2
3. Firsov A. N., Kuznetsova L. V., Sorokina N. V. The solution of the inverse problem of motion control of a rigid body, pop-up in a stratified incompressible viscous fluid under the influence of the Archimedes force // Scientific Proceedings of the Scientific-Technical Union of Mechanical Engineering (Bulgaria) – Year XXIII. Vol. 23/186. Sept. 2015 – P. 3-7.
4. Мартынов А. К. Экспериментальная аэродинамика. - М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1950. 475 с.

*Дюфур Михаил Сергеевич*¹

Канд. геолого-минералогических наук, доцент,

*Игнатъев Михаил Борисович*²,

Д-р техн. наук, профессор,

*Катермина Татьяна Сергеевна*³,

Канд. техн. наук, старший преподаватель,

*Коновалов Михаил Александрович*⁴,

Канд. техн. наук, начальник департамента,

*Ненашев Вадим Александрович*²,

аспирант,

*Примаков Дмитрий Анатольевич*⁴,

начальник отдела,

*Шепета Александр Павлович*²

Д-р техн. наук, профессор

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛИТОСФЕРНОЙ ПОГОДЫ

¹Санкт-Петербургский государственный университет,

²Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,

³Нижевартовский государственный университет,

⁴Российский институт радионавигации и времени; ignatmb@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается проблема прогнозирования литосферной погоды по аналогии с прогнозированием атмосферной и космической погоды. Прогнозирование литосферной погоды осуществляется путем моделирования движения литосферных плит и террейнов и сопоставлением точных реальных координат реперных точек с модельным представлением. Система прогнозирования должна состоять из блока моделирования, блоков измерения реального положения реперных точек и блока учета дополнительных факторов, влияющих на литосферную погоду, экстремальными проявлениями которой являются землетрясения. Создание реально действующей системы прогнозирования литосферной погоды является глобальной проблемой и требует широкого международного сотрудничества на основе интенсивного использования данных.

Ключевые слова: моделирование движения литосферных плит, террейны, прогнозирование, информационно-вычислительные системы, литосферная погода.

Mikhail S. Dufour,¹
PhD in Geology Sciences, associate professor,
Mikhail B. Ignatyev²,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Tatiana S. Katermina³,
PhD in Technical Sciences, Senior lecturer,
Mikhail A. Konovalov⁴,
PhD in Technical Sciences, Head of Department,
Vadim A. Nenashev²,
post-graduate student,
Dmitriy A. Primakov⁴,
Head of Department,
Aleksand P. Shepeta²
Doctor of Technical Sciences, professor

SYSTEM ANALYSIS OF PROBLEM OF LITHOSPHERIC WEATHER FORECASTING

¹ St. Petersburg, St. Petersburg state university, ²St. Petersburg, St. Petersburg state university of aerospace instrumentation, ignatmb@mail.ru,
³Nisnevartovsk, Nisnevartovskij state university, ⁴ Russian institute of radi-navigation and time, ignatmb@mail.ru

Abstract. The problem of forecasting of lithospheric weather is considered by analogy with forecasting of atmospheric and space weather. Forecasting of lithospheric weather is realized by means of comparison of the exact real coordinates of reper points with result of modeling. The forecasting system must consist of block of simulation, blocks of measuring of the real position of reper points and block of account of additional factors, influencing on lithospheric weather, the extreme displays of that are earthquakes. Creation of the really operating system of forecasting of lithospheric weather is a global problem and requires wide international cooperation on the basis of the intensive use of data.

Keywords: simulation of movement of lithospheric plates, terrains, forecasting, information-calculating systems, lithospheric weather.

Введение. В настоящее время наблюдается усиление изменений природной среды[1] и созрела необходимость обобщения обширной информации, которой располагают различные науки о Земле на основе интеллектуальных информационно-вычислительных систем[2], что позволит улучшить прогнозирование изменений природной среды. В настоя-

щее время сложилось представление о погоде как о целостном комплексе природных явлений и прогнозирование атмосферной погоды опирается на развитую систему метеостанций на Земле и в космосе, объединенных глобальной информационной системой с суперкомпьютерами, сложилось представление и о космической погоде. В настоящее время складывается представление о литосферной погоде, как о состоянии литосферы в данный момент.

Литосфера – это внешняя жесткая оболочка Земли, включающая земную кору и верхнюю часть мантии. Под ней располагается пластичная оболочка – астеносфера. Литосфера разбита на крупные блоки, разделенные разломами, эти блоки называются литосферными плитами. Они, как правило, включают участки как с континентальной, так и океанической корой. Выделяются 7 или 8 крупных литосферных плит и 6 плит среднего размера [3, рис.2.3.1], а также значительное количество микроплит (террейнов)[5]. Литосферные плиты непрерывно перемещаются по поверхности астеносферы [4]. Сейчас движение плит подтверждено прямыми измерениями их скорости методами интерферометрии и с помощью спутниковых навигационных систем [8-10].

Чтобы получить картину движения литосферных плит на всем земном шаре и определить места со слабыми или сильными тектоническими явлениями, необходимо точно определять координаты реперных точек. Эту задачу позволяют решить современные спутниковые локационные системы (Глонасс, GPS). Локационные спутниковые системы ведут обзор земной поверхности для формирования локационного изображения (ЛИ). Для формирования локационных изображений используются данные с прибора локационной станции (ЛС) с синтезированной апертурой (SAR).

Радиолокационное синтезирование апертуры (РСА) — это способ, который позволяет получать локационные изображения земной поверхности и находящихся на ней объектов.

Преимуществом является возможность получения данных независимо от метеорологических условий и уровня естественной освещенности местности с детальностью, сравнимой с аэрофотоснимками. Данные, получаемые в микроволновом радиодиапазоне, служат источником уникальной информации о подстилающей земной поверхности. Они позволяют определять смещения с высокой точностью, что является альтернативой дорогостоящим и трудозатратным наземным измерениям.

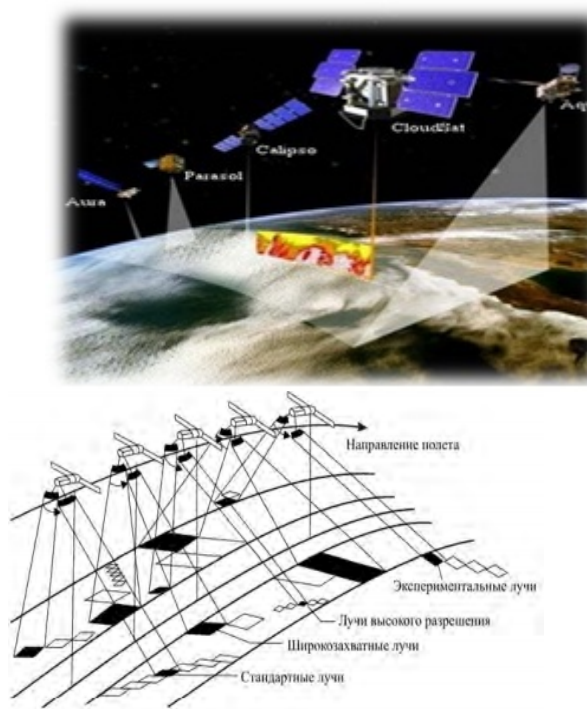


Рис. 1. Система спутников-SAR

Технология спутников-SAR (рис. 1) является сложной системой, где итоговое локационное изображение формируется на основе данные со всех спутников системы.

В нашей задаче необходимо вести максимально точный мониторинг хотя бы трех реперных точек расположенной на одной плите.

Последующий анализ осуществляется в комплексе со всей имеющейся геолого-геофизической информацией и позволяет минимизировать расходы при проектировании и проведении наземных и морских геофизических и буровых работ, обеспечивая на всех стадиях оперативный уточняемый прогноз.

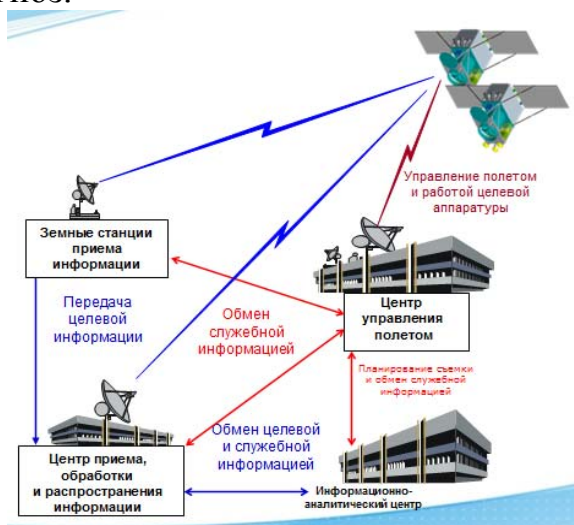


Рис. 2. Структурная схема системы контроля земной поверхности

Результатом работы системы спутников (рис.2) является высокоточный контроль изменения положения реперных точек и их направление на литосферной плите.

Для полноценного применения SAR-данных при решении задачи моделирования движения литосферных плит было разработано программное обеспечение обработки данных в виде программных модулей.

Разработанная модель осуществляет мониторинг каждой отдельной литосферной плиты, а потом эти результаты комплексированы.

Лингво-комбинаторное моделирование. Лишь для небольшого числа реальных систем имеются математические модели. Прежде всего системы описываются с помощью естественного языка. Предлагается способ перехода от описания на естественном языке к математическим уравнениям. Например, пусть имеется фраза

$$\text{WORD}_1 + \text{WORD}_2 + \text{WORD}_3 \quad (1)$$

В этой фразе мы обозначаем слова и только подразумеваем смысл слов. Смысл в сложившейся структуре естественного языка не обозначается. Предлагается ввести понятие смысла в следующей форме

$$(\text{WORD}_1) * (\text{SENSE}_1) + (\text{WORD}_2) * (\text{SENSE}_2) + (\text{WORD}_3) * (\text{SENSE}_3) = 0 \quad (2)$$

Будем обозначать слова как A_i от английского Appearance, а смыслы – как E_i от английского Essence. Тогда уравнение (2) может быть представлено как

$$A_1 * E_1 + A_2 * E_2 + A_3 * E_3 = 0 \quad (3)$$

Уравнения (2) и (3) являются моделями фразы (1). Если мы имеем математическое уравнение $F(x_1, x_2, x_3) = 0$, которое может быть уравнением геоида, то можем получить форму (3) посредством дифференцирования этого уравнения, тогда A_i будут частными производными, а E_i – производными по времени от переменных.

Эта модель является алгебраическим кольцом и мы можем разрешить уравнение (3) либо относительно A_i либо относительно E_i путем введения третьей группы переменных – произвольных коэффициентов U_s [6]

$$\begin{aligned} A_1 &= U_1 * E_2 + U_2 * E_3 \\ A_2 &= -U_1 * E_1 + U_3 * E_3 \\ A_3 &= -U_2 * E_1 - U_3 * E_2 \end{aligned} \quad (4)$$

или

$$\begin{aligned} E_1 &= U_1 * A_2 + U_2 * A_3 \\ E_2 &= -U_1 * A_1 + U_3 * A_3 \\ E_3 &= -U_2 * A_1 - U_3 * A_2 \end{aligned} \quad (5)$$

где U_1, U_2, U_3 - произвольные коэффициенты, которые можно использовать для решения различных задач на многообразии (3). Например, если хотим достигнуть максимум по переменной x_3 , то можем назначить произвольные коэффициенты $U_2 = -b \cdot A_1$, $U_3 = -b \cdot A_2$ и тогда получим

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= U_1 \cdot A_2 - b \cdot A_1 \cdot A_3 \\ \frac{dx_2}{dt} &= -U_1 \cdot A_1 - b \cdot A_2 \cdot A_3 \\ \frac{dx_3}{dt} &= b \cdot (A_1 \cdot A_1 + A_2 \cdot A_2)\end{aligned}\quad (6)$$

и если $b > 0$, тогда переменная x_3 устойчиво стремится к максимуму, а для манипуляции траекторией остается коэффициент U_1 . Координатами x_1, x_2, x_3 могут быть координаты центра тяжести литосферной плиты.

Если имеем две фразы

$$\begin{aligned}A_{11} \cdot A_1 + A_{12} \cdot A_2 + A_{13} \cdot A_3 + A_{14} \cdot A_4 &= 0 \\ A_{21} \cdot A_1 + A_{22} \cdot A_2 + A_{23} \cdot A_3 + A_{24} \cdot A_4 &= 0\end{aligned}$$

то в структуре эквивалентных уравнений будет содержаться 4 произвольных коэффициента и эти уравнения будут

$$\begin{aligned}E_1 &= U_1 \cdot D_{23} + U_2 \cdot D_{24} + U_3 \cdot D_{34} \\ E_2 &= -U_1 \cdot D_{13} - U_2 \cdot D_{14} + U_4 \cdot D_{34} \\ E_3 &= U_1 \cdot D_{12} - U_3 \cdot D_{14} - U_4 \cdot D_{24} \\ E_4 &= U_2 \cdot D_{12} + U_3 \cdot D_{13} + U_4 \cdot D_{23}\end{aligned}$$

где U_1, U_2, U_3, U_4 – произвольные коэффициенты, $D_{12} = (A_{11} \cdot A_{22} - A_{21} \cdot A_{12})$ и т.д.

В общем случае, если имеем n переменных и m многообразий, ограничений, то число произвольных коэффициентов S будет равно числу сочетаний из n по $m+1$ [6], см. таблицу 1,

$$S = C_n^{m+1}, \quad n > m \quad (7)$$

Число произвольных коэффициентов является мерой неопределенности и адаптивности. Лингво-комбинаторное моделирование заключается в том, что в конкретной предметной области выделяются ключевые слова, которые объединяются во фразы типа (1), на основе которых строятся эквивалентные системы уравнений с произвольными коэффициентами. В частном случае они могут быть дифференциальными уравнениями и при их исследовании может быть использован хорошо разработанный математический аппарат. Лингво-комбинаторное моделирование включает все комбинации и все варианты решений при изучении плохо формализованных систем [6].

Таблица 1

M n\	1	2	3	4	5	6	7	8
2	1							
3	3	1						
4	6	4	1					
5	10	10	5	1				
6	15	20	15	6	1			
7	21	35	35	21	7	1		
8	28	56	70	56	28	8	1	
9	36	84	126	126	84	36	9	1

Восемь крупнейших плит покрывают 90% поверхности Земли. Это плиты - Австралийская, Антарктическая, Африканская, Евразийская, Индостанская, Северо-Американская, Тихоокеанская, Южно-Американская. Имеются еще плиты среднего размера, их шесть.

Каждую из плит мы можем рассматривать как отдельное слово и методом лингво-комбинаторного моделирования определить структуру уравнений с произвольными коэффициентами. Эти уравнения задают всю структуру взаимодействий между плитами, всю комбинаторику взаимодействий. Очевидно, что при большом числе плит структура эквивалентных уравнений будет содержать большое количество произвольных коэффициентов, что и определяет трудность прогнозирования. Моделирование движения плит является важным направлением исследований и нужно определить предельные возможности этого метода.

Если обозначить через A_1^1 характеристику Австралийской плиты, через A_2^1 характеристику Антарктической плиты, A_3^1 – Африканской плиты, A_4^1 – Евразийской плиты, A_5^1 – Индостанской плиты, A_6^1 – Северо-Американской, A_7^1 – Тихоокеанской, A_8^1 – Южно-Американской, то в соответствии с [6] уравнение поверхности Земли будет

$$A_1^1 * E_1 + A_2^1 * E_2 + \dots + A_8^1 * E_8 = 0 \quad (8)$$

где E_1 – изменение характеристики Австралийской плиты, ..., E_8 – изменение характеристики Южно-Американской плиты, и если учесть, что плиты располагаются на поверхности геоида, что является вторым ограничением на переменные системы

$$A_1^2 * E_2 + A_2^2 * E_3 + \dots + A_8^2 * E_8 = 0 \quad (9)$$

то структура эквивалентных уравнений будет содержать

$$S = C_8^3 = 56 \quad (10)$$

произвольных коэффициентов, а сама структура будет иметь вид

Список литературы

1. «Современные глобальные изменения природной среды», в 2-х томах, отв. редакторы Н.С. Касимов и Р.К. Клиге, М., Научный мир, 2006.
2. Дюфур М.С., Катермина Т.С., Коновалов М.А., Ненашев В.А., Соколов Б.В., Шепета А.П., Юсупов Р.М. «Моделирование движения литосферных плит для прогнозирования литосферной погоды» Материалы докладов на XI Всероссийской конференции «Методологические проблемы управления макросистемами» Апатиты, 26.03-3.04.2016, с.18-20.
3. Аплонов С.В. «Геодинамика» изд. СПбГУ, 2001, 360 С.
4. Федоров П.В. «История земной коры. Атлас иллюстраций к курсу исторической геологии» СПб, 2006, 15 С.
5. Дюфур М.С. «Ранне-палеозойские гранитоиды в киммерийско-альпийской структуре Памиро-Гималайского пояса» \ Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей, серия 2, том 85, «Геологические минералогические проблемы», 2000, с.46-66.
6. Игнатьев М.Б. «Кибернетическая картина мира. Сложные киберфизические системы» 3-е изд, ГУАП, С-Петербург, 2014; 4-ое изд., Palmarium Academic Publishing, ISBN 978-639-76580-9, ноябрь 2014.
7. Игнатьев М.Б., Катермина Т.С. «Метод избыточных переменных для контроля и диагностики вычислительных процессов в реальном времени» журнал «Труды СПИИРАН», вып.3(26), 2013.
8. Крылов В.И. «Космическая геодезия» М., 2002
9. Hoffman-Wellenhof В. “GPS – Theory and Pracnice” Wien, 2009
10. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. / В.С. Вербя, Л.Б. Неронский, И.Г. Осипов и др. Под ред. В.С. Вербя. М.: Радиотехника, 2010.

Секция 2
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В ИССЛЕДОВАНИИ И
ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 519.718.2

Симаков Игорь Павлович¹,
Канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник, доцент
Холодных Павел Владимирович²,
Канд. техн. наук, доцент

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА
НАДЕЖНОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ
СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ СИСТЕМ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, ¹igsimakov@yandex.ru, ²pavel.kholodnykh@gmail.com

Аннотация. Представлен новый программный комплекс, обеспечивающий решение задач обоснования проектных решений по выбору структурной организации сложных технических комплексов с их управляющими системами для обеспечения заданных уровней надежности, живучести и безопасности, а также выработки решений по реконфигурации структур системы при заранее непредсказуемых комбинациях отказавших элементов. Приводятся математические методы и технологические принципы, положенные в основу построения программного комплекса. Возможности комплекса демонстрируются результатами решения конкретных задач.

Ключевые слова: структурно-сложная система, надежность, живучесть, безопасность, отказоустойчивость, программный комплекс, системы логических уравнений.

Igor P. Simakov,
PhD in Technical Sciences, Senior Scientific Researcher, associate professor
Pavel V. Kholodnykh,
PhD in Technical Sciences, assistant professor

SOFTWARE COMPLEX OF SYSTEM ANALYSIS OF RELIABILITY,
SURVIVABILITY AND SAFETY OF STRUCTURALLY COMPLEX
SYSTEMS AND ITS APPLICATION

Saint Petersburg, Russia, Peter the Great Saint Petersburg polytechnic university, ¹igsimakov@yandex.ru, ²pavel.kholodnykh@gmail.com

Abstract. Presents a new program complex, providing a solution to the problems of the substantiation of design decisions on the choice of the structural organization of complex technical systems with their management systems to ensure the specified levels of reliability, survivability and security, as well as making decisions on the reconfiguration of the structures of the system while in advance unpredictable combinations of failed elements. Mathematical methods and technological principles that constitute the basis of software construction. Features of the complex demonstrates the results of specific tasks.

Keywords: structurally complex system, reliability, survivability, safety, fault tolerance, software system, system of logical equations.

Введение. Назначение программного комплекса

На кафедре «Системный анализ и управление» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого в инициативном порядке был разработан программный комплекс (ПК) под наименованием «Структурный анализ и управление надежностью, безопасностью и живучестью» (ПК «САиУ НБЖ»). Его назначение вытекает из проблемных задач, решаемых на уровне главного конструктора проекта структурно-сложного автоматизированного комплекса (АТК), например, энергоблока атомных и тепловых электростанций, функционального комплекса технических средств энергообеспечения кораблей и судов (ФКТС ЭО - по ГОСТ 19176-85) и других объектов, состоящих из десятков связанных между собой подсистем, разрабатываемых различными предприятиями. Важнейшими задачами при этом являются:

1. Выявление «узких мест» в структуре АТК с целью предотвращения создания так называемых «структурно-порочных» систем, то есть систем, в которых одиночные отказы или наложение нескольких могут привести не только к невыполнению системой своего назначения, но и к нарушению условий безопасного функционирования.

2. Сравнение альтернативных вариантов функциональной, технической и топологической структур АТК с выбором рациональных по критериям отказоустойчивости (отказобезопасности) при отказах заданной кратности, а также по критериям живучести при принятых гипотезах относительно разрушающих воздействиях аварийной внешней среды (например, затопления, пожары). При этом должны использоваться не вероятностные показатели, характеризующие «генеральную совокупность» систем рассматриваемого типа, а детерминированные показатели для каждой конкретной системы.

3. Разработка алгоритмов автоматической выработки решений по реконфигурации структуры АТК при любых заранее непредсказуемых

комбинациях отказов компонентов (элементов и линий связи) – решение задачи «Какую собрать структуру из оставшихся в строю элементов» с реализацией принципа самоалгоритмизации, исключающего необходимость разработки «жестких» алгоритмов, что принципиально невозможно при непредсказуемых комбинациях отказов компонентов.

4. Проверка выполнимости детерминированных требований НТД и ТЗ к функционированию системы при так называемых максимальных проектных авариях (МПА), например, критерия единичного отказа, принятого, в частности, в атомной энергетике.

5. Выполнение традиционных проектных расчетов полной номенклатуры предусмотренных в ТЗ вероятностных показателей надежности АТК, включая выполнение вероятностного анализа безопасности (ВАБ), а также расчетов показателей живучести, установленных в действующих нормативных и руководящих документах.

Разработке ПК предшествовал цикл работ, выполненный на кафедре в рамках магистерских и кандидатских диссертаций по развитию и разработке корректных методов конструирования логико-математических моделей структур АТК, методов анализа надежности, живучести и безопасности потенциально-опасных пространственно распределенных автоматизированных технических комплексов (АТК) с количественной оценкой детерминированных и вероятностных показателей и созданию соответствующих программных систем. Отправной точкой при проведении теоретических разработок явились основополагающие постановки и подходы к решению рассматриваемой проблемы, изложенные в работах [1-6].

Принципы построения ПК на базе логико-математической модели структуры АТК

На рисунке 1 представлен вид рабочего окна графической оболочки ПК, на котором в диалоговом режиме осуществляется постановка задач путем непосредственного рисования структуры системы, просмотр полученных результатов и корректировка постановок задач для оптимизации технических решений в части структурной организации АТК в целом. Трудности математического характера, возникшие при конструировании моделей структур, заключались в следующем. В различных подсистемах АТК, взаимосвязанных общими потоками энергии, вещества и информации, используются разнообразные сетевые структуры (кольцевые, магистральные, лестничные и др.). Характерным является наличие замкнутых технологических контуров с внутренними (основными для АТК) источниками энергии (например, аккумуляторная батарея, дизель-генератор, ядерный реактор), организованных для самоподдержания энергетических процессов в системе. Кроме того, в различных подсистемах используют

ся связи типа «перемычка», обеспечивающие передачу энергии или вещества в одном из двух возможных направлений, но не в обоих направлениях одновременно.

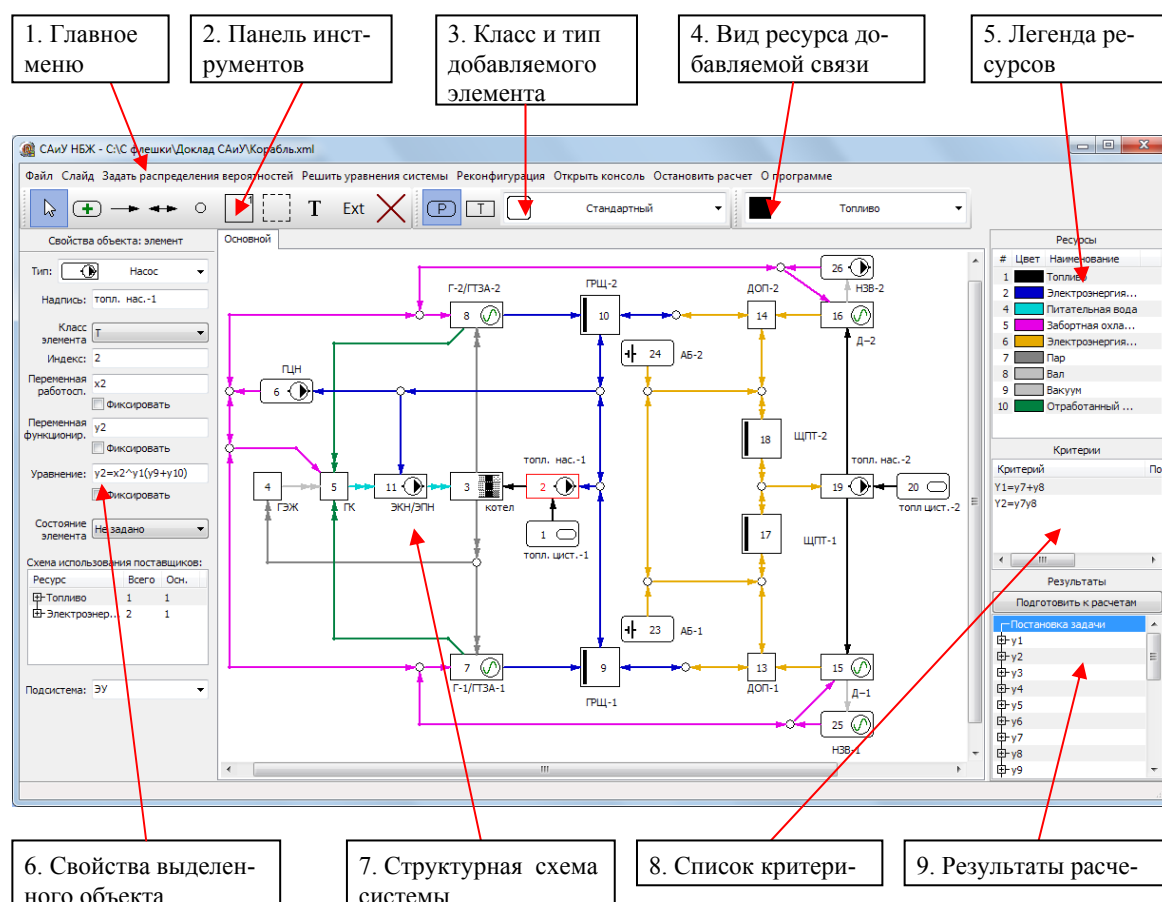


Рис.. 1.- Основное рабочее окно программного комплекса «САиУ НБЖ».

При системном анализе таких объектов центральной является математическая проблема получения логических критериев (условий) сохранения работоспособности АТК (безаварийности, безопасности). При ее разрешении даже при традиционных предположениях о бинарности состояний элементов потребовалась разработка специального математического аппарата, исключающего необходимость в осуществлении практически нереализуемых даже на ЭВМ переборных алгоритмов. В работе [1] представлен метод описания структур АТК в виде замкнутой системы логических уравнений (СЛУ), который, по-видимому, впервые в середине 70-х был предложен В.В. Астровым и И.П. Симаковым при обосновании функциональных и топологических структур крупных управляющих систем (УС) для сложнейших объектов ответственного назначения. Сущность метода заключается во введении для описания каждого из выделенного множества $N \in \{i\}_{i=1}^n$ i -го элемента АТК двух бинарных индикато-

ров (переменных), характеризующих как состояние его собственной работоспособности x_i , так и рабочего состояния y_i , и в составлении замкнутой системы логических уравнений (СЛУ) вида

$$y_i = x_i \cdot f_i(x_{i,j}y_j; j \in N_i \subset N) \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где $f_i(\cdot)$ - записанная в базисе операций «конъюнкция» и «дизъюнкция» логическая функция бинарных переменных y_j или с учетом характера физического состояния линий связи между элементами конъюнктов $x_{i,j}y_j$ ($x_{i,j}$ - бинарный индикатор работоспособности связи от j -го элемента к i -у); $j \in N_i$ - множество элементов ближайшего окружения i -го элемента, обуславливающих и обеспечивающих его функционирование (энергия, рабочая среда, управление). Система (1) описывает все причинно-следственные связи между элементами АТК и является по существу «базой знаний». В систему (1) при анализе живучести АТК дополнительно вводятся бинарные индикаторы z_k , отражающие размещение элементов в помещениях объекта $z_k \cdot x_k$, где k - номер помещения, и маршруты прокладки физических линий связи, например конъюнкт $z_k \cdot z_{k+1} \cdot x_{i,j}$ описывает прохождение связи между элементами $x_{i,j}$ (от j -го к i -у) транзитом через k -е и $(k+1)$ -е помещения.

Методы решения СЛУ и вывод структурных функций работоспособности и неработоспособности АТК (ФРС и ФНРС)

Для получения корректного решения СЛУ она дополняется соотношениями или «граничными условиями», описывающими физическую реализуемость технологических процессов в АТК. Это исключает необходимость получения ее общего решения с последующим перебором всего спектра частных решений, требующего для получения окончательного решения подбора комбинаций численных значений большого числа дополнительно вводимых бинарных переменных [9,10].

Наиболее важными «граничными условиями» являются:

- приравнивание нулю (исключение из решения) конъюнктов, содержащих переменные состояния работоспособности «перемычек» ($x_{i,j} \wedge x_{j,i}$) как физически нереализуемых и как «опасные» с точки зрения «поглощения ими правильных частных решений при формальном применении законов булевой алгебры;
- приравнивание также нулю (исключение из решения) конъюнктов, не содержащих элементы-источники энергии и вещества;
- рабочая среда не может циркулировать по трубопроводной трассе при отказе на закрытие хотя бы одного закрытого клапана.

Разработаны, теоретически обоснованы и программно реализованы два метода получения корректного решения СЛУ в аналитическом виде:

метод последовательного исключения неизвестных (аналог метода Гаусса, состоящего из прямого хода и обратной подстановки) и метод символьных итераций. В рассматриваемом здесь ПК реализован первый метод. Строгие математические доказательства его корректности содержатся в работах [5,6,12] и в кандидатской диссертации П.В. Холодных [11].

Решения системы уравнений (1)

$$y_i = \varphi_i(\vec{x}), \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (2)$$

где составляющими вектора $\vec{x}$ являются переменные состояния работоспособности, как элементов x_i , так и связей всех рассматриваемых типов $x_{i,j}$, представляются в форме минимальной дизъюнктивной нормальной форме (МДНФ). Полученные решения являются основой для формализации всех необходимых при оценках качества структур АТК логических условий сохранения и потери работоспособности (безопасности) – ФРС и ФНРС, также представляемых в МДНФ

$$Y_k = F_k(y_1, y_2, \dots, y_n) = F_k(\varphi_1(\vec{x}), \dots, \varphi_n(\vec{x})) = F_k(\vec{x}) = \bigvee_{j=1}^t K_j; \quad \bar{Y}_k = \bigvee_{l=1}^q M_l, \quad (3)$$

где k - номер рассматриваемого критерия работоспособности (безопасности), t и q - число конъюнктов в ФРС и ФНРС соответственно. Каждой конъюнкт ФРС соответствует одному из кратчайших путей успешного функционирования (КПУФ по И.А. Рябину) или минимальной работоспособной конфигурации – МРК, названной так в связи с наличием в АТК технологически замкнутых контуров, а каждый конъюнкт ФНРС – одному из минимальных сечений отказов (сочетаний или комбинаций отказавших компонентов), приводящих к потере работоспособности АТК. Каждая МРК и каждое МСО могут быть просмотрены в графическом интерфейсе ПК «САиУ НБЖ» прямо на структурной схеме (рис. 2).

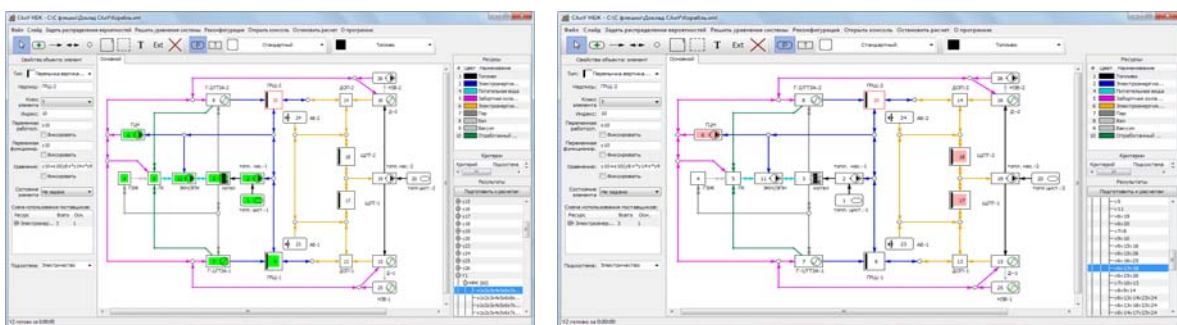


Рис. 2. Просмотр на структурной схеме всех МРК и МСО.

Оценка структур по детерминированным показателям отказоустойчивости

Важной особенностью алгоритмического обеспечения ПК является осуществление количественных оценок системы детерминированных показателей отказоустойчивости (отказобезопасности) и живучести. По-

сколькx функции работоспособности $\varphi_i(\vec{x})$ и $Y_k = F_k(\vec{x})$ полностью описывают все пространство работоспособных состояний системы, то возможно построение различных показателей, оценивающих способность системы продолжать работу при произвольных отказах оборудования. Расчет детерминированных показателей отказоустойчивости осуществляется с использованием приведенных логических функций (3) и представления ФРС в ортогональной ДНФ (ОДНФ) $Y_k = \bigvee_{j=1}^s \tilde{K}_j$, где s - число конъюнктов. Введем в рассмотрение числа $r(\tilde{K}_j)$ и $m(\tilde{K}_j)$ - соответственно ранг и количество отрицаний переменных работоспособности элементов и связей в конъюнкте $\tilde{K}_j$ и приведем окончательные формулы для расчета следующих показателей отказоустойчивости.

1. Показатель d отказоустойчивости - максимальное число отказов произвольных элементов АТК, которые в любом сочетании не приведут к потере работоспособности АТК в целом, рассчитывается по формуле $d = \min_{l=1, \dots, q} r(M_l) - 1$.

2. Показатель m отказоустойчивости - предельная кратность отказа, который теоретически может выдержать АТК без потери работоспособности, рассчитывается по формуле $m = n - \min_{l=1, \dots, q} r(M_l)$.

3. Показатель V отказоустойчивости - отношение числа работоспособных состояний АТК к их общему числу, равному 2^n , рассчитывается по формуле $V = \sum_{j=1}^s \left(\frac{1}{2}\right)^{r(\tilde{K}_j)}$.

4. Показатель G_k отказоустойчивости - доля работоспособных состояний системы среди состояний с отказами k -й кратности рассчитывается по формуле $G_k = \sum_{j \in J_k} C_{n-r(\tilde{K}_j)}^{k-m(\tilde{K}_j)} / C_n^k$. Здесь сумма берется по номерам конъюнктов $\tilde{K}_j$, удовлетворяющим условиям $m(\tilde{K}_j) \leq k$ и $r(\tilde{K}_j) - m(\tilde{K}_j) \leq n - k$. Если, например, $G_k = a$, то система сохраняет работоспособность при 100a% всех возможных отказов k -й кратности.

5. Показатель v_i отказоустойчивости - коэффициент сокращения доли работоспособных состояний системы при отказе i -го элемента рассчитывается по формуле $v_i = \left(\sum_{j: x_i \in \tilde{K}_j} \left(\frac{1}{2}\right)^{r(\tilde{K}_j)} - \sum_{j: x_i \notin \tilde{K}_j} \left(\frac{1}{2}\right)^{r(\tilde{K}_j)} \right) / V$; ($i = 1, 2, \dots, n$). Показатель определяет значимость i -го элемента в отказоустойчивости системы по шкале от нуля (не влияет) до единицы (отказ элемента приводит к отказу системы).

6. Показатель d^* отказоустойчивости, одновременно оценивающий и d -отказоустойчивость системы, и ее «сопротивляемость» к отказам «закритической» $(d+1)$ -й кратности и рассчитываемый по формуле $d^* = d + G_{d+1}$.

Наиболее информативными из приведенных являются показатели G_k , d^* и v_i . Например, для корабельной энергетической системы, известной как «Задача №35 И.А. Рябина», состоящей из 15 элементов, $d^* = 1,89$. Показатели v_i позволяют оценить критичность элемента в структуре системы. Графики показателей G_k и v_i приведен на рис. 3.

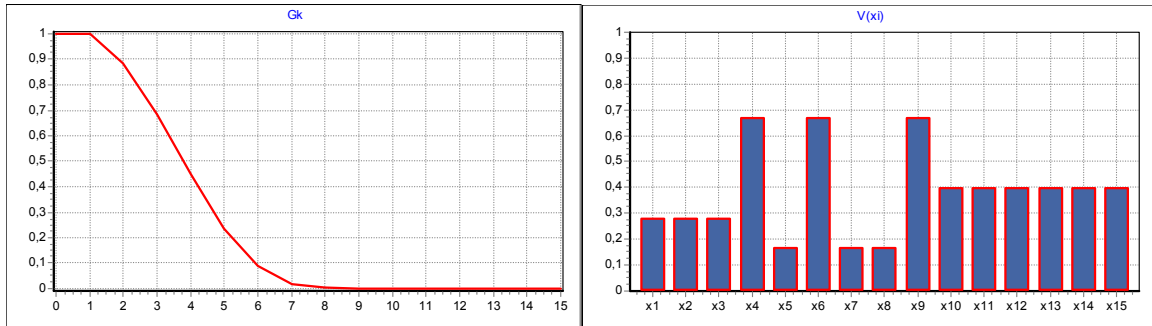


Рис. 3. Слева – график зависимости показателя G_k отказоустойчивости от кратности отказов. Справа – график показателей значимости элементов v_i в структуре системы с точки зрения ее отказоустойчивости.

Система показателей отказоустойчивости позволяет сравнивать варианты структур АТК и целенаправленно вносить рациональные изменения в их структуры в диалоге «Проектант – Модель системы». Приведем здесь результаты сравнения двух вариантов первичной сети судовой ЭЭС с кольцевой структурой (задача И.А. Рябина № 35) [7] и с лестничной структурой, приведенных на рис. 4. Номера элементов (автономных генераторов – ТГ, главных распределительных щитов – ГРЩ, перемычек и вторичных распределительных щитов – ВРЩ) сохранены теми же, что и в монографиях И.А. Рябина. Альтернативный вариант ЭЭС с лестничной структурой первичной сети представлен на рис. 4 справа. Здесь типовым элементам системы (ТГ, ГРЩ и ВРЩ) присвоены те же номера, что и в ЭЭС с кольцевой структурой.

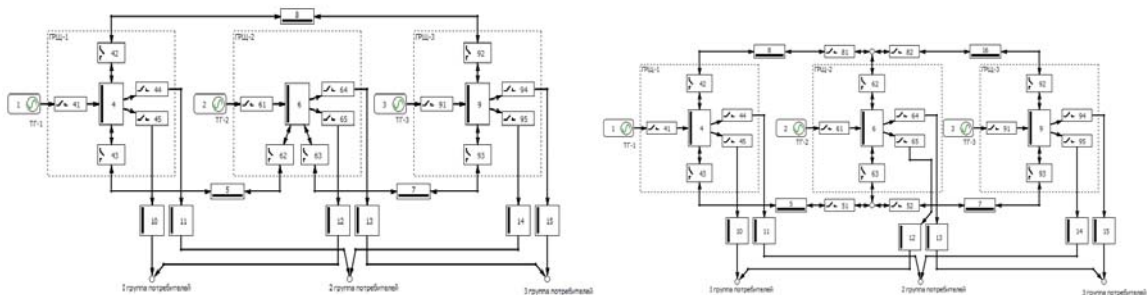


Рис. 4. Схемы первичной сети ЭЭС с кольцевой (слева) и лестничной (справа) структурами.

На рисунках 5 и 6 представлены результаты расчета детерминированных показателей отказоустойчивости и вероятности безотказной работы $R(t)$ для кольцевой и лестничной структур. Результаты сравнения двух структур более полно представлены в таблице 1.

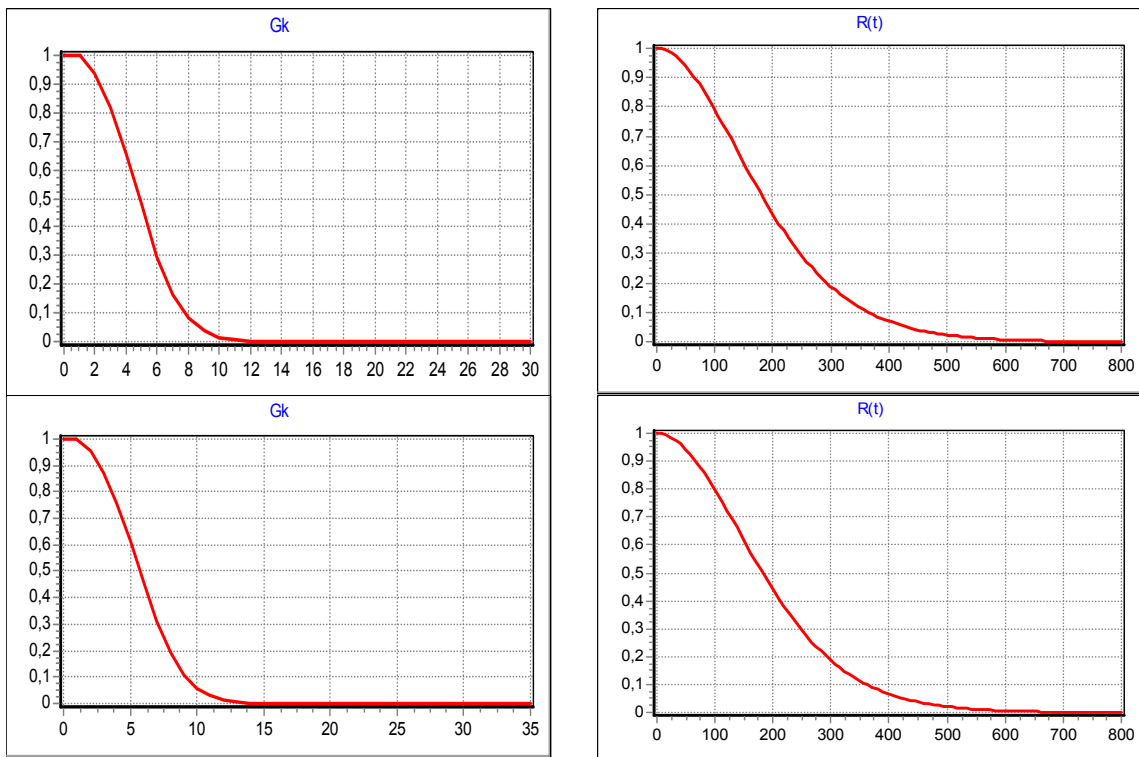


Рис. 5. Результаты расчетов для кольцевой (вверху) и лестничной (внизу) структур показателей G_k и вероятности безотказной работы $R(t)$.

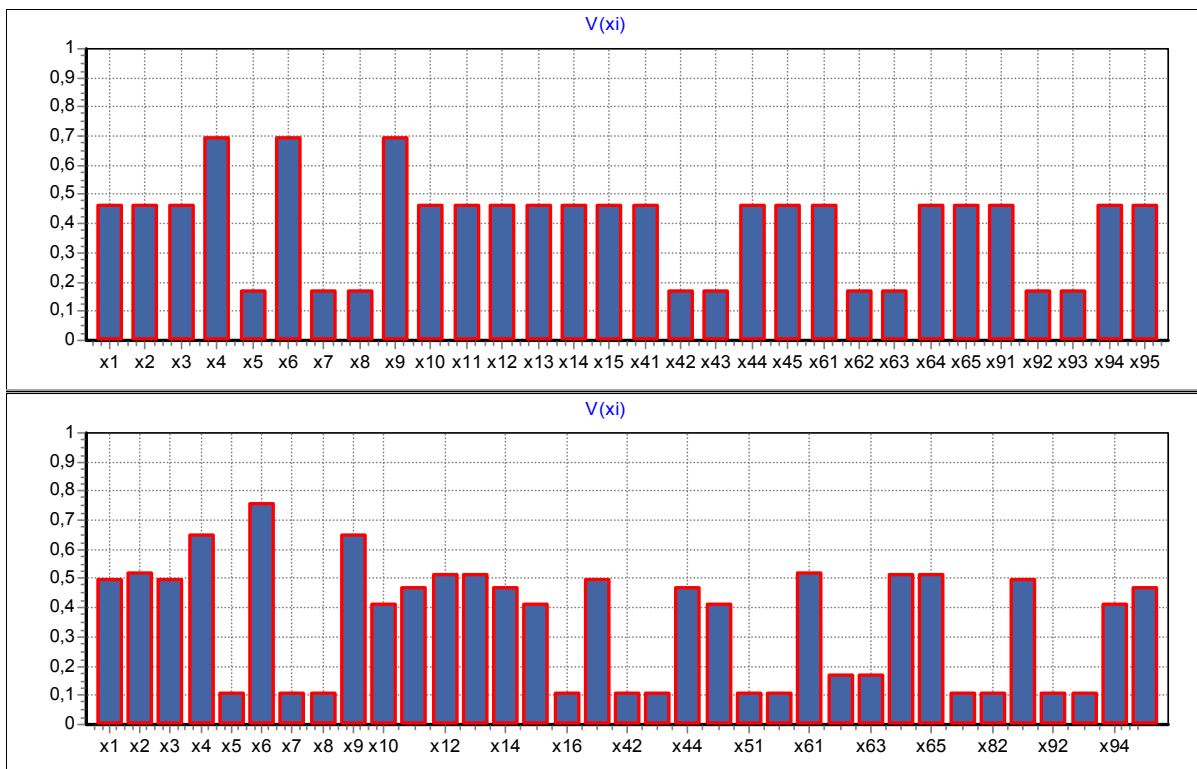


Рис. 6. Результаты расчетов для кольцевой (сверху) и лестничной (снизу) структур показателей v_i -отказоустойчивости.

Таблица 1. Результаты расчетов для сравнения структур

Критерий \ Структура	Кольцевая	Лестничная
Число элементов	27	35
Число МРК	92	200
Число МСО	407	2383
Число МСО 2-й кратности	27	27
Средняя наработка на отказ	201,68	202,04
d	1	1
d^*	1,9379	1,9546
m	18	23
V	0,002463	0,002103

Полученная информация является достаточно полной и может явиться основой для осознанного принятия решений по выбору окончательного варианта структуры ЭЭС. В частности, из таблицы видно, что оба варианта структуры обладают незначительными различиями в уровнях живучести и надежности в пользу лестничной структуры. При этом обе структуры сохраняют работоспособность при отказе любого элемента и больше 90% отказов второй кратности, что определяет показатель d^* .

В ПК программно реализованы методика и алгоритмы решения задач сравнения вариантов топологических структур АТК по критериям живучести. Решение задач осуществляется при «разумных» гипотезах о возможных внешних разрушающих воздействиях (пожары, затопления, разгерметизация систем со средами высокой энергии и др.). Кроме того решаются задачи по минимизации количества линий связи (силовых и информационных), нуждающихся в специальной защите (например, огнестойкости) при обеспечении заданного уровня живучести [17].

Расчет традиционных вероятностных показателей надежности

ПК «САиУ НБЖ» осуществляет расчет показателей надежности по ставшей уже классической схеме И.А. Рябининым [7]. На первом шаге полученные после решения СЛУ функции работоспособности $\varphi_i(\bar{x})$ и $Y_k = F_k(\bar{x})$ приводятся ОДНФ. На втором шаге производится переход от ОДНФ к вероятностным полиномам с последующим использованием данных о надежности элементов и окончательного расчета ВБР системы. При этом, конечно, постулируется независимость в совокупности отказов элементов. Характеристики надежность элементов и связей задаются с рабочего окна ПУ выбором законов распределения наработки до отказа (экспоненциального, нормального, логнормального, Вейбулла и др.) и их параметрами.

Кроме того в ПК «САиУ НБЖ» реализован «блестящий алгоритм И.А. Рябининой» [8] расчета вероятностных показателей надежности системы, состоящей из элементов, имеющих два вида отказов, например,

типа «обрыв» и «короткое замыкание». В частности, была отработана методика расчетов надежности многоканальных управляющих систем безопасности (УСБ) и аварийной защиты (с использованием схем резервирования типа «2 из 3-х», «2 из 4-х» и других) с учетом двух взаимно исключающих видов отказов канала - «скрытый» отказ и выдача ложной (излишней) команды на срабатывание.

Решение задачи реконфигурации структуры АТК при заранее непредсказуемых комбинациях отказов оборудования

Цель реконфигурации структуры АТК - восстановление работоспособности системы после отказов ее элементов по внутренней или внешней причинам - из элементов, оставшихся «в строю». Реконфигурация АТК с многообразием сетевых структур - принципиально новый класс задач управления, связанный с необходимостью перестройки (реконфигурации) структур пространственно распределенных многоагрегатных АТК при любых заранее непредсказуемых комбинациях отказов и повреждений. Ее решение имеет существенное значение для повышения уровня живучести и безопасности таких сложных технических систем, какими являются энергоблоки АЭС, магистральные трубопроводные системы, энергетические системы кораблей и судов, в том числе для совершенствования систем управления борьбой за их живучесть. Проблема реконфигурации требует разработки методов выработки управляющих решений не по заранее заложенным «жестким» алгоритмам, а «в ходе борьбы за живучесть» в динамически изменяющейся ситуации, в том числе и при неполной информации о текущем состоянии АТК. Обычно задачи такого класса относят к «переборным». Они имеют комбинаторную сложность и не могут быть решены с использованием идеологии экспертных систем.

В ПК реализована следующая алгоритмическая процедура реконфигурации АТК при заранее не предсказуемой комбинации отказавших элементов. Заметим, что каждый конъюнкт в ФРС $F_k(\bar{x}) = \bigvee_{j=1}^t K_j$ соответствует, очевидно, одной из МРК, безусловно обеспечивающей выполнение критерия сохранения работоспособности АТК. Полученное множество МРК и их комбинаций можно упорядочить по какому-либо критерию оптимальности (по минимальному числу переключений, по переходу к конфигурации с максимально возможным «запасом» отказоустойчивости) при использовании возможностей оставшихся в строю МРК с переходом к «предпочтительной» конфигурации поврежденного АТК. При этом полагаем, что выявлено подмножество элементов и связей АТК, потерявших свою работоспособность (по данным системы функциональной диагностики или, как это более реально имеет место быть, по докладам обслуживающего персонала из зон размещения оборудования АТК). За-

фиксируем начальное состояние АТК вектором $\bar{x}' = (x'_1, \dots, x'_n, x'_{1,2}, \dots, x'_{n-1,n})$, определяющим конкретный состав задействованных компонентов (элементов и связей) в исходной конфигурации (включены и работают), а какие – не используются (выключены и не работают). При этом составляющие вектора $\bar{x}'$ представлены численно – «0» или «1».

Пусть далее происходит повреждение АТК с потерей работоспособности части элементов и связей, как тех, которые были задействованы, так и всех остальных. Опишем это состояние АТК вектором $\bar{x}'' = (x''_1, \dots, x''_n, x''_{1,2}, \dots, x''_{n-1,n})$ также представленного «численно». Оценим возможность функционирования элементов, рассчитав значения $y_i = \varphi_i(\bar{x}'')$. Если $\varphi_i(\bar{x}'') = 1$, то i -й элемент способен функционировать в поврежденном АТК. Если же $\varphi_i(\bar{x}'') = 0$, то данный элемент полностью потерял возможность выполнять свои функции вне зависимости от причин – потерял ли работоспособность («разрушен») или не обеспечен необходимыми «ресурсами» от смежных элементов. Такие элементы подлежат выводу из структуры. Аналогично и равенство единице СФР $Y_k = F_k(\bar{x}'')$ означает, что АТК в принципе может продолжать функционирование и не может в противном случае.

Введем в рассмотрение, наконец, еще один вектор $\bar{x}''' = (x'''_1, \dots, x'''_n, x'''_{1,2}, \dots, x'''_{n-1,n})$ как результат покомпонентного логического умножения составляющих векторов $\bar{x}'$ и $\bar{x}''$ с составляющими $x'''_i = x'_i x''_i$, $x'''_{i,j} = x'_{i,j} x''_{i,j}$. В данном векторе единице равны индикаторы работоспособности тех элементов и связей, которые входили в исходную конфигурацию АТК и все остальные, не потерявшие работоспособность при аварийном воздействии внешней среды. Очевидно, что множество компонентов АТК, для которых $x'''_i = 0$, а $\varphi_i(\bar{x}''') = 0$ – те элементы исходной конфигурации АТК, которые не потеряли работоспособность, но не могут быть использованы в какой-либо новой из возможных структур из-за необеспеченности входными ресурсами. Такие элементы подлежат выводу из структуры (остановке), если нет резервного канала по соответствующему виду ресурса. Это тем более необходимо, так как существует опасность их разрушения (зависимый отказ), например, из-за потери охлаждения.

Если функция работоспособности $Y_k = F_k(\bar{x}''') = 0$, а $Y_k = F_k(\bar{x}'') = 1$, то очевидно, что существует принципиальная возможность реконфигурировать структуру АТК и выбрать по определенному критерию новую рабочую конфигурацию для восстановления его работоспособности. Для этого конъюнкты ФРС $F_k(\bar{x}) = \bigvee_{j=1}^t K_j$ должны быть упорядочены так, чтобы собрать в новую конфигурацию конъюнкты меньшим номером, то есть те, которые соответствуют более предпочтительным МРК. Такими критериями могут быть, например, минимальное число переключений, максимизация показателей V , d , d^* отказоустойчивости или средней остаточной наработки до отказа.

Упорядоченное множество K^* номеров МРК или их комбинаций, которые могут быть использованы для восстановления работоспособности АТК, определяется как $K^* = \{k : K_k(\bar{x}^*) = 1\}$. За новую рабочую конфигурацию АТК принимается МРК (или комбинация нескольких МРК) с наименьшим номером $k^* = \min K^*$. Вектор новых компонентов, то есть элементов и связей $\bar{x}^* = (x_1^*, \dots, x_n^*, x_{1,2}^*, \dots, x_{n-1,n}^*)$, которые должны быть задействованы в новой структуре определим следующим образом $x_i^* = 1$, если переменная x_i входит в конъюнкт K_{k^*} , и $x_i^* = 0$ в противном случае. Аналогично решение принимается и для связей.

Описанная идея алгоритма программно реализована в ПК «САиУ НБЖ». Найденный вектор $\bar{x}^*$ задает перечень всех элементов и связей, которые должны быть включены в структуру АТК, то есть какую структуру АТК подлежит собрать из оставшихся в строй при любой заранее непредсказуемой (если это, конечно, возможно) комбинации отказавших компонентов для восстановления работоспособности АТК. ПК, кроме того выдает предложения о том, какие элементы должны быть выведены из работы (см. рис. 7).

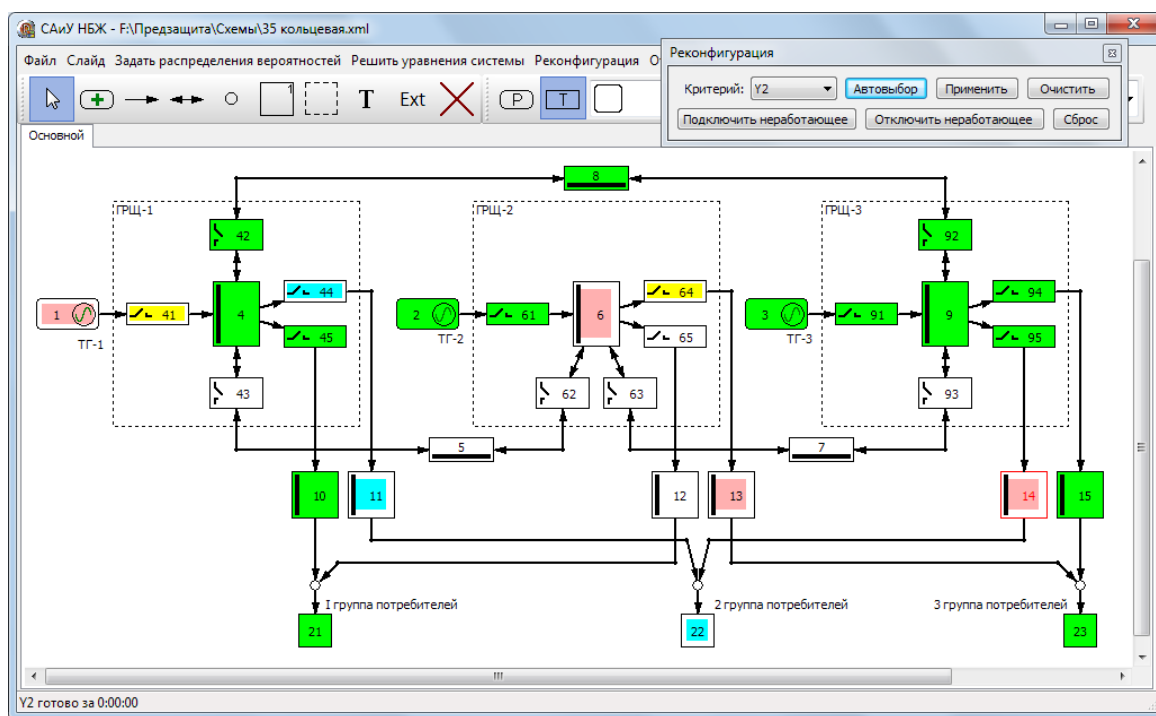


Рис. 7. Пример работы ПК «САиУ НБЖ» в режиме реконфигурации с закрашиванием различными цветами отказавших элементов, рекомендуемой структуры, и элементов, подлежащих выводу из действия

Таким образом, мы можем говорить о принципиальной возможности реализации принципа «самоалгоритмизации» перестройки структуры АТК при заранее непредсказуемых комбинациях отказов компонентов,

не прибегая к идеологии так называемым экспертным системам с реализации в них некоторого подобия «искусственного интеллекта».

Заключение

В ПК реализована технология, обеспечивающая простоту его освоения, практического использования и развития. Среди важнейших принципов технологии отметим следующие.

1. Постановка задач структурного анализа осуществляется путем непосредственного рисования технологических (принципиальных) схем на экране дисплея с использованием библиотеки изображений элементов и соединений (связей), характеризующих потоки энергии и вещества различных видов и параметров, а также информационных и управляющих сигналов.
2. Результатом «рисования» является автоматическая мгновенная привязка изображения любого элемента к его логико-математической модели. При этом набранная структура сразу же начинает «жить», обеспечивая возможность легко производить замену элементов, изменения их топологической и технической структур. При этом мгновенно изменяется логико-математическая модель структуры.
3. Естественная декомпозиция АТК на отдельные функциональные подсистемы позволяет распараллелить работы и максимально полно использовать профессиональные знания разработчиков различных подсистем в знакомой им области. Результаты параллельной работы команды разработчиков автоматически интегрируются в комплексную математическую модель структуры АТК в целом.

Разработанный ПК прошел Государственную регистрацию [14] и апробацию при решении конкретных задач, в том числе специалистами проектных организаций. Однако отметим, что проблемными остаются задачи, связанные с синтезом алгоритмов противоаварийного управления, обеспечивающих в динамике локализацию аварийных ситуаций и предотвращение каскадного (цепочечного) развития отказов в АТК. Это, естественно, возможно достичь путем оперативного устранения дебалансов потоков энергии и вещества между агрегатами АТК. Для решения этой проблемы требуется существенное развитие теории управления, в частности, теории балансных систем, над которой работают авторы этой статьи.

Список литературы

1. Астров В. В. Симаков И.П., Черкесов Г.Н. Применение методов вероятностной логики и исследования операций к анализу живучести пространственно распределенных энергетических систем / В. В. Астров, И. П. Симаков, Г. Н. Черкесов / под ред. акад. Ю.Н. Руденко // В кн.: Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики // Вып. 20 «Живучесть систем энергетики». – Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1980.

2. Симаков И.П. Критерии безопасности, живучести и эффективности управления и последовательный синтез организации управляющих систем. - в сб.: Материалы IX Всесоюзного совещания по проблемам управления. - М.: Наука, 1983.

3. Астров В.В. Симаков И.П., Основы методологии синтеза структуры управляющих систем по критериям надежности, живучести и эффективности. - В сб.: Материалы X Всесоюзного совещания по проблемам управления. - М.: Наука, 1986.

4. Астров В.В. Симаков И.П., Методы выбора структур управляющих систем по критериям живучести при различной степени информированности о внешних аварийных воздействиях. - В сб.: Материалы XI Всесоюзного совещания по проблемам управления. - М.: Наука, 1989.

5. Симаков И.П. Аналитические методы структурного анализа технических комплексов при оценке их безопасности и надежности. – В сб. материалов 5-го Всесоюзного совещания «Надежность, живучесть и безопасность автоматизированных комплексов». – М.: Изд-во Института проблем управления, 1991.

6. Симаков И.П., Холодных П.В. Математические модели, формализованные методы и программные средства объективной оценки надежности и безопасности структурно-сложных технических систем. // В сборнике научных трудов «Вычислительные, измерительные и управляющие системы». – СПб.: Изд-во СПбГПУ. 2009.

7. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб.: Политехника, 2000.

8. Рябинин, И. А. Логико-вероятностное исчисление как аппарат исследования надежности и безопасности структурно-сложных систем // Автоматика и телемеханика. 2003. – №7.

9. Левченков, В. С. Общий вид решений булевых уравнений. // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 2.

10. Черкесов, Г. Н. Логико-вероятностный анализ надежности сложных систем на основе общего решения систем логических уравнений / Г. Н. Черкесов, Ю. В. Степанов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2003. – №2.

11. Холодных П. В. Математические модели, методы и комплексы программ анализа и обеспечения надежности и живучести структурно-сложных энергетических систем. Кандидатская диссертация. – СПб: Политехнический университет. - 2013.

12. Симаков, И.П.. Математические модели, методы и программные средства структурного анализа и обеспечения надежности, безопасности и живучести автоматизированных технических комплексов // Сборник научных трудов XVIII Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении». – 2014, изд. СПбГПУ. С. 125-127.

13. Симаков И. П., Холодных П. В. Многоцелевой программный комплекс структурного анализа и обеспечения надежности, безопасности и живучести автоматизированных технических комплексов и их управляющих систем // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: Труды Международной научной школы МА БР – 2014 (Санкт-Петербург, 18-20 ноября, 2014 г.). ГОУ ВПО «СПбГУАП». - СПб., 2014.

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616503 от 11 июня 2015 г. «Программный комплекс структурного анализа и управления надежностью, безопасностью и живучестью». Авторы; Симаков И.П. и Холодных П.В. Правообладатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.

УДК 681.518.5

Панкратова Наталья Дмитриевна,
Д-р техн.наук, профессор

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Киев, Украина, Институт прикладного системного анализа
natalidmp@gmail.com

Аннотация. Приводится система обеспечения гарантированной безопасности и живучести функционирования сложных технических систем (СТС) в виде концепции, стратегии, методологии системного оценивания и прогнозирования динамики дестабилизирующих факторов риска, диагностирования функционирования СТС в режиме реального времени в условиях неопределенности различной природы и влияния дестабилизирующих факторов риска.

Ключевые слова: системная стратегия, многофакторные риски, нештатный режим, диагностирование, живучесть, ресурс допустимого риска, работоспособность, безопасность.

Nataliya D. Pankratova,
Doctor of technical Sciences, Professor

PROVIDING SECURITY AND SURVIVABILITY OF THE FUNCTIONING OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

Kiev, Ukraine, Institute for Applied System Analysis, natalidmp@gmail.com

Abstract. It is proposed the development system of providing security and survivability of the functioning for complex technical systems (CTS) in the form of concepts, strategies, methodology of the system of evaluation and prediction of the dynamics of destabilizing risk factors, diagnosis of the functioning of the JTS in real time in the conditions of uncertainty of various nature and destabilizing influence of risk.

Keywords: system strategy, multifactorial risks, unregular mode, diagnosis, survivability, margin of permissible risk, efficiency, safety.

Качественно новые требования к безопасности функционирования сложных технических систем (СТС) различного направления обусловлено потерями от частичного или полного разрушения технических объектов, которые могут в десятки раз превышать стоимость их создания, национальными или глобальными масштабами действий катастроф на население и окружающую среду. Катастрофы с многомиллионными и миллиардными потерями, которые в течение двух-трех последних десятилетий прошлого века и первого десятилетия XXI века происходили практически во всех промышленно развитых странах, показывают, что существующие принципы и механизмы управления безопасностью сложных объектов не соответствуют современным требованиям. Для современных СТС различной природы актуально достоверное и своевременное предвидение, прогнозирование и предотвращение критических, чрезвычайных и других нежелательных ситуаций и воздействий, которые могут привести к нештатному режиму, аварии, катастрофе или существенно повлиять на работоспособность, живучесть, безопасность, эффективность и другие свойства таких объектов [1].

Существующая реальность приводит к практической потребности исследования основных проблем обеспечения глобальной безопасности на основе методологии системного анализа как необходимого условия для достижения решений системно согласованных по целям, критериям, ресурсам, ожидаемым результатам и срокам.

Разработка целей, задач, требований одновременно к функционированию современных СТС и их безопасности и, прежде всего, к системе технического диагностирования не в полной мере системно обоснованы. Как правило, многие технологии диагностирования технического состояния системы направлены на выявление отказов с учетом неопределенностей, связанных с моментом времени возникновения отказа, его местом и классом [2-4]. Как следствие, оказывается, что показатели и свойства созданной системы безопасности не соответствуют реально необходимым потребностям сложных объектов, которые они должны удовлетворять. Подтверждением этому является проведение эксперимента по экстренной остановке реактора Чернобыльской АЭС, который закончился катастрофой, а также недостаточная система безопасности на атомной электростанции в Фукусиме. Возникает практическая необходимость качественного изменения принципов и структуры сопровождения процесса функционирования работоспособностью и безопасностью современных сложных технических объектов в реальных условиях действия многофакторных рисков. Прежде всего, управление сложными объектами

должно быть системным, что следует трактовать как системную согласованность управления работоспособностью и безопасностью не только по соответствующим целям, задачам, ресурсам и ожидаемым результатам, но и, что особенно важно, по оперативности и результативности взаимодействия в реальных условиях нештатной ситуации. Такая согласованность должна обеспечить оперативное и результативное взаимодействие указанных систем управления. С одной стороны, необходимо обеспечить оперативность и результативность системы безопасности по своевременному выявлению нештатной ситуации, оценки ее степени и уровня риска, определения ресурса допустимого риска в процессе формирования рекомендаций по оперативным действиям. С другой стороны, система управления работоспособностью после получения сигнала о нештатной ситуации должна оперативно и результативно действовать для обеспечения готовности сложного объекта к экстренному переходу в нерабочее состояние и обеспечение возможности реализации таких действий в пределах ресурса допустимого риска.

Предлагается система гарантированного обеспечения безопасности и живучести функционирования СТС в реальном режиме времени на основе информационной платформы технической диагностики как базовой системы своевременного принятия решений и выполнения действий по оперативному предотвращению возможных нештатных ситуаций, аварий и катастроф.

1. Основные определения и принципы решения задачи

Сущность предлагаемой концепции состоит в замене типового принципа выявления перехода работоспособного состояния объекта, в неработоспособное состояние на основе обнаружения отказов, неисправностей, дефектов и прогнозирования надежности объекта на качественно новый принцип. Сущность этого принципа — своевременное обнаружение и устранение причин возможного перехода работоспособного состояния объекта в неработоспособное состояние на основе системного анализа многофакторных рисков нештатных ситуаций, достоверного оценивания ресурсов допустимого риска различных режимов функционирования сложного технического объекта, и прогнозирования основных показателей живучести объекта в течение заданного периода его эксплуатации [1].

Живучесть — свойство сложной системы, которое состоит в ее способности сохранять штатный режим функционирования и исключать возможность аварии или катастрофы в прогнозируемых и непрогнозируемых условиях воздействия дестабилизирующих, неразрушающих факторов риска

Основная идея стратегии — обеспечить в реальных условиях функционирования сложной системы своевременное и достоверное обнаружение, оценивание факторов рисков, прогнозирование их развития в течение определенного периода эксплуатации, определение ресурса допустимого риска и на этой основе осуществление своевременного устранения причин появления нештатных ситуаций до появления отказов и других нежелательных последствий.

Реализация стратегии формируется на основе следующих принципов [5]:

- системная согласованность по целям, задачам, ресурсам и ожидаемым результатам по мероприятиям обеспечения безопасности функционирования сложной системы;
- своевременное обнаружение, гарантированное распознавание и системное диагностирование факторов и ситуаций рисков, ресурса допустимого риска;
- оперативное прогнозирование, достоверное оценивание нештатных и критических ситуаций;
- формирование и реализация рационального решения за практически приемлемое время в пределах неустраняемого временного ограничения.

Будем рассматривать **понятие безопасности** системы как способность своевременно предотвращать последовательный переход из штатного режима системы в аварию или катастрофу на основе своевременно выявления факторов существенного риска и устранения возможности их превращения в факторы катастрофического риска. Безопасность характеризуется следующими показателями: степенью риска η_i и уровнем риска W_i ; ресурсом допустимого риска нештатного режима T_{ar} ; ресурсом допустимого риска аварии T_{as} или катастрофы T_{ds} .

Степень риска η_i — вероятность появления нежелательных последствий воздействия любых факторов риска, в любой момент времени $t_i \in T^{\pm}$ в процессе функционирования сложной системы.

Уровень риска W_i — величина ущерба от нежелательных последствий воздействия любых факторов риска в любой момент времени $t_i \in T^{\pm}$ в процессе функционирования сложной системы.

Ресурс допустимого риска T_{ar} — продолжительность периода функционирования сложной системы в определенном режиме, в течение которого степень и уровень риска в результате возможного воздействия факторов риска не превышают априорно заданные допустимые значения.

Ресурс допустимого риска нештатной ситуации T_{os} — продолжительность периода функционирования сложной системы в штатном ре-

жине, в течение которого степень и уровень риска нештатной ситуации не превышают априорно заданные значения.

Для любой реальной сложной системы благодаря рациональному сопровождению процессом управления безопасностью в процессе ее функционирования можно обеспечить определенный ресурс допустимого риска с нужными допустимыми значениями степени и уровня риска или при ограниченных требованиях к системе управления безопасностью обеспечить нужный ресурс допустимого риска с нужными допустимыми значениями степени и уровня риска.

Количественные значения показателей безопасности определяются на основе решения общей задачи анализа многофакторных рисков [6]. Учитывается, что множества факторов риска и множества ситуаций являются принципиально неограниченными. Они количественно и качественно изменяются в процессе функционирования сложных технических объектов, образуя соответствующие последовательности вложенных множеств. Важнейшей особенностью представленной задачи является качественно новый вид ограничения, а именно пороговое ограничение времени формирования решения. Это ограничение принципиально отличается по своей значимости и свойствам от ограничений типовых задач системного анализа и оптимизации. Оно абсолютно приоритетно и не устранимое, а его нарушение принципиально недопустимо на практике, так как приводит к необратимым катастрофическим последствиям.

2. Стратегия решения и ее реализации в виде информационной платформы технической диагностики.

Общий замысел стратегии - обеспечить гарантированную работоспособность, управляемость и безопасность сложных технических систем путем согласованной инженерной на всех этапах жизненного цикла изделия: от этапа формирования замысла и концепции изделия до этапа утилизации объекта. Важнейшим обязательным требованием к стратегии является системная согласованность мероприятий всех этапов жизненного цикла изделия по целям, задачам, срокам, ресурсам и ожидаемым результатам с позиции гарантирования заданных показателей безопасности, показателей работоспособности и управляемости в течении заданного периода эксплуатации.

Стратегия основывается на принципах рационального компромисса на множестве объективных и субъективных противоречий с целью рационального использования имеющихся ресурсов и возможностей в реальных условиях информационной неопределенности и неустранимого ограничения времени на цикл управления.

Предлагаемая стратегия реализована в виде информационной платформы технической диагностики (ИПТД), составляющей основу алго-

ритма управления безопасностью сложных объектов в нештатных ситуациях. Приведем содержательно основные модули ИПТД.

Получение исходной информации в процессе функционирования СТС:

- снятие в реальном режиме времени показателей датчиков объемом N_{01} и N_{02} выборок, где N_{01} ($N_{01} \gg 200$) - общее количество выборки в процессе функционирования СТС в реальном режиме времени; N_{02} ($N_{02} \ll N_{01}$; $N_{02} = 40 \div 70$) - количество базовой выборки, требуемое для восстановления функциональных зависимостей (ФЗ);

- приведение исходной информации к некоторому стандартному виду, который обеспечивает возможность формирования функциональных зависимостей. С учетом предлагаемой методологии в качестве базовых аппроксимирующих функций выбираются полиномы Чебышева, что обуславливает нормирование всей исходной информации к отрезку $[0,1]$.

Восстановление ФЗ и выявление закономерностей по эмпирическим дискретно заданным выборкам, включающее следующую последовательность взаимосвязанных задач [7]:

- формирование приближающих функций в виде иерархической многоуровневой системы моделей;
- выбор класса и структуры приближающих функций при формировании функциональных зависимостей;
- выбор критериев, принципов, подходов и методов построения приближающих функций;
- установление связей восстановленных приближающих функций с функциями риска;
- восстановление функциональных зависимостей по N_{02} заданным выборкам.

Процедура квантования исходных переменных

- восстановление функциональных зависимостей по N_{02} выборкам, смещенным на k ($k = 1 \div 15$) значений;
- выявление случайного сбоя с учетом элементов робастности с целью обеспечения минимизации уровня зависимости от погрешности измерения переменных $x_j, j = \overline{1, n}; y_i, i = \overline{1, m}$ (процедура «ступенька»).

Построение процесса технического диагностирования:

- функциональных зависимостей на p выборок с использованием свойств полиномов Чебышева;
- установление причин возможного перехода штатной ситуации в нештатную;
- обеспечение живучести и работоспособности СТС.

3. Обеспечение безопасности и живучести функционирования сложных технических систем

Предложенная стратегия гарантированной безопасности функционирования СТС, реализованная в виде инструментария ИПТД, обеспечивает предотвращение неработоспособности и нештатных ситуаций функционирования объекта. Путем системной и непрерывной оценки параметров функционирования объекта в реальном режиме времени выявляются ситуации, которые потенциально могут привести к выходу объекта за пределы функционирования в штатном режиме. Одновременное сопровождение и интегрированная оценка показателей конечного количества функционально динамических параметров позволяет осуществлять корректировку процессов функционирования объекта любого порядка сложности. Для ситуаций, развитие которых приводит к возможным отклонениям параметров от штатного режима функционирования объекта, возможно своевременное принятие решения об изменении режима функционирования объекта, или искусственного корректирования ряда параметров с целью влияния на измененный режим и возвращение его значений в режим штатного функционирования. Принципы, которые заложены в реализацию стратегии гарантированной безопасности функционирования СТС, обеспечивают гибкий подход к своевременному обнаружению, распознаванию, прогнозированию и системному диагностированию факторов и ситуаций рисков, формированию и реализации рационального решения за практически приемлемое время в пределах неустраняемого временного ограничения.

Список литературы

1. Pankratova N.D. System strategy for guaranteed safety of complex engineering systems //Cybernetics and Systems Analysis: Volume 46, Issue 2 (2010). – P. 243-251.
2. Котельников В.Г., Лепеш Г.В., Мартыщенко Л.А. Системный анализ качества и надежности сложных антропогенных комплексов //Технико-технологические проблемы сервиса. Выпуск N4 (26). -2013.- С.35-41.
3. Кулик А.С., Гавриленко О.И. Обеспечение отказоустойчивости систем управления статически неустойчивыми динамическими объектами // Успехи современной радиоэлектроники. №2. - 2004. – С.52-75.
4. Fagarasan I. Fault detection and diagnosis of technical systems / Fagarasan I., St Iliescu S. // Proceedings of the 9th WSEAS International Conference on Automation and Information, Bucharest, Romania, Jun, 24-26, 2008. – 2008. – P. 446-453.
5. Pankratova N. System approach to estimation of guaranteed safe operation of complex engineering systems // International Book Series «Information science&computing». –New Trends in Information Technologies. ITHEA. SOFIA. - 2010. –P.115-128.

6. Pankratova N., Kurilin B. Conceptual foundations of the system analysis of risks in dynamics of control of complex system safety. Part 2. The general problem of the system analysis of risks and the strategy of its solving. // Journal of automation and information Vol.33, №4. - 2001. - P.1–14.

7. Панкратова Н.Д. Системная оптимизация конструктивных элементов современной техники. //Кибернетика и системный анализ, №3. - 2001. - С.119-131.

УДК 004.4

Башловкина Валерия Викторовна,

аспирант

Бойков Леонид Владимирович,

аспирант

Станкевич Лев Александрович,

профессор, канд. техн. наук

АРХИТЕКТУРА ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ АВТОНОМНЫХ РОБОТОВ

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Россия, Санкт-Петербург, (812) 297–14–40

stankevich_lev@inbox.ru

Аннотация. В данной работе представлена архитектура программно-коммуникационной платформы для управления группой роботов в автономной миссии, выполняющейся в заранее неопределенной среде. Рассматривается абстракция слоев платформы для расширения области применения программного комплекса. Приведено краткое описание применяемой сетевой архитектуры маршрутизации сообщений. Приведены рекомендации по улучшению распознавания объектов среды в игровой платформе RoboCup.

Ключевые слова: групповое управление, робототехника, программная архитектура, delay-tolerance networking, техническое зрение, RoboCup.

Valerya V. Bashlovkina,

postgraduate

Leonid V. Boykov,

postgraduate

Lev A. Stankevich,

PhD. professor

SOFTWARE COMMUNICATION PLATFORM ARCHITECTURE FOR ROBOTS GROUP MANAGEMENT IN AUTONOMOUS MISSION

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Russia. St. Petersburg, (812) 297–14–40
stankevich_lev@inbox.ru

Abstract. This paper presents the software communication platform architecture for the management of a group of robots in autonomous mission running in advance uncertain environment. We consider the abstraction layers of the platform for the expansion of the application software. A brief description of the applied network message routing architecture is given. Also, there are several recommendations for improving the recognition of objects in the RoboCup game environment.

Keywords: group management, robotics, delay-tolerance networking, programming architecture, image processing, RoboCup.

Введение

В настоящее время создаются различные варианты мобильных роботов, способных целенаправленно работать в автономном режиме без внешнего управления. Такие автономные роботы могут применяться для выполнения задач транспортирования объектов или манипулирования ими на значительном удалении от людей, например, в опасных для человека экстремальных условиях. Часто автономные роботы оснащаются интеллектуальными системами управления, что значительно увеличивает их функциональные возможности. Интеллектуальное управление позволяет организовать групповую работу автономных роботов, где каждый робот должен выполнять свою работу в коллективе себе подобных, не мешая или даже помогая другим роботам. Наиболее сложным вариантом групповой работы является так называемая командная работа, где каждый робот должен учитывать определенные обязательства перед другими роботами команды. Команды роботов могут решать задачи в условиях противодействия, что актуально, например, для военных или игровых приложений.

В данной работе рассмотрены принципы и методы построения архитектуры платформы для управления группой автономных роботов.

Архитектура платформы

В качестве среды для тестирования разрабатываемой в рамках данной работы платформы была взята платформа RoboCup. Эта игра является наглядной моделью, которая позволяет исследовать возможности различных алгоритмов управления противоборствующими группами роботов. Была выбрана платформа стандартной лиги (*RoboCup Standard Plat-*

form League). Соревнование в стандартной лиге проводится на футбольном поле размером 6 на 9 м. Играют одинаковые гуманоидные роботы NAO компании Aldebaran Robotics.

Разрабатываемая платформа должна обеспечивать взаимодействие роботов и их координации при решении поставленных пользователем задач. Кроме того, планируется подготовка программных средств для упрощения формулирования задач роботу или группе роботов, обеспечения возможности повторного применения программных библиотек, созданных для различных целей в робототехнике.

При построении архитектуры учитывается тот факт, что каждый объект группы является отдельным автономным роботом, а среда, в которой происходит работа, может не позволять использовать некий единый сервер для управления всеми роботами в реальном времени. К данным ограничениям могут относиться:

Схематическое изображение архитектуры платформы для группового управления приведено на рис. 1.

Каждый робот состоит из двух частей:

Аппаратная, которая включает в себя:

аппаратное обеспечение (процессор, память и т.д.);

приводы робота (ноги, колеса, дисплей и т.д.) – все, что исполняет команды или выводит информацию. Именно на них поступают данные из пользовательского приложения;

сенсоры (камера, микрофон, сонар и т.д.) – устройства, с которых агент получает информацию из внешнего мира.

Программная, которая включает в себя;

операционную систему (например, GNU/Linux), которая содержит необходимые программы (драйверы) для абстракции аппаратного уровня от пользовательских приложений;

дополнительные библиотеки/модули для работы программы;

одна или несколько пользовательских программ, выполняющихся в изолированном окружении *Linux-контейнера*.

Программная платформа построена таким образом, чтобы был возможен ее запуск в полностью виртуальном режиме, т.е. ее экземпляры могли бы быть полноценными участниками сети, но при этом не иметь никаких физических сенсоров или приводов. Данные экземпляры могут выступать в роли *облачных провайдеров* (т.е. служить для выделения вычислительных ресурсов для физических роботов), либо, например, служить в качестве сборщиков информации сети для отладочных целей.

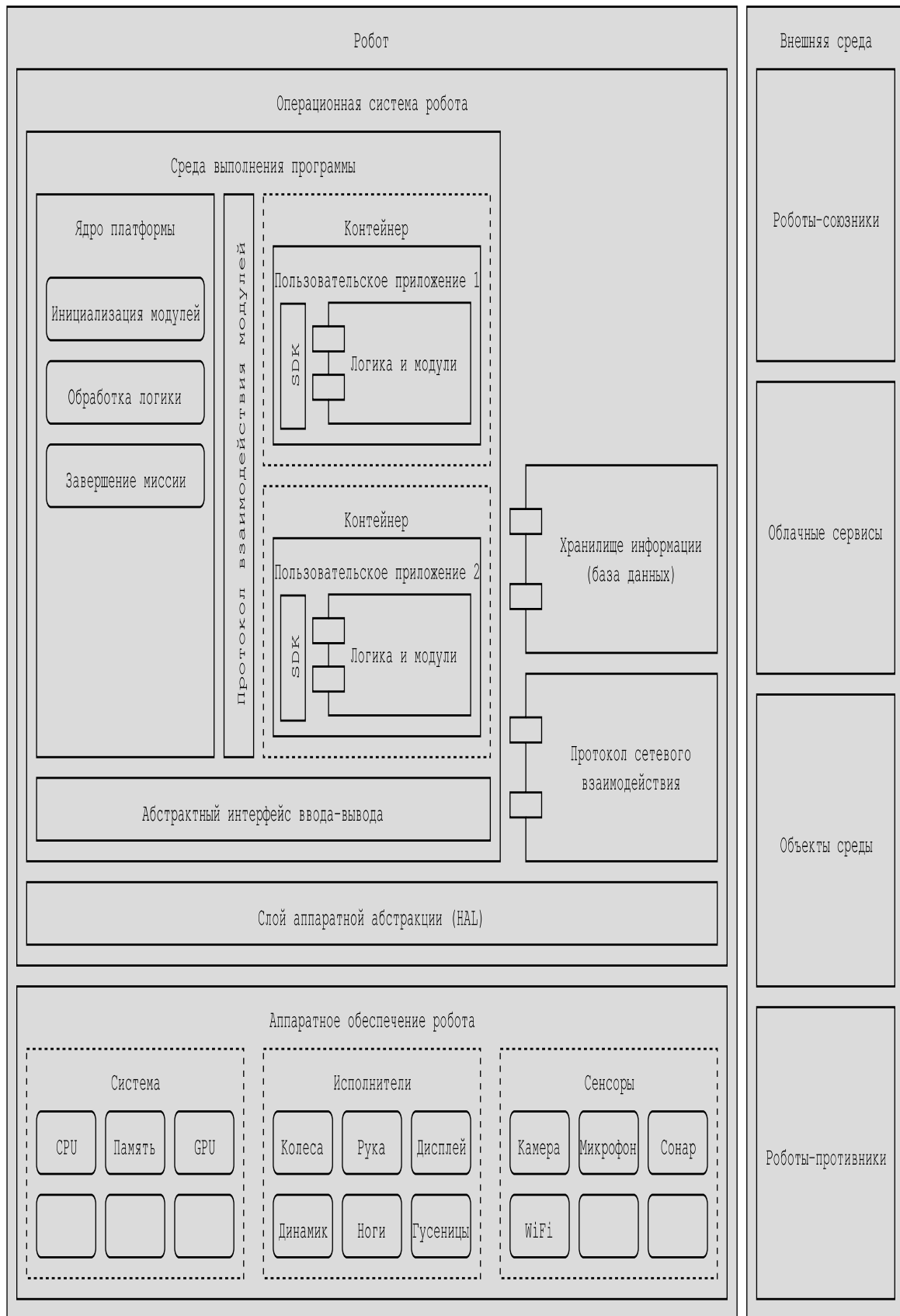


Рис 1. Архитектура платформы для управления группой роботов

Контейнеризация пользовательских приложений позволяет изолировать логические модули платформы друг от друга, что помогает оперативно решать проблемы в случае необходимости перезагрузки определенного участка программы без перезагрузки всего робота (например, при критических ошибках пользовательской программы). Кроме того, контейнеры могут распространяться в виде пакетов, что позволяет добавлять функционал для роботов прямо во время выполнения миссии либо «собирать» пользовательское приложение на основе готовых контейнеров.

В качестве базы для логики пользовательского приложения используется распределенная модель конечных автоматов.

Интерфейс абстракции для ввода и вывода служит дополнительным *логическим* слоем аппаратной абстракции, он применяется для того, чтобы, например, общая команда *MoveForward* могла быть выполнена одинаково успешно и на колесной платформе, и на шагающей, и на подводной. Логика подобных действий может быть сконфигурирована в пользовательском приложении для каждого отдельного робота.

Взаимодействие ядра платформы с системными и пользовательскими модулями происходит при помощи *протокола взаимодействия модулей*, подразумевающего использование промежуточного постоянного хранилища информации «Key-Value». В качестве хранилища информации могут выступать различные СУБД. Например, если ресурсы робота сильно ограничены, то предпочтительнее использовать встраиваемую СУБД, например, SQLite или H2 вместо полноценной серверной СУБД. Операции CRUD (Create, Read, Update, Delete) могут быть абстрагированы по аналогии с подходом построения приложений ActiveRecord, описанным Мартином Фаулером в книге «Patterns of Enterprise Application Architecture» [1]. Данный подход позволяет абстрагировать код разработчика от конкретного «диалекта» SQL.

В случае, если робот в состоянии выполнить все требуемые задачей действия самостоятельно, программа отправляет необходимый код на исполнительные элементы. Если робот обладает информацией, которую не в состоянии самостоятельно обработать, либо он физически не может выполнить требуемые действия, запускается поиск робота с требуемым сервисом (или ролью в группе). Может выбираться самый оптимальный исполнитель (или группа исполнителей), в случае если требуется составить оценку окружения с разных точек зрения. Например, робот-футболист пытается найти мяч и опрашивает напарников на предмет кадров с их камер.

Протокол сетевого взаимодействия

Как было сказано выше, среда выполнения миссии может препятствовать организации централизованного группового управления, поэтому требуется применить сетевой протокол, который позволит использовать распределенные сетевые алгоритмы маршрутизации для *централизованной, децентрализованной и распределенной* архитектур.

Поскольку потенциально среда выполнения автономной миссии может мешать постоянной поддержке связи всех роботов друг с другом, либо характер перемещения роботов подразумевает определенное время сеанса связей определенных роботов (например, системы синхронизации на борту рейсовых автобусов), предлагается применять в качестве коммуникационной составляющей архитектуру DTN (delay-tolerant networking), описанную в [2]. Архитектура DTN разработана с целью решения определенных проблем при использовании TCP/IP. Авторы DTN вводят понятие *бандл* (пакет, bundle), а также *слой бандлов*, который находится над транспортным уровнем (в сетевой модели OSI). Устройства, которые реализуют данный слой бандлов, называются *узлы DTN* (DTN nodes). Из-за предположения, что участники сети не всегда могут видеть друг друга или проложить маршрут от одного узла DTN к другому, вводится дополнительное требование к участникам сети: наличие постоянного запоминающего устройства (присутствует на рисунке 1), которое помогает бороться с прерываниями при коммуникации.

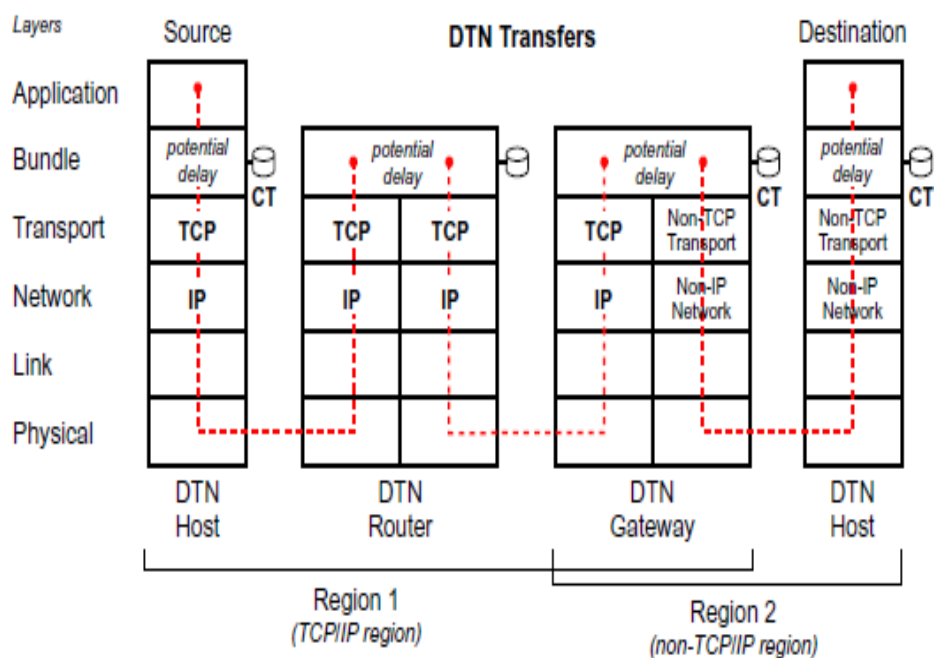


Рис 2. Передача сообщений по протоколу DTN

В соответствии с архитектурой DTN каждому узлу присваивается имя согласно системе именования, основанной на URI (Uniform Resource

Identifiers), способной объединять различные схемы именования и адресации в одном общем синтаксисе именования. Кроме того, DTN включает в себя базовую модель безопасности, которая позволяет защитить инфраструктуру от несанкционированного доступа.

Архитектура DTN поддерживает не только стандарт TCP/IP для передачи сообщений, что позволяет ей быть интероперабельной, т.е. узлы DTN могут одинаково успешно передавать сообщения как при помощи TCP, так и при помощи, например, UDP пакетов. На рисунке 2 показана работа протокола DTN.

На *слое бандлов* сообщения произвольной длины от программ ADUs (Application Data Units), ориентированных на DTN, переводятся в бандлы. ADUs могут быть разделены («фрагментированы») на несколько объединенных пакетов (также называются «фрагменты» или «фрагменты бандла») во время передачи. Фрагменты являются самостоятельными бандлами и также могут быть разделены. На любом DTN узле два и более фрагмента могут быть переформатированы в новый бандл.

Каждый бандл построен согласно протоколу, описанному в [3]. Каждому сообщению присваивается идентификатор отправителя и получателя EIDs (Endpoint Identifiers), получателей может быть сразу несколько, если требуется оповестить сразу нескольких участников сети. Кроме того, указывается время создания сообщения и продолжительность актуальности сообщения, которое позволяет очищать сеть от устаревших сообщений. В случае, когда сообщение разбивается на несколько фрагментов, указывается идентификатор принадлежности ADUs и смещения текущего участка относительно полного сообщения.

Маршрутизация сообщений в сети может выполняться согласно выбранному протоколу маршрутизации в сети DTN, например, Epidemic routing, MaxProp, PРоPHET или RAPID.

Техническое зрение

Для тестирования представленной агентской платформы используется среда стандартной лиги футбола роботов RoboCup, поэтому предполагается, что вся группа однородна и состоит из одинаковых гуманоидных роботов NAO. Для осуществления командной работы каждый робот должен иметь представление об элементах футбольного поля, таких как мяч, ворота и разметка, а также о местоположении других игроков и себя самого.

При распознавании основных объектов поля учитываются две ключевых их характеристики: цвет и форма. Кадры, получаемые с камеры робота, по умолчанию представлены в цветовой схеме RGB (Red, Green, Blue – красный, зеленый, синий), однако она, хоть и является самой распространенной для представления изображений, не универсальна, поэто-

му были рассмотрены и использованы альтернативные цветовые схемы для цифровых изображений, такие как HSV (Hue, Saturation, Value – тон, насыщенность, значение) и YUV (где Y – яркостная составляющая, U и V – цветоразностные составляющие).

Для анализа цветное изображение переводится его в бинарный, полностью черно-белый формат.

Распознавание ворот происходит в соответствии с их ключевыми характеристиками, как упоминалось выше: сначала производится фильтрация пикселей с выделением пикселей желтого цвета, затем реализуется следующий алгоритм поиска ворот: (1) изображение переводится в пространство HSV; (2) выделяется канал S; (3) осуществляется бинаризация, в которой порогом выступает удвоенное среднее значение; (4) строится гистограмма, отображающая количество белых пикселей в каждом столбце оригинального изображения; (5) пики этой гистограммы принимаются за столбы ворот (рис. 3).

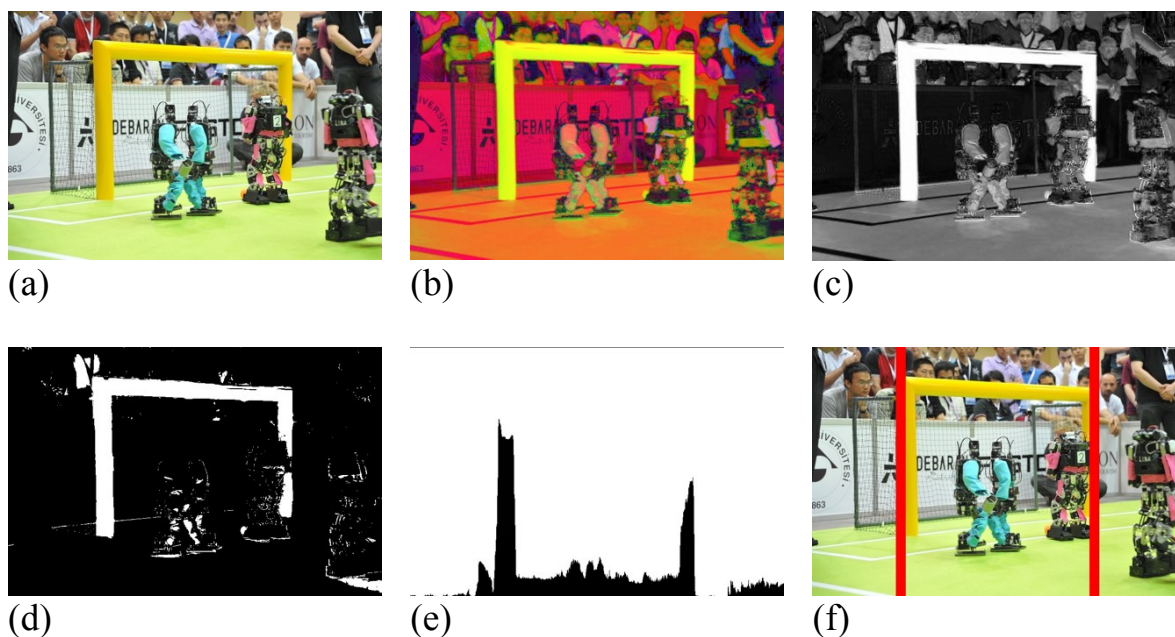


Рис 3. Пример работы алгоритма поиска ворот. (a) оригинальное изображение; (b) представление модели HSV; (c) канал S; (d) бинаризация изображения канала; (e) гистограмма яркости столбцов; (f) найденные ворота

При поиске мяча осуществляется следующая последовательность действий: (1) изображение переводится в пространство YUV; (2) выделяется канал V; (3) производится бинаризация, в которой порогом выступает удвоенное среднее значение; (4) при помощи алгоритма Хафа выделяются круги на изображении (рис.4).

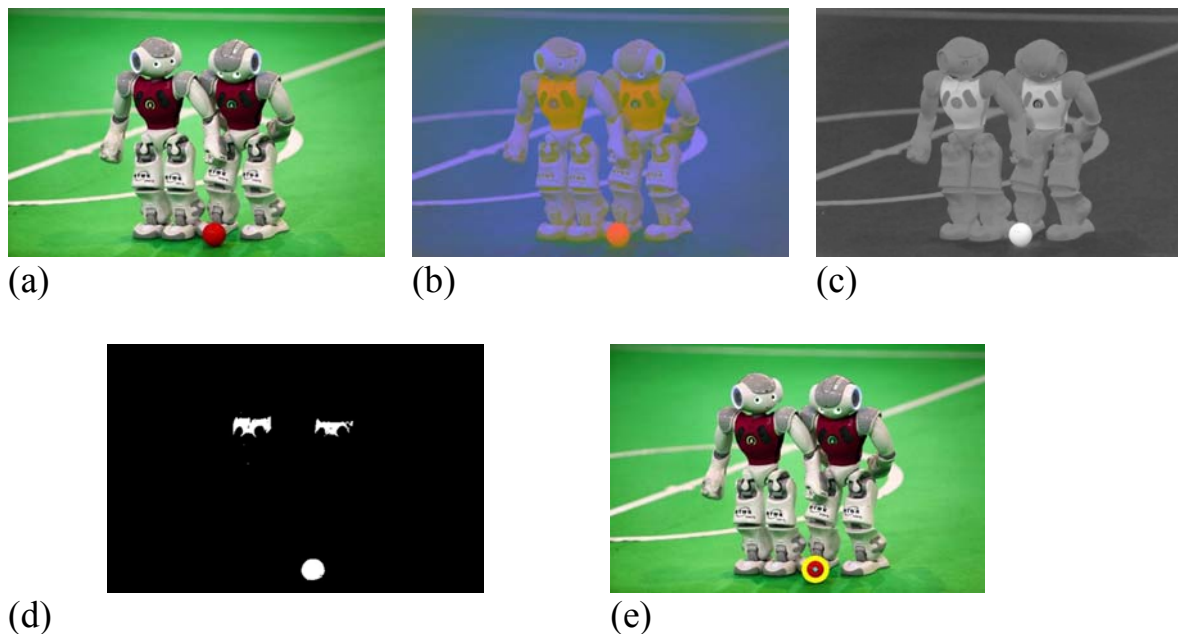


Рис 4. Пример алгоритма поиска мяча. (a) оригинальное изображение; (b) представление модели YUV; (c) канал V; (d) бинаризация изображения канала; (e) найденный мяч

Преобразование Хафа [4] является одним из наиболее известных алгоритмов для выделения объектов на изображении. Оно позволяет находить геометрические элементы, такие как прямые линии и эллипсы, используя процедуру голосования. Процедура голосования применяется к пространству параметров, из которого и получаются объекты определенного класса фигур по локальному максимуму в так называемом накопительном пространстве (accumulator space), которое строится при вычислении трансформации Хафа.

Разметка поля не только помогает роботу локализовать себя, она также полезна для поиска других роботов: т.к. они стоят на поле, то неминуемо перекрывают часть разметки. Принятие белого цвета просто как самого светлого на обесцвеченном изображении – не самый точный подход. Хотя и существует несколько способов обесцвечивания изображения, при дальнейшей бинаризации по среднему значению они все равно добавляют множество лишних шумов, мешающих поиску необходимых объектов.

Чтобы разрешить эти проблемы, был использован следующий подход для поиска белых объектов: яркость пикселя результирующего изображения вычисляется как минимальное значение яркости из всех трех (R, G, B) каналов (рис. 5, 6):

$$Y = \min(R, G, B).$$

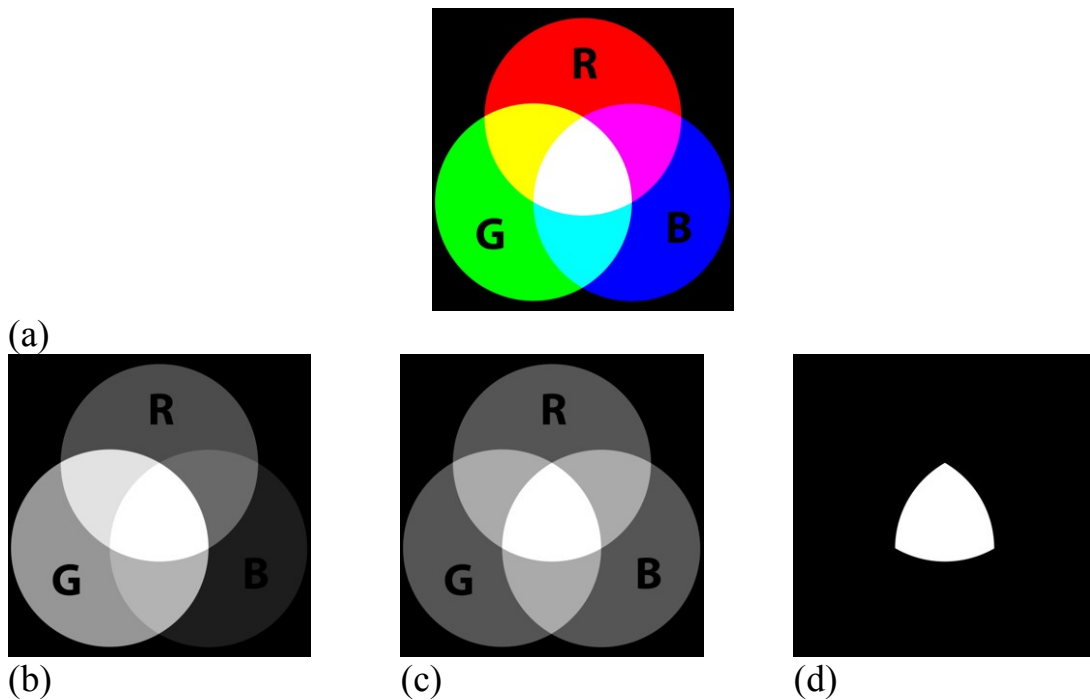


Рис 5. Пример работы алгоритма фильтрации белого цвета. (a) обесцвечивание OpenCV; (b) математическое обесцвечивание; (c) представленный алгоритм

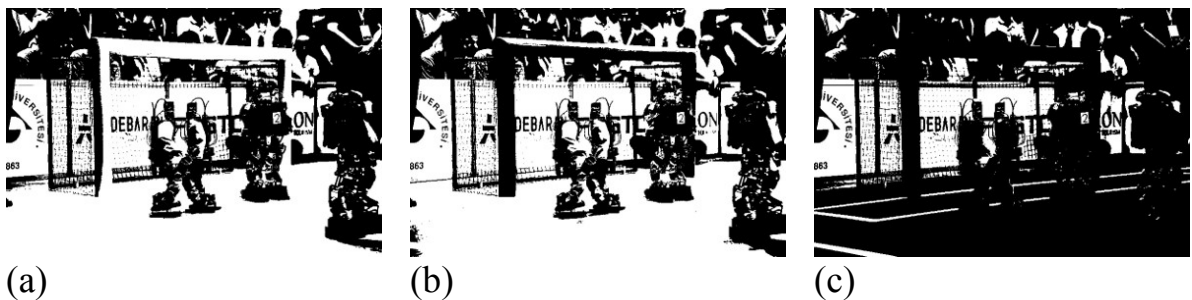


Рис 6. Пример работы алгоритма фильтрации белого цвета (изображения бинаризованы). (a) обесцвечивание OpenCV; (b) математическое обесцвечивание; (c) представленный алгоритм

В дополнение к написанному выше требуется учитывать, что при цифровой обработке любых изображений могут возникнуть проблемы, связанные с неравномерной освещенностью пространства, неидеальность камеры и пр., вследствие чего, прежде чем приступать к алгоритмам фильтрации цветов, требуется улучшить изображение каким-либо образом. Перечислим несколько способов коррекции качества получаемых с камеры данных:

1. Линейная коррекция уровней является растяжением гистограммы значений яркости точек на весь диапазон $[0, 255]$.
2. Гамма-коррекция – это нелинейное изменение яркости по формуле $I = c \cdot I^{\gamma}$.
3. Алгоритм SSR (Single-Scale Retinex) [5] – выравнивает освещенность изображения, сохраняя локальный контраст в плохо и ярко освещенных областях. Коррекция происходит по формуле:

$$R(x, y, \sigma) = \log[I(x, y)] - \log[I(x, y) \cdot G(x, y, \sigma)];$$

4. Выравнивание средних значений по всем каналам по отдельности цветного изображения.

Заключение

В результате проведенной работы была сформулирована концептуальная модель распределенной платформы для управления группой роботов в автономной миссии. Позже была спроектирована архитектура платформы с учетом особенностей группового управления, а также современных технологий в области построения программных архитектур. В качестве протокола сетевой маршрутизации был выбран протокол DTN, который является достаточно гибким для применения при решении задачи группового управления.

Был разработан ряд фильтров для распознавания объектов среды игровой платформы RoboCup, которые показали лучшие результаты по сравнению со стандартными методами поиска элементов окружения.

Список литературы

1. Martin Fowler. *Patterns of Enterprise Application Architecture*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2002. Boston, MA, USA.
2. V. Cerf и др. *Delay-tolerant Networking Architecture*. RFC 4838. 2007. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc4838>.
3. K. Scott, S. Burleigh. *Bundle Protocol Specification*. RFC 5050. 2007. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc5050>.
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Преобразование_Хафа.
5. <https://habrahabr.ru/post/150767/>.

УДК 004.3, УДК 62-2

Васильянов Георгий Сергеевич,

Аспирант,

Баринов Дмитрий Сергеевич,

Студент,

Болсуновская Марина Владимировна,

Канд. техн. наук, доцент каф.

СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИКИ

Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, кафедра КСПТ, g.vasilyanov@mail.ru
barinovdmitrii@gmail.com, bolsun_hht@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению принципов построения системы технического стереоскопического зрения на современных компонентах для использования в робототехнике. Описываются основные

требования к построению конкретной системы технического зрения, и описываются критерии выбора комплектующих для данных систем.

Ключевые слова: Робототехника, системы технического зрения, машинное зрение, современные компоненты

Georgiy S. Vasilyanov,

Postgraduate,

Dmitriy S. Barinov,

Student in the master's programme,

Marina V. Bolsunovskaya,

PhD of Engineering Sciences, Assistant Professor

SYSTEMS OF TECHNICAL STEREOSCOPIC VISION FOR ROBOTS

Saint-Petersburg, Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, department CSSE, g.vasilyanov@mail.ru, barinovdmitrii@gmail.com, bolsun_hht@mail.ru

Abstract. This article is devoted to consideration of the principles of creation of system of technical stereoscopic vision, based on modern components for use in robotics. It is described the main requirements to creation of concrete system of technical sight, and criteria of the choice of accessories for these systems are described.

Keywords: Robotics, Stereoscopic, Technical Vision, Modern Components.

Робототехника является одной из наиболее динамично развивающихся областей техники, что обусловлено неуклонно растущей необходимостью частичной или полной автоматизации широкого класса процессов управления. Различают два основных класса роботов: с непосредственным удалённым управлением, то есть движением и маршрутом робота управляет удалённо оператор, а также автономные роботы, в задачу которых входит автономное и автоматизированное следование к поставленной цели. Зачастую, такой целью служит следование к определённой заданной точке на карте, в условиях неопределённости местности, по которой планируется передвижение. Для выполнения поставленной цели, необходимо выполнить ряд задач, в частности:

- 1) Распознавание препятствий, возникающих на пути, их геометрических размеров и типа;
- 2) Обход распознанных препятствий или их преодоление;
- 3) Адаптация к неровностям и неоднородности поверхности;
- 4) Навигация и ориентация в окружающем пространстве;

5) Принятие управленческих и тактических решений с использованием вычислительных платформ.

Для выполнения данных задач роботы оснащаются сетью датчиков, которые собирают информацию об окружающей обстановке, а также о состоянии робота.

Также, как и человек, большую часть информации робот может получить при помощи зрения. Для роботов данный тип зрения называется техническим или машинным зрением.

В частности, в данной статье пойдёт речь о системе технического стереоскопического зрения (далее – СТСЗ), построенной на базе современных компонентов и рассмотрены основные принципы построения данных систем.

Общий состав СТСЗ

На рис.1 приведён общий вид СТСЗ.

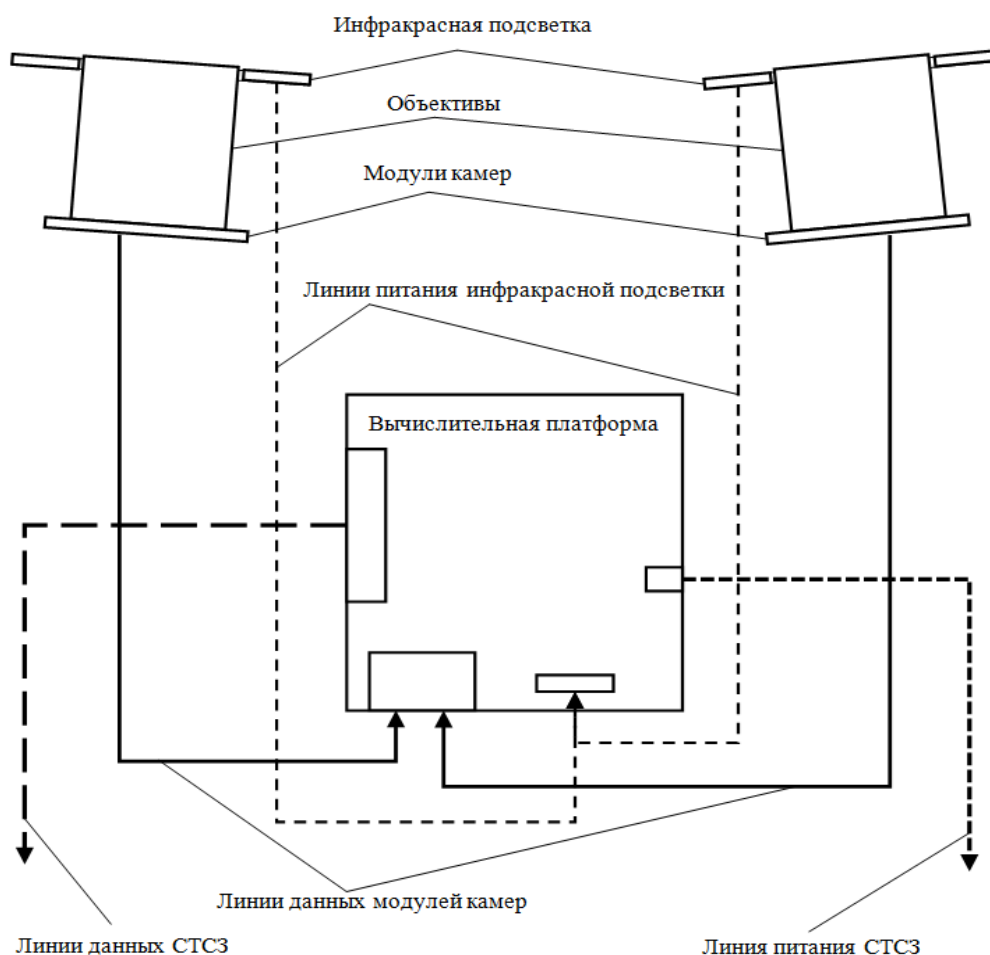


Рис.1. Общий вид СТСЗ

В состав СТСЗ входят: вычислительная платформа NVidia Jetson TK1, модули камер ELP-USBFHD01M, объективы Kowa LM3NCM, сис-

тема инфракрасной подсветки, а также система охлаждения, собранные в едином корпусе.

Вычислительная платформа NVidia Jetson TK1

Основные требования к вычислительной платформе:

- 1) Достаточная мощность для обработки на скорости от 25 к/с двух изображений с камер размером 1920x1080 в формате MJPG;
- 2) Наличие возможности подключения двух камер по интерфейсу USB 2.0 и выше;
- 3) Наличие операционной системы на вычислительной платформе;
- 4) Наличие универсальных портов ввода-вывода, портов RS-232 и Ethernet.

Всем данным требованиям в полной мере соответствует вычислительная платформа NVidia Jetson TK1. Приведём основные характеристики платформы (рис.2) и общий вид платформы (рис.3).

ПЛАТФОРМА ДЛЯ РАЗРАБОТОК JETSON TK1 ВКЛЮЧАЕТ В СЕБЯ	
> Систему-на-чипе Tegra K1	> 1 сетевой адаптер RTL8111GS Realtek GigE LAN
> NVIDIA Kepler GPU с 192 ядрами CUDA	> 1 порт SATA
> Четырёхъядерный процессор ARM® Cortex™-A15 с архитектурой NVIDIA 4-Plus-1™	> 4 МБ загрузочной флэш-памяти с интерфейсом SPI
> 2 ГБ памяти x16, 64-битная шина	Доступ к сигналам посредством порта расширения:
> 16 ГБ флеш-памяти, соответствующей спецификации eMMC 4.51	
> 1 слот mini-PCIE половинного размера	> DP/LVDS
> 1 полноразмерный слот SD/MMC	> Touch SPI 1x4 + 1x1 CSI-2
> 1 полноразмерный слот HDMI	> GPIOs
> 1 разъем USB 2.0 типа Micro-AB	> UART
> 1 разъем USB 3.0 типа A	> HSIC
> 1 порт последовательного интерфейса RS232	> i2c
> 1 аудио кодек ALC5639 Realtek с входом для микрофона и линейным выходом	

Рис.2. Основные характеристики платформы NVidia Jetson TK1



Рис.3. Общий вид платформы NVidia Jetson TK1

Вычислительная платформа работает под управлением ОС Linux Ubuntu и разработана специально для применения в робототехнике и, в частности, в системах технического зрения (далее – СТЗ). Из основных средств для использования в СТЗ, можно выделить:

1) Мощный процессор со встроенным графическим процессором NVidia Kepler, в котором используются 192 ядра CUDA для параллельного выполнения задач по обработке изображений, а также выполнения математических и логических операций;

2) Большой объём оперативной памяти в 2 ГБ, который позволяет быстро производить вычисления различной сложности;

3) Официальная поддержка библиотеки компьютерного зрения OpenCV, которая дополнительно оптимизирована для работы на вычислительной платформе NVidia Jetson TK1. В частности, большое количество алгоритмов, которые можно выполнять параллельно, перенесены для вычисления на графический процессор, на ядра CUDA. Кроме того, некоторые функции дополнительно оптимизированы для более быстрого вычисления на имеющейся системе на кристалле. Всё это позволяет получить существенный прирост производительности при использовании данной библиотеки с данной вычислительной платформой;

4) Наличие большого количества портов ввода-вывода, а также интерфейса ввода-вывода общего назначения (GPIO).

Модули камер ELP-USBFHD01M

Данные модули фабричного китайского производства имеют небольшие габариты и полностью совместимы со стандартом CCTV для систем видеонаблюдения и технического зрения. Кроме того, модули построены на базе широко распространённого в носимой электронике

CMOS модуля матрицы OV2710, производства компании OmniVision. Общий вид данных модулей представлен на рис.4.



Рис.4. Общий вид модулей ELP-USBFHD01M

Основные характеристики модулей:

- 1) Крупный сенсор CMOS 1/2.7" OV2710;
- 2) Отсутствие инфракрасного фильтра на матрице, что даёт возможность использования модуля с системами инфракрасной подсветки, в том числе и с модулями автоматического переключения день/ночь;
- 3) Захват видеоизображения с разрешением 1920x1080 пикс. (FullHD) при 30 кадрах в секунду в формате MJPEG;
- 4) Высокая чувствительность и малое количество цифрового шума;
- 5) Соответствие стандарту CCTV.

Сам стандарт CCTV (Closed Circuit Television – система телевидения замкнутого контура) позволяет использовать огромный выбор как модулей камер, так и объективов, разработанных под данный стандарт. Таким образом, ССТЗ может быть гибко перестроена под необходимые задачи путём изменения конфигурации модулей камер и/или объективов. В частности, могут быть установлены следующие комплектующие: блоки инфракрасной подсветки (в том числе и с автоматическим включением), блоки переключения режимов день/ночь для камеры, объективы под крепления C-mount, CS-mount, резьбовое соединение 12мм, модули управления автофокусом, диафрагмой, кратностью приближения и другими функциями специализированных объективов.

Среди номенклатуры объективов, выпускаемых под основные стандарты (C-mount, CS-mount) имеются объективы с фиксированным или переменным фокусным расстоянием, с автоматическим или ручным управлением диафрагмой, с автоматическим или ручным управлением кратностью приближения. Кроме того, под данные стандарты выпускаются объективы, специально предназначенные для использования в СТЗ. Пример многообразия выпускаемых объективов показан на рис.5.



Рис.5. Примеры объективов для крепления C-Mount

Объективы Kowa LM3NCM

Для использования в разрабатываемой СТЗ, объектив должен обладать следующими основными характеристиками:

- 1) Иметь угол обзора минимум 54° ;
- 2) Иметь минимальные геометрические искажения (далее – ГИ) перспективы;
- 3) Иметь высокую светосилу для работы в условиях недостаточной видимости и/или в инфракрасном диапазоне;
- 4) Иметь стандартное крепление для CCTV-совместимых компонентов.

Всем перечисленным характеристикам соответствует выбранный объектив Kowa LM3NCM. Данный объектив относится к линейке высококачественных объективов для СТЗ и видеонаблюдения, обладает широким углом обзора (66.9° по вертикали и 82.4° по горизонтали), имеет низкую дисторсию (0.46%), а также высокой светосилой (f/2.4). Объектив спроектирован для крепления C-Mount. На рис.6 показан внешний вид, а так же геометрические размеры объектива.



Рис.6. Общий вид объектива Kowa LM3NCM и его геометрические размеры

Одним из основных критериев выбора данного объектива являлось сочетание достаточно широкого угла обзора в сочетании с низким уровнем ГИ. В общей сложности это позволило избежать дополнительной обработки получаемого изображения для коррекции ГИ программным путём на базе вычислительной платформы, что экономит вычислительные ресурсы. Кроме того, программная коррекция ГИ ухудшает конечное изображение и не позволяет добиться высокой точности при определении геометрических параметров объектов, а также расстояний до определённых точек в пространстве. Если же не корректировать ГИ, то эффект будет аналогичный.

Система инфракрасной подсветки

Для обеспечения возможности передвижения робота в условиях недостаточной освещённости, была разработана система инфракрасной подсветки, расположенной вокруг объективов обеих камер. Такое расположение подсветки обусловлено тем, что эффективность подсветки тем выше, чем ближе источник света к оптической оси объектива. Таким образом, обеспечивается максимальный коэффициент полезного действия (КПД) подсветки.

Дополнительные компоненты

Для подключения двух камер была использована плата расширения USB to MiniPCI-e, которая позволила подключить обе камеры к двум расположенным на ней разъёмам при помощи оригинального кабеля. На рис.7 показан общий внешний вид описываемого модуля.

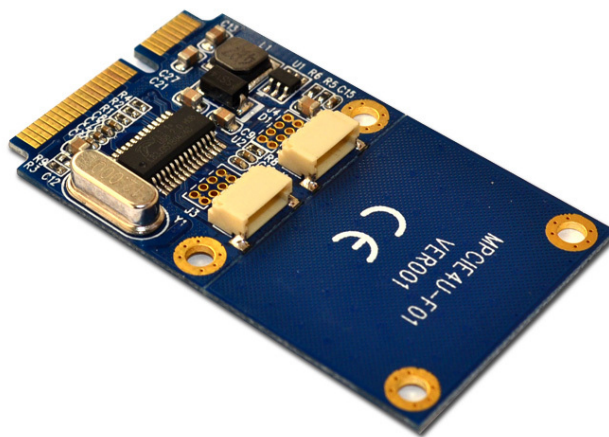


Рис.7. Плата расширения USB to MiniPCI-e

Заключение

В данной статье были рассмотрены принципы построения системы технического зрения на основе современных комплектующих для выполнения задач по распознаванию объектов, их локализации, определению геометрических размеров, а так же расстояний до объектов. Стоит

отметить, что программная часть для каждой из задач составляется отдельно и не является предметом освещения в рамках текущей статьи.

Список литературы

1. Встраиваемая платформа для разработок NVIDIA Jetson TK1 | NVIDIA [Электронный ресурс] URL: <http://www.nvidia.ru/object/jetson-tk1-embedded-dev-kit-ru.html> (Дата обращения 12.05.2016)
2. Full HD USB Camera Module 1080P USB2.0 OV2710 Color Sensor Support MJPEG with 3.6MM Lens [Электронный ресурс] URL: <http://www.elpccv.com/full-hd-usb-camera-module-1080p-usb20-ov2710-color-sensor-support-mjpeg-with-36mm-lens-p-203.html> (Дата обращения 11.05.2016)
3. Телевидение. Что такое CCTV. Это полезно знать | ГК ПРОКСИМА [Электронный ресурс] URL: http://www.proximas.ru/closed_circuit_television_cctv.html (Дата обращения 11.05.2016)
4. KOWA FA LM3NCM Wide Megapixel Machine Vision Lens [Электронный ресурс] URL: <http://phoenix-machine-vision.com/lenses/kowa-lenses/wide-megapixel/lm3ncm/> (Дата обращения 13.05.2016).

УДК 658.512.88

Григорюк Екатерина Николаевна¹,
Аспирант,

Булкин Владислав Венедиктович²,
Д.т.н., профессор кафедры Техносферной Безопасности

ПРОМЫШЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

г. Муром, Россия, Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»,
¹kat-grigoryuk@yandex.ru, ²vvbulkin@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены системы автоматического регулирования и автоматизированные системы управления технологическими процессами, проведен их сравнительный анализ. Представлены некоторые классические и современные подходы к построению. Предложена нестандартная система управления технологическим процессом.

Ключевые слова: система управления, сложный технологический процесс, технологический объект управления, система автоматического регулирования, автоматизированная система управления.

Ekaterina N. Grigoryuk¹,

Postgraduate student,

Vladislav V. Bulkin²,

Doctor of Engineering, the professor of the department of health and safety

INDUSTRIAL SYSTEMS OF AUTOMATION AND THE PRINCIPLES OF MANAGEMENT OF INFORMATION STREAMS IN TECHNO- LOGICAL PROCESSES

Murom, Russia, Murom Institute of Vladimir state University,

¹kat-grigoryuk@yandex.ru, ²vvbulkin@mail.ru

Abstract. The article deals with the automatic control system and automated control systems of technological processes, their comparative analysis. Some classical and modern approaches to construction are presented. The non-standard control system of technological process is offered.

Keywords: control system, a complicated process, process control object, the system of automatic regulation, the automated control system.

Введение

На протяжении нескольких десятилетий большое внимание уделяется исследованию созданию и внедрению систем автоматического регулирования (САР) и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), которые являются одним из направлений совершенствования управления производством и повышения его эффективности. Высокий уровень автоматизации технологических объектов позволяет повысить качество выпускаемой продукции и количественный коэффициент. АСУТП предназначена в первую очередь для выработки и реализации управляющих воздействий на технологический объект управления.

Целью работы является сравнение САР и АСУТП, анализ принципов управления, а так же структурирование и формализация этих принципов. Предложена нестандартная система управления ТП.

Стандартная система автоматического регулирования

Основной частью теории управления является теория автоматического регулирования. Существует стандартная система автоматического регулирования (САР) состоящая из объекта регулирования, датчика и автоматического регулятора. Стандартная блок-схема автоматического регулирования изображена на рисунке 1.

На САР воздействуют внешние факторы (возмущения $f(t)$) стремящиеся вывести ее из равновесия. Возмущения бывают: импульсные, гармонические, ступенчатые, стохастические, «белый шум» [1,2].

Цель САР – поддержание постоянного параметра или изменение его по заданному алгоритму, при этом регулируемая величина незначительно отличается от исходного значения.

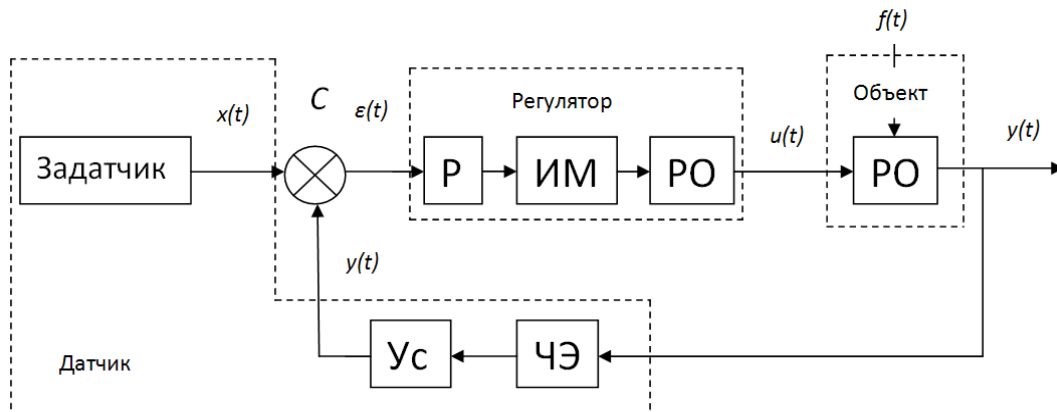


Рис. 1 Стандартная блок-схема автоматического регулирования

Используя некоторые известные подходы анализа систем или устройств автокомпенсации помеховых воздействий [3], следует обратить внимание на два принципа управления – регулирование по возмущению (РВ) и регулирование по отклонению (РО) [4].

Сущность принципа (регулирование по возмущению или компенсации) основано на выделении из общего количества возмущений $f(t)$, главного на которое реагирует САР. Компенсация влияния на регулируемый параметр $y(t)$ фундаментального возмущающего воздействия и регулирующего воздействия $u(t)$ формируется в САР, основываясь на результатах измерения главного возмущающего фактора, воздействующего на объект [5]. Блок-схема САР Понселе представлена на рис. 2.

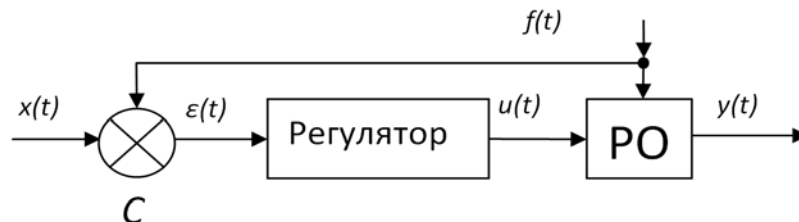


Рис. 2 Блок-схема САР Понселе
 $\varepsilon(t) = x(t) - y(t)$ – рассогласование

Достоинства:

- возможна полная инвариантность к определенным возмущениям;
- устойчивость системы в связи с отсутствием обратной связи.

Недостатки:

- большое количество возмущений требующих соответствующего количества компенсационных каналов;
- при изменении параметров регулируемого объекта возникают ошибки в управлении;
- возможность применения лишь при четко обозначенных характеристиках объекта.

Сущность принципа – регулирование по отклонению, основано на любом отклонении регулируемого параметра $y(t)$, от его исходного значения $x(t)$, обуславливает формирование регулирующего воздействия $u(t)$ независимо от характера и количества возмущений. Блок- схема САР Ползунова – Уатта изображена на рисунке 3.

Рассматриваемый регулируемый параметр $y(t)$ проходит процедуру сравнения с заданным параметром $x(t)$, определенное при этом рассогласование $\varepsilon(t)=x(t)-y(t)$ и регулятор вырабатывают регулирующее воздействие $u(t)$ (для создания управляющего воздействия необходимо существование ошибки) [5].



Рис. 3 Блок- схема САР Ползунова – Уатта
ОС – обратная связь

Достоинства:

- отрицательная обратная связь приводит к уменьшению ошибки не зависимо от факторов ее вызвавших;
- менее чувствительны к изменению параметров элементов системы, по сравнению с регулированием по внешнему воздействию (возмущению).

Недостатки:

- возникает проблема устойчивости;
- в простых одноконтурных системах нельзя достичь абсолютной инвариантности.

Комбинированное управление

Комбинированный принцип (замкнуто–разомкнутый принцип) представляет собой симбиоз принципа Понселе и принципа Ползунова – Уатта, сочетая их достоинства и недостатки. Блок-схема комбинированной САР изображена на рисунке 4.

Достоинства:

- наличие отрицательной обратной связи делает систему менее чувствительной к изменению параметров;
- добавление, каких-либо каналов (чувствительных к заданию или возмущению) не влияет на устойчивость контура обратной связи.

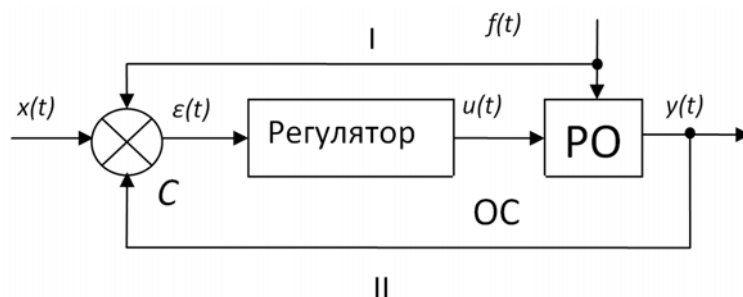


Рис. 4 Блок-схема комбинированной САР

Недостатки:

- затруднена практическая реализация каналов чувствительных к заданию или возмущению т.к. они содержат дифференцирующие звенья;
- форсирование допускают не все объекты.

Воздействие по нагрузке $f(t)$ обеспечивается за счет мгновенного формирования регулирующего воздействия $u(t)$ учитывая изменения нагрузки (контур I) и по отклонению (контур II), для исправления погрешностей возникших вследствие неточного регулирования при нагрузке [6].

Сравнение промышленных систем автоматизации

АСУТП качественно отличаются от САР.

САР предназначены для стабилизации режимов, процессов и агрегатов. САР как правило – это замкнутые системы управления, функционирующие без участия персонала. Основная цель – обработка задания в оптимальном режиме, обеспечивая стабилизацию технологического параметра или требуемой физической величины, при этом значение задания всегда известно и может быть изменяющимся или постоянным, но по заранее известному закону [7,8].

В отличие от САР структура АСУТП предполагает участие оператора в принятии решения по управлению ТО, включая в структуру контур формирования оператором управляющих воздействий т.к. основная цель АСУТП – это реализация оптимального режима работы ТО. Промышленные системы автоматизации изображены на рисунке 5.

Критериями оптимальности технологических режимов являются технико-экономические показатели (к.п.д., удельные расходы сырья, энергии, топлива и т.д.), получаемые в процессе вычислительных процедур и обычно непосредственно не могут быть изменены.

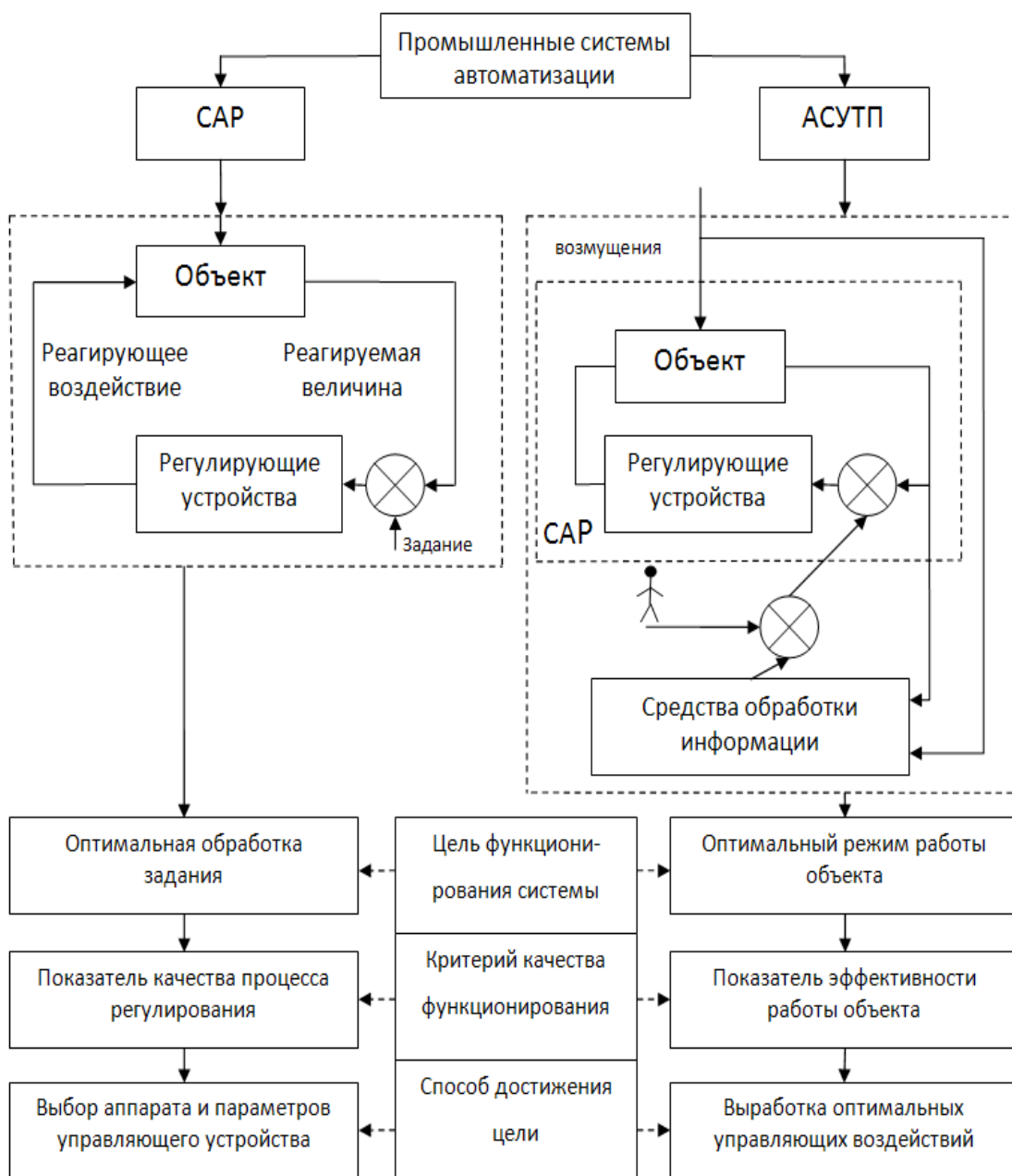


Рис. 5 Промышленные системы автоматизации

Система управления сложным технологическим процессом

Предложенная система управления (рисунок 6) основывается на структурном исследовании технологического процесса.

На входе в систему материальные и энергетические ресурсы, поставляемые вспомогательным производством. Исходя из теории автокомпенсации помеховых воздействий описание потребности представлено в виде:

$$P = U_0(t) \cdot e^{j[\omega \cdot t + \varphi_0(t)]}, \quad (1)$$

где $U_0(t)$ - количественная характеристика эталонного потока; ω - качественная характеристика; $\varphi_0(t)$ - фаза (временное отклонение) эталонного потока; t - время; j - мнимая единица. Составляющие физической операции Q ($Q=\{A,E,C\}$, где A и C — соответственно входной и выходной потоки; E — операция по преобразованию A в C .) выражены через соотношения

$$A = U_1(t) \cdot e^{j[\omega \cdot t + \varphi_1(t)]} \quad (2)$$

и

$$C = U_2(t) \cdot e^{j[\omega \cdot t + \varphi_2(t)]}, \quad (3)$$

где $U_1(t)$ и $U_2(t)$ - количественные характеристики, соответственно, входного и выходного потоков; $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$ - фазы (временные отклонения) входного и выходного потоков.

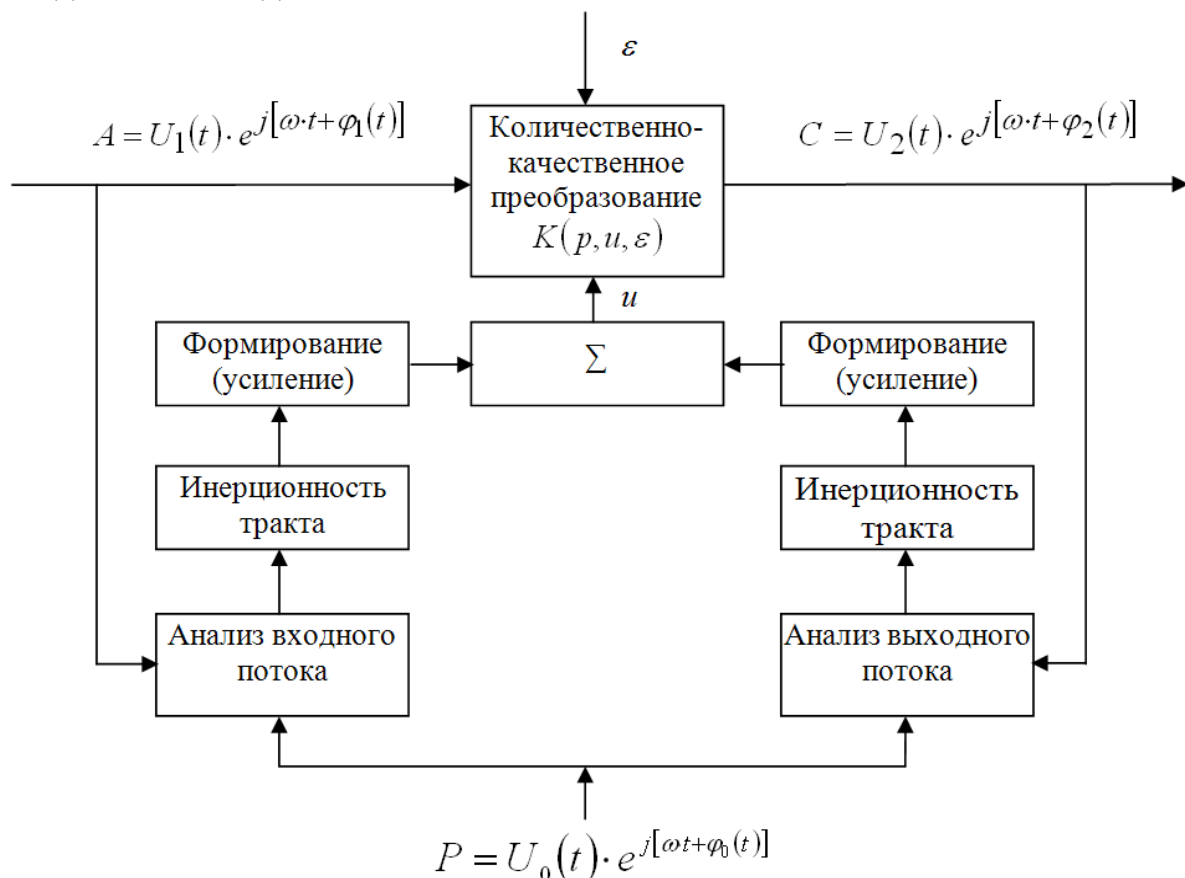


Рис.6 Система управления технологическим процессом

Основная (центральная) процедура СУСТП – это процесс изготовления изделий (процесс преобразования) E выражена через коэффициент количественно-качественного преобразования $K(p, u, \varepsilon)$

$$E = K(p, u, \varepsilon), \quad (4)$$

где ε - внешние дестабилизирующие факторы (факторы торможения, изменения планов под давлением внешних обстоятельств и т.д.); $p = d/dt$ -

оператор Лапласа, позволяющий учесть инерционность системы; u – управляющее воздействие.

Тогда (3), с учётом (4), можно представить в виде

$$C = U_2(t) \cdot e^{j[\omega t + \varphi_2(t)]} = E \cdot U_1(t) \cdot e^{j[\omega t + \varphi_1(t)]}. \quad (5)$$

Процедуры сравнения в СУСТП представляют собой эталонное сравнение с реальным ходом технологического процесса. На выходе обеспечивается изделие, соответствующее стандартам качества.

Заключение

Высокий уровень автоматизации технологических объектов позволяет повысить качество выпускаемой продукции и количественный коэффициент. Рассмотренные принципы управления процессами основаны на учете и анализе входных и выходных информационных потоков и являются отображением общего подхода к управлению. Внедрение представленной СУСТП позволит обеспечить повышение производительности труда, повысить качество продукции, создать условия для экономии материальных и трудовых ресурсов, и оптимизации затрат на производство. Основываясь на данном анализе возможно построение более сложной, многоуровневой системы, захватывающей в своём описании все страты процесса.

Список литературы

1. Волчкевич Л.И. Автоматизация производственных процессов. Изд-во: «Машиностроение», 2007. 380 с.
2. Бесекерский В. А. Теория систем автоматического управления В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – М.: Профессия, 2007. – 752 с.
3. Курилов И.А., Ромашов В.В., Попов П.А. Системы компенсации фазы и амплитуды в измерительных устройствах. Автоматизация геомагнитных исследований / Под ред. Е.Н.Федорова. - М.: Наука, 1984. С.145-155.
4. Курилов И.А., Григорюк Е.Н., Калиниченко М.В., Кириллов И.Н., Лашин А.Е., Булкин В.В. Принципы управления информационными потоками в технологических процессах / Методы и устройства передачи и обработки информации. 2013. № 15 (15). С. 60-65.
5. Мирошник И. В. Теория автоматического управления. Линейные системы / И. В. Мирошник – СПб: Питер, 2005. – 336 с.
6. Булкин В.В., Григорюк Е.Н. Система управления сложным технологическим процессом промышленного предприятия / Сборник научных трудов XVIII Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении». 2014. С. 147-149.
7. Методы классической и современной теории автоматического управления. В 3-х т. / под ред. Н.Е. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – Т. 2: Синтез регуляторов и теория оптимизации систем автоматического управления. – 736 с.
8. Коновалов Б. И., Лебедев Ю. М. Теория автоматического управления. Томск, ТУСУР, 2010. 162 с.

9. Потапова Т.Б. Структурный анализ системы управления непрерывным замкнутым производством / Приборы и системы управления. –1999, №12. С.16-24.

УДК 519.718.2

Холодных Павел Владимирович,
Канд. техн. наук, доцент

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ В ВИДЕ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

Санкт-Петербург, Россия, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, pavel.kholodnykh@gmail.com

Аннотация. В статье предлагается метод конструирования математических моделей случайных процессов в виде систем дифференциальных уравнений в частных производных. Данная модель позволяет производить анализ надежности как невосстанавливаемых, так и восстанавливаемых объектов. Модель позволяет использовать произвольные законы распределения наработки до отказа, времени восстановления, времени диагностики, включая детерминированные события. Кроме того, модель может описывать периоды простоя оборудования, облегченные и интенсивные режимы эксплуатации, различные виды резервирования. Приводятся примеры формирования моделей и результаты численного решения дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: надежность, готовность, случайные процессы, граф состояний, дифференциальные уравнения.

Pavel V. Kholodnykh,
PhD in Technical Sciences, assistant professor

MATHEMATICAL MODEL OF RELIABILITY AS SYSTEM OF DIFFERENTIAL EQUATIONS IN PARTIAL DERIVATIVES

Saint Petersburg, Russia, Saint Petersburg polytechnic university,
pavel.kholodnykh@gmail.com

Abstract. The paper proposes a method of constructing mathematical models of random processes in the form of systems of differential equations in partial derivatives. This model allows for the analysis of reliability as non-recoverable and recoverable objects. The model allows the use of arbitrary laws of the distribution of time to failure, recovery time, time of diagnosis, including deterministic events. In addition, the model can describe the periods

of downtime, lightweight and intensive modes of operation, different types of redundancy. The article gives examples of formation of models and numerical solution of differential equations.

Keywords: reliability, availability, stochastic process, state graph, differential equations.

Введение

Методы расчета надежности (безотказности и готовности) можно разделить на два основных класса: статические и динамические [1]. К первым относят логико-вероятностные методы, такие как метод деревьев отказов, метод блок-схем надежности, общий логико-вероятностный метод, метод реализованный, в ПК «САиУ НБЖ» [2, 3]. К динамическим методам относятся методы, основанные на графах состояний и теории случайных процессов: марковских, полумарковских, немарковских [4]. К достоинству статических методов можно отнести вычислительную простоту, возможность анализа систем, состоящих из большого количества элементов. Достоинство динамических методов по сравнению со статическими состоит в возможности учета холодного резерва, периодов простоя оборудования, неравномерности нагрузки, очередности отказов. Слабой стороной динамических методов является сложность построения графа состояний и трудоемкость вычислений (решения дифференциальных уравнений).

Наиболее популярной динамической методикой, реализованной во многих программных комплексах оценки надежности, является методика, основанная на непрерывных цепях Маркова. Задача расчета надежности при этом сводится к решению системы обыкновенных линейных дифференциальных уравнений А.Н. Колмогорова [5]. Однако цепи Маркова не позволяют моделировать системы с неэкспоненциальными законами распределения наработки до отказа или времени восстановления, в том числе и детерминированные процессы. Это накладывает серьезные ограничения на применимость методики для анализа множества реальных задач. Применение моделей основанных на полумарковских случайных процессах позволяет снять ограничение неэкспоненциальности, но не позволяет учесть периоды простоя элементов, когда их ресурс не тратится.

На написание данной статьи автора вдохновил учебник по теории надежности А.М. Половко и С.В. Гурова, в котором приведена модель, учитывающая периоды простоя оборудования [6]. Автором данной статьи была выполнена переработка этой модели, позволившая учесть периоды работы элементов под увеличенной или уменьшенной нагрузкой, а также внешние случайные события, вероятность которых не определя-

ется внутренним состоянием системы. Ниже метод построения этих моделей рассматривается на простых примерах.

1. Математическая модель

Поведение системы предлагается моделировать в виде случайного процесса $(\sigma(t), \xi(t))$, где $\sigma \in 1, \dots, n$ - текущее дискретное состояние системы в графе состояний, а $\xi = (\xi_1, \dots, \xi_m) \in R^m$ - вектор непрерывных вещественных неотрицательных переменных состояния, которые далее в статье будем называть таймерами. Назначение таймеров - отсчитывать время, проведенное системой в различных состояниях. Смысл таймера может быть различным: это может быть текущая наработка элемента, время, проведенное в ремонте, в режиме диагностики и т.п. Один и тот же таймер может использоваться в одной части состояний системы, а в других не использоваться. Например, в состоянии работы или простоя существенным будет являться таймер наработки, а таймер, отсчитывающий время, проведенное в ремонте, очевидно, использоваться не будет. Подмножество номеров таймеров, используемых в s -м состоянии, обозначим как X_s . Предполагается, что в начальный момент времени $t = 0$ система находится в первом состоянии и все таймеры равны нулю.

Пока система находится в некотором дискретном состоянии s , значения переменных таймеров сохраняются или растут пропорционально времени, проведенному в этом состоянии по закону $\frac{d\xi_k(t)}{dt} = a_k^s \geq 0$, $k \in X_s$. При смене дискретного состояния значение таймера может сохраниться или сброситься в ноль. Подмножество номеров таймеров, которые сбрасываются в ноль при переходе системы из i -го состояния в j -е, обозначим как $X_{i,j}$.

Вероятность мгновенного перехода системы из i -го состояния в j -е в момент времени t в предлагаемой модели задается интенсивностью

$$\lambda_{i,j}(t, x_k, k \in X_i) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P\{\sigma(t + \Delta t) = j / \sigma(t) = i, \xi_k(t) = x_k, k \in X_i\}}{\Delta t}. \quad (1)$$

Функция $\lambda_{i,j}(t, x_k, k \in X_i)$ есть условная плотность вероятности перехода системы в состояние j при условии, что в момент времени t система находилась в состоянии i , а значения таймеров были равны соответствующим переменным x_k .

Задача прогнозирования поведения системы состоит в определении функций $\rho_s(t, x_k, k \in X_i)$ - плотностей вероятностей того, что в момент времени t система будет находиться в состоянии s , а значения таймеров будут равны соответствующим переменным x_k . Если эти плотности известны, то вероятность нахождения системы в s -м состоянии $p_s(t)$ будет

определяться как интеграл $p_s(t) = \int_0^\infty \dots \int_0^\infty \rho_s(t, x_k, k \in X_i) dX_s$, который берет-

ся по всем таймерам, используемым в соответствующем состоянии.

Эволюция плотностей вероятностей будет описываться с помощью системы дифференциальных уравнений в частных производных

$$\frac{\partial \rho_s}{\partial t} + \sum_{k \in \tilde{X}_s} a_k^s \frac{\partial \rho_s}{\partial x_k} = -\rho_s \sum_{j \neq s} \lambda_{s,j} + \sum_{i \neq s} \Delta_{i,s} \int_0^\infty \dots \int_0^\infty \lambda_{i,s} \rho_i dx_{i \rightarrow s}, \quad s \in 1, \dots, n. \quad (2)$$

Здесь $\Delta_{i,s} = \prod_{k \in \tilde{X}_{i,s}} \delta(x_k)$ - произведение дельта-функций Дирака для

всех таймеров, которые при переходе из i -го в s -е состояние сбрасываются в ноль. Если множество $\tilde{X}_{i,s}$ пустое, то значение $\Delta_{i,s}$ принимается

равным единице. Интегрирование в правой части уравнения (2) ведется по всем таймерам, которые используются в i -м состоянии, но не используются в s -м: $dx_{i \rightarrow s} = \prod_{k \in \tilde{X}_i \setminus \tilde{X}_s} dx_k$. Если множество $\tilde{X}_i \setminus \tilde{X}_s$ является пустым,

то интеграл заменятся на произведение $\lambda_{i,s} \rho_i$.

Начальные значения плотностей ρ_s задаются выражениями:

$$\rho_1(t=0) = \prod_{k \in \tilde{X}_s} \delta(x_k),$$

$$\rho_s(t=0), \text{ для } s \neq 1.$$

2. Пример формирования системы дифференциальных уравнений

Рассматривается задача оценки готовности технического элемента, который может находиться в одном из трех состояний: 1 – работа в номинальном режиме, 2 – работа в интенсивном режиме, 3 – восстановление (замена отказавшего элемента на новый). Соответствующий граф состояний элемента приведен на рис. 1.

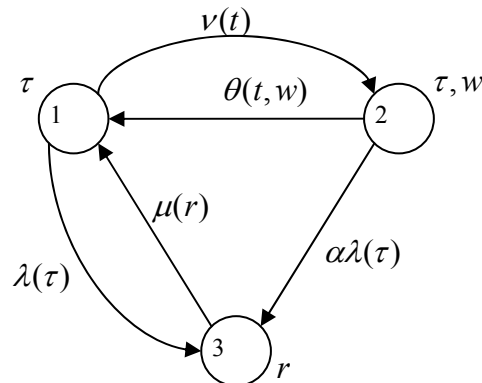


Рис. 1. Граф состояний элемента.

На рис. 1 с помощью переменных-таймеров τ , w и r обозначены соответственно: наработка элемента; время, проведенное элементом в интенсивном режиме; и время, затраченное на восстановление элемента после отказа. Функции рядом со стрелками выражают интенсивности $\lambda_{i,j}$ переходов между состояниями. Будем полагать, что восстановление элемента состоит в его замене на аналогичный новый (полное восстановление). Под интенсивной работой будем понимать сокращение средней наработки на отказ элемента в $\alpha > 1$ раз по отношению к значению этого показателя при функционировании в номинальном режиме. В таблицах 1, 2 и 3 приведены данные о состояниях и таймерах, необходимые для построения математической модели.

Таблица 1.

Таймеры, используемые в различных дискретных состояниях и их производная a_k^s .

		Состояние		
		1 – нормальная работа	2 – интенсивная работа	3 – восстановление
Функция вероятности		$p_1(t)$	$p_2(t)$	$p_3(t)$
Функция плотности		$\rho_1(t, \tau)$	$\rho_2(t, \tau, w)$	$\rho_3(t, r)$
Таймер	$x_1 \equiv \tau$ – наработка	1	α	-
	$x_2 \equiv w$ – время нахождения в интенсивном режиме	-	1	-
	$x_3 \equiv r$ – время, затраченное на восстановление	-	-	1

Таблица 2.

Таймеры, обнуляемые при переходах

		Новое состояние		
		1	2	3
Прежнее состояние	1	-	w	r
	2		-	r
	3	τ	-	-

Таблица 3.

Интенсивности переходов между остояниями

		Новое состояние		
		1	2	3
Прежнее состояние	1	-	$\nu(t)$	$\lambda(\tau)$
	2	$\theta(t, w)$	-	$\alpha\lambda(\tau)$
	3	$\mu(r)$	-	-

Система дифференциальных уравнений, описывающая динамику изменения плотностей вероятностей, будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial \rho_1}{\partial \tau} &= -\rho_1(t, \tau)(\lambda(\tau) + \nu(t)) + \int_0^\infty \rho_2(t, \tau, w)\theta(t, w)dw + \delta(\tau) \int_0^\infty \rho_3(t, r)\mu(r)dr, \\ \frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \alpha \frac{\partial \rho_2}{\partial \tau} + \frac{\partial \rho_2}{\partial w} &= -\rho_2(t, \tau, w)[\theta(t, w) + \alpha\lambda(\tau)] + \delta(w)\rho_1(t, \tau)\nu(t), \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho_3}{\partial t} + \frac{\partial \rho_3}{\partial r} = -\rho_3(t, r)\mu(r) + \delta(r) \int_0^\infty \rho_1(t, \tau) \lambda(\tau) d\tau + \delta(r) \int_0^\infty \int_0^\infty \rho_2(t, \tau, w) \alpha \lambda(\tau) d\tau dw.$$

Начальные условия для задачи Коши будут равны:

$$\rho_1(t=0) = \delta(\tau), \quad \rho_2(t=0) = \rho_3(t=0) = 0. \quad (4)$$

Вероятности нахождения системы в различных состояниях могут быть вычислены по формулам:

$$p_1(t) = \int_0^\infty \rho_1(t, \tau) d\tau, \quad p_2(t) = \int_0^\infty \int_0^\infty \rho_2(t, \tau, w) d\tau dw, \quad p_3(t) = \int_0^\infty \rho_3(t, r) dr. \quad (5)$$

Ниже приведены результаты численного интегрирования уравнений (3-4) при следующих параметрах: $\alpha = 2$, $\nu(t) = 0,01 + 0,01 \sin \frac{2\pi t}{24}$, нагрузка на отказ, время нахождения в ненормальном режиме и время восстановления распределены нормально с соответствующими параметрами (m, σ) : (100, 20), (10, 1) и (5, 0,5). Результаты моделирования приведены на рис. 2-5.

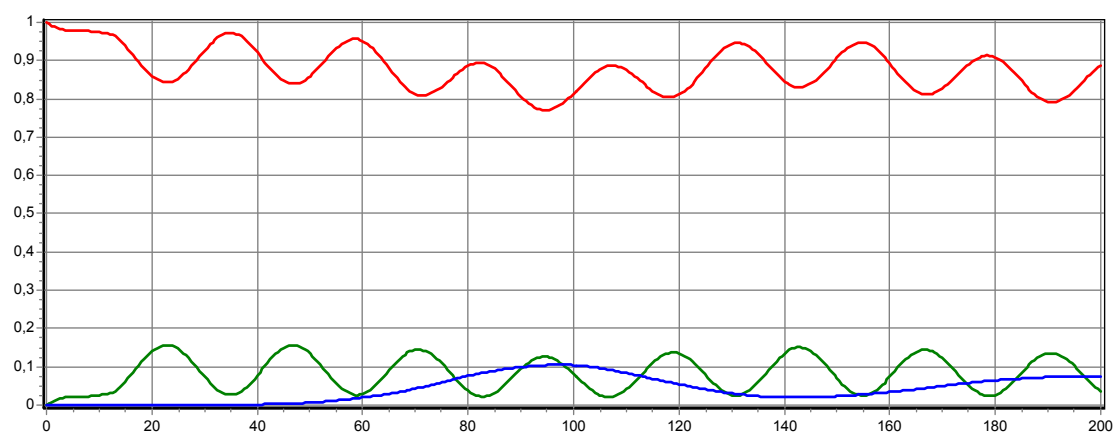


Рис. 2. Графики вероятностей $p_i(t)$.

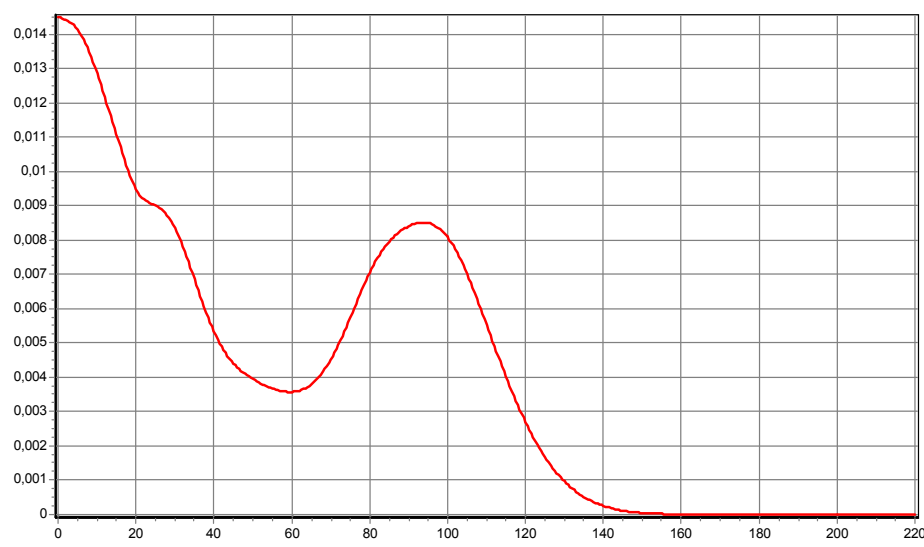


Рис. 3. График плотности вероятности $\rho_1(t, \tau)$ при $t = 200$.

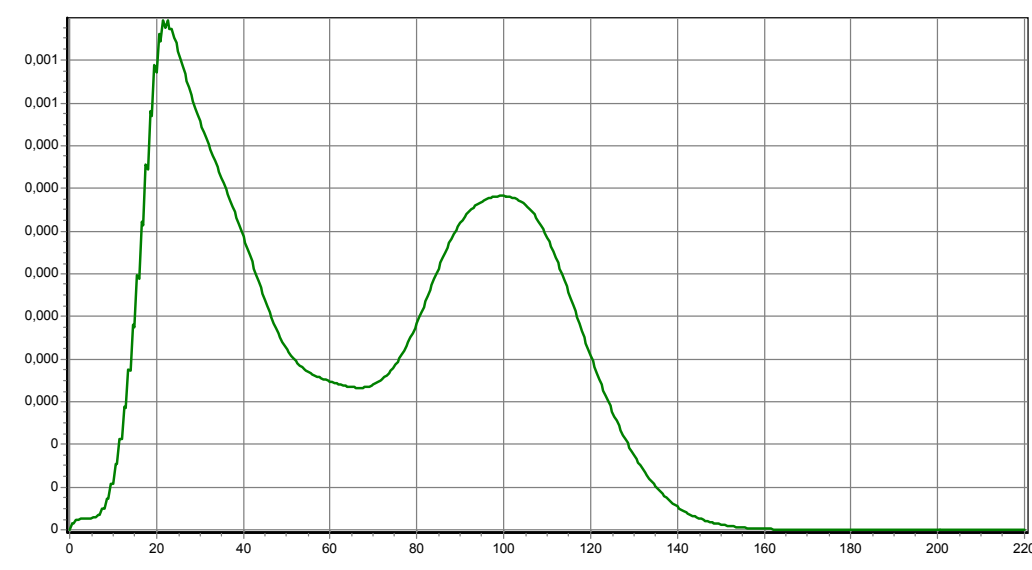


Рис. 4. График плотности вероятности $\int_0^\infty \rho_2(t, \tau, w) dw$ при $t = 200$.

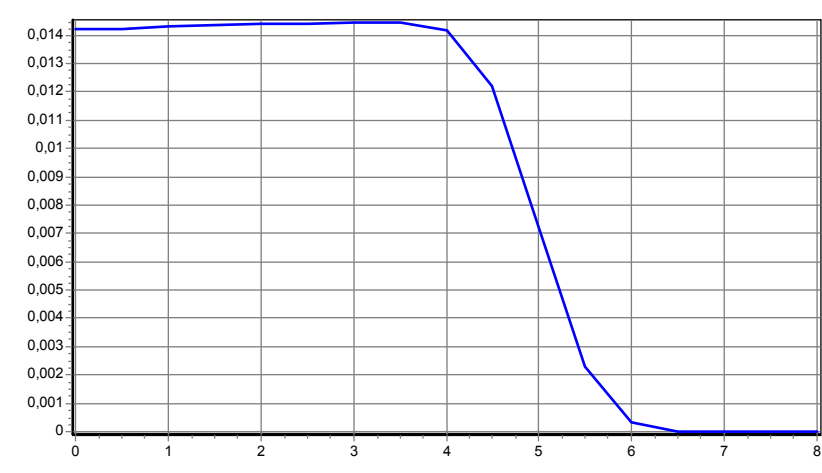


Рис. 5. График плотности вероятности $\rho_3(t, r)$ при $t = 200$.

3. Предельный случай

Рассмотрим предельный случай, когда все интенсивности переходов зависят только от времени t . Уравнения системы (3) примут вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial \rho_1}{\partial \tau} &= -\rho_1(t, \tau) [\lambda + \nu(t)] + \int_0^\infty \rho_2(t, \tau, w) \theta(t) dw + \delta(\tau) \int_0^\infty \rho_3(t, r) \mu dr, \\ \frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \alpha \frac{\partial \rho_2}{\partial \tau} + \frac{\partial \rho_2}{\partial w} &= -\rho_2(t, \tau, w) [\theta(t) + \alpha \lambda] + \delta(w) \rho_1(t, \tau) \nu(t), \\ \frac{\partial \rho_3}{\partial t} + \frac{\partial \rho_3}{\partial r} &= -\rho_3(t, r) \mu + \delta(r) \int_0^\infty \rho_1(t, \tau) \lambda d\tau + \delta(r) \int_0^\infty \int_0^\infty \rho_2(t, \tau, w) \alpha \lambda d\tau dw. \end{aligned} \quad (6)$$

Проинтегрируем первое уравнение в (6) по τ , второе по τ и w , третье по r и учтем (4). Сделав аккуратно все преобразования, придем к системе

$$\begin{aligned}
\frac{dp_1(t)}{dt} &= -p_1(t)[\lambda + \nu(t)] + \theta(t)p_2(t) + \mu p_3(t), \\
\frac{dp_2(t)}{dt} &= -p_2(t)[\theta(t) + \alpha\lambda] + p_1(t)\nu(t), \\
\frac{dp_3(t)}{dt} &= -\mu p_3(t) + \lambda p_1(t) + \alpha\lambda p_2(t).
\end{aligned} \tag{7}$$

Т.е. мы получили систему дифференциальных уравнений А.Н. Колмогорова для марковских цепей, которая является приближением исходной системы (3).

4. Особенности учета работы элементов в интенсивном или облегченном режимах

Предлагаемая математическая модель позволяет учитывать ненормальные режимы работы оборудования, когда интенсивность отказов будет ниже (облегченный режим) или выше (интенсивный режим) своего номинального режима. Для начала рассмотрим работу некоторого оборудования в номинальном режиме. С помощью переменной τ обозначим наработку элемента, а интенсивность отказов зададим функцией $\lambda(\tau)$. В номинальном режиме работы наработка будет расти вместе с текущим временем по закону $\frac{d\tau(t)}{dt} = 1$. Вероятность безотказной работы оборудования в течение времени t будет вычислять по формуле

$p(t) = \exp\left(-\int_0^{\tau(t)} \lambda(x)dx\right)$, а средняя наработка до отказа будет равна

$$T = \int_0^{\infty} p(t)dt.$$

Теперь рассмотрим ненормальный режим. Будем считать, что в этом режиме наработка элемента будет расти в α раз быстрее, чем в номинальном: $\frac{d\tau(t)}{dt} = \alpha$. Интенсивность отказов также положим большей в α раз: $\lambda^{unn}(t) = \alpha\lambda(t)$. Для такого режима вероятность безотказной работы будет вычисляться по формуле:

$$p^{unn}(t) = \exp\left(-\int_0^{\tau(t)} \lambda^{unn}(x)dx\right) = \exp\left(-\int_0^{\alpha t} \alpha\lambda(x)dx\right) = p(\alpha t).$$

Средняя наработка до отказа будет равна $T^{unn} = \int_0^{\infty} p^{unn}(t)dt = \int_0^{\infty} p(\alpha t)dt = \frac{T}{\alpha}$, т.е. в α раз меньше, чем для номинального режима. Таким образом, задавая в исходной модели параметры a_k^s и

$\lambda_{i,j}$ можно моделировать как облегченный ($\alpha < 1$), так и интенсивный ($\alpha > 1$) режимы работы оборудования.

5. Особенности учета в модели неслучайных событий

Предлагаемая математическая модель позволяет учитывать не только случайные события, но и детерминированные, происходящие в заданные моменты времени, или через фиксированные промежутки времени. Для иллюстрации рассмотрим моделирование готовности системы безопасности (СБ) при наличии аппаратуры контроля (АК), которая проводит диагностику через равные интервалы времени. Граф состояний для этой системы приведен на рис. 6.

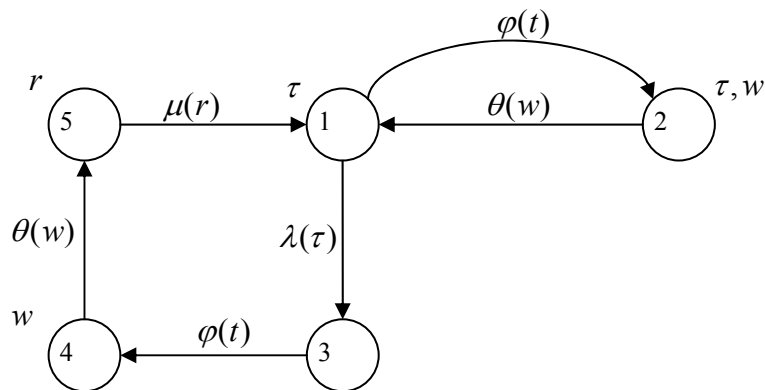


Рис. 6. Граф состояний системы безопасности при наличии контроля

Предполагается, что основным состоянием системы безопасности (состояние 1) является непрерывный анализ состояния некоторого технологического процесса. В случае выхода параметров процесса за допустимые интервалы, СБ запускает противоаварийные алгоритмы. В процессе ожидания СБ может иметь скрытый отказ (состояние 3), который выявляется АП в ходе диагностики. Диагностика запускается в фиксированные моменты времени $T, 2T, 3T$ и т.д., если СБ находится в состояниях 1 или 3. Длительность процесса диагностики (состояния 2 и 4) также предполагается фиксированной и равной величине T^0 . В случае обнаружения скрытого отказа, СБ отправляется на полное восстановление (состояние 5).

Времена начала и завершения диагностики являются детерминированными событиями, соответствующие интенсивности переходов определяются следующими выражениями $\phi(t) = \sum_{l=1}^{\infty} \delta(t - lT)$ и $\theta(w) = \delta(w - T^0)$.

Система дифференциальных уравнений, моделирующая поведение СБ будет иметь вид:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + \frac{\partial \rho_1}{\partial \tau} &= -\rho_1[\lambda(\tau) - \varphi(t)] + \int_0^\infty \rho_2 \theta(w) dw + \delta(\tau) \int_0^\infty \rho_5 \mu(r) dr, \\ \frac{\partial \rho_2}{\partial t} + \frac{\partial \rho_3}{\partial \tau} + \frac{\partial \rho_2}{\partial w} &= -\rho_2 \theta(w) + \delta(w) \rho_1 \varphi(t), \\ \frac{\partial \rho_4}{\partial t} + \frac{\partial \rho_4}{\partial w} &= -\rho_4 \theta(w) + \delta(\theta) \rho_3 \varphi(t), \\ \frac{\partial \rho_5}{\partial t} + \frac{\partial \rho_5}{\partial r} &= -\rho_5 \mu(r) + \int_0^\infty \rho_4 \theta(w) dw\end{aligned}$$

при начальных условиях

$$\rho_1(t=0) = \delta(\tau), \rho_2(t=0) = \dots = \rho_5(t=0) = 0.$$

Вероятности нахождения системы в различных состояниях определяются по формулам

$$\begin{aligned}p_1(t) &= \int_0^\infty \rho_1(t, \tau) d\tau, \quad p_2(t) = \int_0^\infty \int_0^\infty \rho_2(t, \tau, w) d\tau dw, \quad p_3(t) = \rho_3(t), \\ p_4(t) &= \int_0^\infty \rho_4(t, w) dw, \quad p_5(t) = \int_0^\infty \rho_5(t, r) dr.\end{aligned}$$

На рис. 7 приведены результаты численного интегрирования при $T=10$, $T^0=3$, $\lambda(\tau)=0,04$ и нормальном законе распределения времени восстановления с параметрами (m, σ) равными $(5, 2)$.

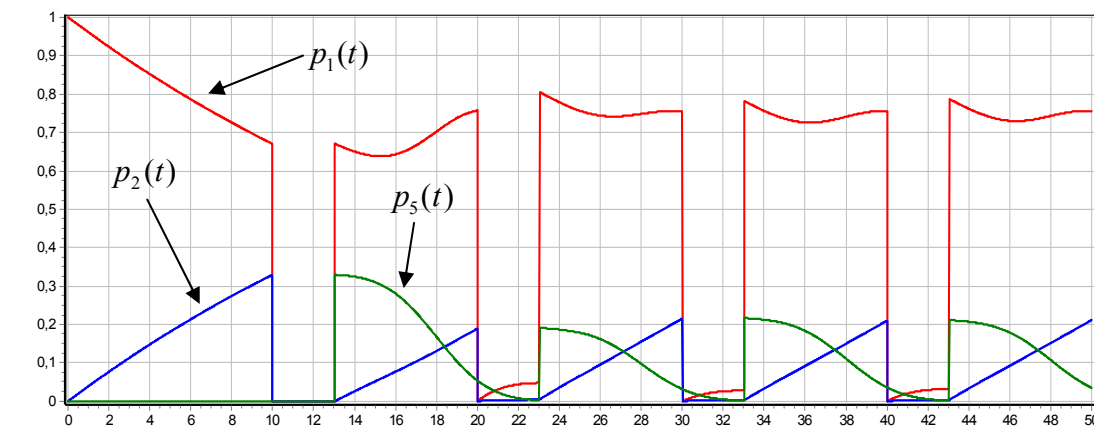


Рис. 7. Результаты численного интегрирования: $p_1(t)$ - готовность СБ, $p_2(t)$ - вероятность нахождения СБ в состоянии скрытого отказа, $p_5(t)$ - вероятность нахождения СБ в ремонте

Заключение

Если рассматривать случайный процесс $\sigma(t)$ отдельно от процесса $\xi(t)$, то он не будет обладать свойствами ни марковского, ни полумарковского процесса, поскольку вероятности переходов зависят от времени нахождения элемента в различных состояниях, т.е. от предыстории. Од-

нако общий процесс $(\sigma(t), \xi(t))$ будет обладать марковскими свойствами. Действительно, если мы на какой-то момент времени знаем текущее состояние элемента и значения таймеров, то можем составить задачу Коши (2) и построить полный прогноз будущего, даже не зная подробностей прошлого. Добились мы этого, включив в общий процесс необходимые элементы предыстории с помощью процесса $\xi(t)$.

Как было показано выше, классическая цепь Маркова в непрерывном времени является частным случаем предложенной модели, когда отсутствуют все переменные-таймеры. Полумарковский процесс также является частным случаем описанной модели, когда для каждого состояния существенным является ровно один таймер и этот таймер сбрасывается в ноль при попадании в соответствующее состояние.

Задача решения системы дифференциальных уравнений (2) является трудоемкой, однако предложенный подход к составлению математических моделей позволяет учитывать многие особенности реальных задач:

- произвольные (не экспоненциальные) законы распределения случайных величин, таких как наработка на отказ, время восстановления, время диагностики и т.д.;
- непуассоновость потоков случайных событий;
- периоды работы элементов в неноминальных режимах;
- периоды простоя элементов;
- детерминированные события и процессы;
- различные виды резервирования.

Список литературы

1. Викторова В. С., Степанянц А. С. Модели, методы и программное обеспечение для анализа надежности, безопасности, эффективности технических систем. Труды международной научной школы МА БР-2005/ГОУ ВПО «СПбГУАП». СПб., 2005. – С. 144 – 146.
2. Острейковский В. А., Швыряев Ю. В. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. - М.: Физматлит, 2008. – 340 с.
3. Симаков И. П., Холодных П. В. Многоцелевой программный комплекс структурного анализа и обеспечения надежности, безопасности и живучести автоматизированных технических комплексов и их управляющих систем // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: Труды Международной научной школы МА БР – 2014 (Санкт-Петербург, 18-20 ноября, 2014 г.). ГОУ ВПО «СПбГУАП». - СПб., 2014.
4. Lisnianski A., Frenkel I., Ding Y. Multi-state System Reliability Analysis and Optimization for Engineers and Industrial Managers. Springer London. 2010.
5. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Наука. 1988. – 208 с.
6. Половко А. М., Гуров С. В., Основы теории надежности. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.

УДК 519.718.2

Холодных Павел Владимирович

Канд. техн. наук, доцент

**НОВЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ЛОГИЧЕСКИХ СЕТЕЙ,
ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ
РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

Санкт-Петербург, Россия, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, pavel.kholodnykh@gmail.com

Аннотация. Сложные системы, которые являются предметом исследования в теории надежности, часто в своей структуре содержат обратные связи и замкнутые технологические циклы. Для анализа условий работоспособности таких систем используют логические сети, такие как деревья отказов и схемы функциональной целостности. В статье рассматривается проблема неоднозначности, возникающая при анализе логических уравнений, содержащих циклы. Приводится новый метод, который позволяет преодолеть данную неоднозначность и адекватно анализировать сложные системы с циклами.

Ключевые слова: логическая сеть, система логических уравнений, булева алгебра, сложная система, надежность, работоспособность.

Pavel V. Kholodnykh,

PhD in Technical Sciences, assistant professor

**A NEW METHOD OF LOGICAL NETWORKS ANALYSIS FOR
DETERMINING OPERATING STATE CONDITIONS OF COMPLEX
SYSTEMS**

Saint Petersburg, Russia, Saint Petersburg polytechnic university,
pavel.kholodnykh@gmail.com

Abstract. Complex systems that are the subject of research in reliability theory often contain in their structure feedbacks and closed technological cycles. To analyze the operating state conditions of such systems logical networks are used, such as fault trees and the functional integrity schemes. In this paper the problem of the ambiguity that arises in the analysis of the logical equations containing cycles is researched. A new method is presented that allows to overcome this ambiguity and to adequately analyze complex system cycles.

Keywords: logical network, system of logical equations, boolean algebra, complex system, reliability, operating state.

Введение: проблема неоднозначности в логических сетях, моделирующих структуру систем с обратными связями и циклами

Логические сети получили широчайшее применение в методиках выполнения анализа надежности, живучести и выполнения вероятностного анализа безопасности и являются одним из их краеугольных камней. С помощью логических сетей описывают структуру исследуемой системы, выражают сложное событие в виде совокупности простых, базисных событий. При анализе под сложным событием, как правило, подразумевают работоспособность (или неработоспособность) всей системы в целом или отдельной подсистемы, а под базисными событиями – работоспособность отдельных элементов системы. Поскольку относительно любого события выделяют всего два состояния – либо событие произошло, либо нет, то в качестве аппарата моделирования логических связей между событиями широкое применение получила булева алгебра.

Под логической сетью понимается система логических уравнений (СЛУ) вида

$$\begin{cases} y_1 = f_1(\vec{x}, y_2, \dots, y_n), \\ y_2 = f_2(\vec{x}, y_1, y_3, \dots, y_n), \\ \dots \\ y_n = f_n(\vec{x}, y_1, \dots, y_{n-1}). \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $\vec{x} = (x_1, \dots, x_m)$ - вектор независимых булевых переменных, y_i - зависимые булевы переменные, а f_i - булевы функции. С помощью независимых переменных x_i выражают состояние базисных событий, а с помощью переменных y_i - сложные составные события. Логические сети удобно визуализировать с помощью ориентированных графов, как это показано на рис. 1. В таких графах каждому уравнению соответствует вершина графа, а дуга из k -й вершины в i -ю показывает, что переменная y_k является аргументом функции f_i .

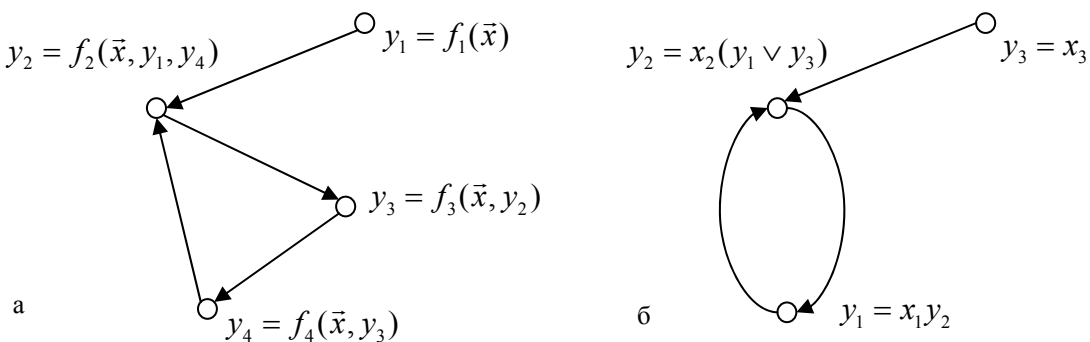


Рис. 1. Представление логической сети в виде графа.

Наиболее широко применяемыми на практике логическими сетями являются деревья отказов (ДО) и деревья событий (ДС) [1]. Также большую известность в последнее десятилетие получили схемы функциональной целостности (СФЦ) [2], разработанные А.С. Можаяевым.

Логические сети можно классифицировать по признакам цикличности и монотонности. Уравнения ациклической логической сети не образуют циклических зависимостей. Немонотонные логические сети отличаются от монотонных тем, что любая функция f_i , зависящая от переменной y_k , не может убывать (возрастать) при возрастании (убывании) значения y_k . К ациклическим сетям относятся сети ДО и ДС. Методика СФЦ позволяет анализировать произвольные логические сети.

Задача любой методики анализа системы с применением логических сетей состоит в выражении сложных событий через простые, т.е. в решении СЛУ (1) относительно зависимых переменных y_i . Результатом решения является набор булевых функций $\varphi_i(\vec{x})$, таких, что при подстановке $y_i = \varphi_i(\vec{x})$ все уравнения СЛУ (1) превращаются в тождества.

Для ациклических сетей решение СЛУ (1) является тривиальной задачей, чего нельзя сказать про циклические сети. Для иллюстрации этой проблемы рассмотрим упрощенную сеть, изображенную на рис. 1б.

$$\begin{cases} y_1 = x_1 y_2, \\ y_2 = x_2 (y_1 \vee y_3), \\ y_3 = x_3. \end{cases} \quad (2)$$

Выполним подстановку правых частей первого и последнего уравнений вместо переменных y_1 и y_3 во втором уравнении.

$$y_2 = x_2 (x_1 y_2 \vee x_3) = x_1 x_2 y_2 \vee x_2 x_3. \quad (3)$$

Заметим что и в левой и правой части уравнения (3) присутствует переменная y_2 . Это уравнение уже не является тривиальным, однако в работах В.С. Левченкова и Г.Н. Черкесова [3,4] представлены методы решения этих уравнений. Согласно этим замечательным статьям булево уравнение вида $y = A \vee B y$, где A и B – некоторые булевы функции, не зависящие от переменной y , будет иметь не одно, а несколько решений

$$y = A \vee \left(\bigvee_k B_k r_k \right), \quad (4)$$

где $B = \bigvee_k B_k$ – это представление функции B в виде СДНФ, а r_k – булевы параметры, перебор значений которых позволяет получить все решения. Таким образом, уравнение (3) будет иметь следующие общее и частные решения:

$$y_2 = x_1 x_2 x_3 r'_1 \vee x_1 x_2 \bar{x}_3 r'_2 \vee x_2 x_3 - \text{общее решение;} \quad (5)$$

$$y_2 = x_1 x_2 \vee x_2 x_3, \quad y_2 = x_2 x_3 - \text{частные решения.} \quad (6)$$

Фактически получается, что логическая сеть (1) некорректно описывает моделируемую систему, т.к. допускает неоднозначность решения. Тем не менее, оба частных решения имеют право на существование, для обоих из них можно подобрать адекватную «физическую» трактовку. Продемонстрируем это на примере двух систем, изображенных на рис. 2. Система (а) работает следующим образом. На распределительный щит (2) энергия может подаваться от двух источников: от энергетической установки (1) или из внешней сети (3). При этом энергетическая установка (1) использует часть генерируемой мощности для поддержания собственной работы (обратная связь). В этом случае цикл между элементами 1 и 2 имеет место, а частное решение $y_2 = x_1x_2 \vee x_2x_3$ описывает условия наличия энергии на щите от состояния работоспособности трех элементов.

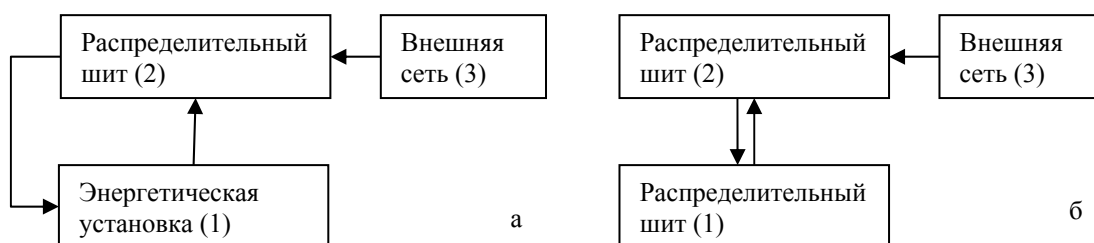


Рис. 2. Два варианта систем, соответствующих одной логической сети.

Теперь рассмотрим систему (б). В ней два распределительных щита связаны кабельной перемычкой, которая позволяет перенаправлять энергию с одного щита на другой. Реальным источником энергии при этом является только внешняя сеть. В системе (б) цикл между элементами 1 и 2 физически невозможен, т.к. это означало бы, что энергия появляется из ниоткуда между щитами. По этой причине цикл требуется «разорвать», и систему корректно описывает частное решение $y_2 = x_2x_3$.

Различные методологии анализа логических сетей по-разному определяют порядок действий при обнаружении циклов. Методология общего логико-вероятностного метода А.С. Можаяева при обнаружении цикла в СФЦ разрывает его при любых условиях [1]. Аналогичным образом устроен метод символьных итераций В.Г. Китушина [5]. В методе, предложенном В.А. Годуновым [6], наоборот все циклы всегда сохраняются. В учебнике И.А. Рябикина и Ю.М. Парфенова [7] рассматриваются сразу несколько методов решения СЛУ, все из которых трактуют любые циклы как подлежащие разрыву.

Такая тенденциозность в работе с циклами на взгляд автора данной статьи существенно сужает возможности и удобство применения приведенных методологий для анализа сложных систем, где циклы и обратные связи встречаются в большом количестве, но эти циклы имеют разную

природу. Невозможность задавать правила трактовки циклов приводит к тому, что для получения адекватного ответа приходится перерисовывать схему, чтобы добиться эффекта «сохранения» или «разрыва» цикла.

Новый метод получения условий работоспособности сложной системы на основе анализа монотонной логической сети

Ниже изложен новый метод анализа логических сетей применительно к задаче получения булевой функции работоспособности системы. Данный метод был разработан на кафедре системного анализа и управления Санкт-Петербургского политехнического университета. Метод рассматривается на примере системы, изображенной на рис. 3а. В этой системе есть три распределительных электрических щита 1, 2 и 3, которые соединены между собой кабельными перемычками 6, 7 и 8 в кольцевую структуру. Щиты 2 и 3 могут быть подключены к энергетическим установкам 4 и 5, которые в свою очередь получают энергию для собственных нужд от щита 1.

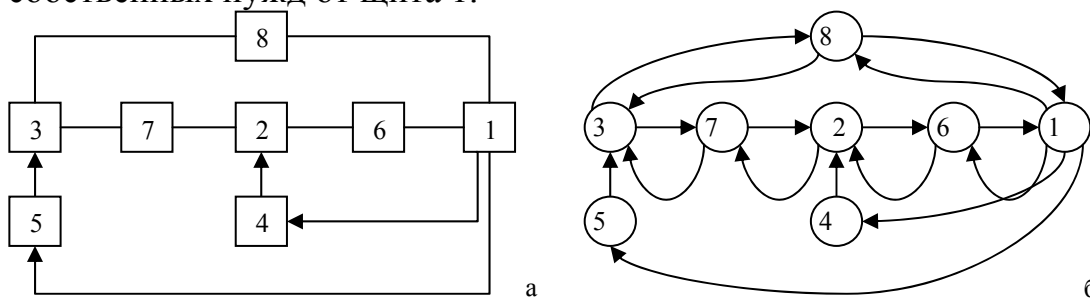


Рис. 3. Пример системы: а – схема система, б – граф логической сети.

Рассматриваемая система моделируется логической сетью, которая изображена на рис. 3б. Соответствующие логические уравнения приведены ниже.

$$\begin{aligned}
 y_1 &= x_1(y_6 \vee y_8), & y_5 &= x_5 y_1, \\
 y_2 &= x_2(y_6 \vee y_7 \vee y_4), & y_6 &= x_6(y_1 \vee y_2), \\
 y_3 &= x_3(y_7 \vee y_8 \vee y_5), & y_7 &= x_7(y_2 \vee y_3), \\
 y_4 &= x_4 y_1, & y_8 &= x_8(y_1 \vee y_3).
 \end{aligned} \tag{7}$$

Булевы переменные x_i определяют собственную работоспособность элементов (работоспособен или отказал), а переменные y_i - будут ли элементы функционировать (выдавать напряжение) с учетом работоспособности других элементов системы.

Основная идея нового метода состоит в прямом выделении в логической сети циклов, которые необходимо разорвать. Для этого для всех дуг на графе 2б вводится параметр – тип связи: нормальный (N-тип) или запрещающий циклы (L-тип). Для рассматриваемой системы L-связями будем считать все дуги между вершинами 1-3, 6-8. Остальные дуги (вхо-

дящие и выходящие из элементов 4 и 5) будем полагать N-связями. Идея метода состоит в следующем: при анализе сети разрыву подлежат только те циклы, которые образованы исключительно связями L-типа. Для системы на рис. 3 такими циклами будут циклы: 1-6-1, 1-6-2-7-3-8-1 и т.д. Для решения задачи исходная СЛУ модифицируется в так называемую маркированную СЛУ, которая содержит в себе информацию о типах связей. Для этого в правой части каждого i -го уравнения любая переменная y_k заменяется на конъюнкцию $H_{i,k}^{T(k,i)} y_k$, где $T(k,i) = N, L$ - тип дуги из k -го элемента в i -й. Ниже приведена маркированная СЛУ, полученная на основе СЛУ (7).

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1(H_{1,6}^L y_6 + H_{1,8}^L y_8), & y_5 &= x_5 H_{5,1}^N y_1, \\ y_2 &= x_2(H_{2,6}^L y_6 + H_{2,7}^L y_7 + H_{2,4}^N y_4), & y_6 &= x_6(H_{6,1}^L y_1 + H_{6,2}^L y_2), \\ y_3 &= x_3(H_{3,7}^L y_7 + H_{3,8}^L y_8 + H_{2,5}^N y_5), & y_7 &= x_7(H_{7,2}^L y_2 + H_{7,3}^L y_3), \\ y_4 &= x_4 H_{4,1}^N y_1, & y_8 &= x_8(H_{8,1}^L y_1 + H_{8,3}^L y_3). \end{aligned} \quad (8)$$

Переменные $H_{i,k}^{T(k,i)}$ - это служебные булевы переменные-маркеры, которые исключаются в процессе решения СЛУ (8). Эти переменные участвуют в СЛУ как обычные булевы переменные, однако для них вводятся дополнительные свойства:

- правило разрыва циклов: $H_{i,j}^L H_{j,i}^L = 0$;
- правило поглощения: $H_{i,j}^L \vee H_{i,j}^N = H_{i,j}^N$, $H_{i,j}^L H_{i,j}^N = H_{i,j}^L$.

Для решения маркированной СЛУ (8) относительно любой зависимой переменной (например, y_1) был разработан метод последовательного исключения уравнений. В процессе решения из СЛУ последовательно исключаются все уравнения и соответствующие им переменные y_i , кроме одного, для которого ищется функция $\varphi_i(\vec{x})$.

Пусть на некотором этапе исключению подлежит j -е уравнение для переменной y_j . Для каждого i -го уравнения ($i \neq j$) выполним подстановку правой части j -го уравнения по следующему алгоритму:

Шаг 1. Выполняем подстановку правой части j -го уравнения вместо переменных y_j в правой части i -го уравнения.

Шаг 2. В новой правой части i -го уравнения заменяем все переменные y_i на единицу (выбираем частное решение, сохраняющее циклы). После этого правая часть уравнения приводится к виду минимальной ДНФ $y_i = \bigvee_s X_s Y_s H_s$, где X_s , Y_s и H_s - это соответственно конъюнкции независимых переменных x_k , зависимых переменных y_k и служебных переменных-маркеров.

Шаг 3. На этом шаге каждая конъюнкция H_s в полученной на шаге 2 ДНФ заменяется на новую конъюнкцию $\tilde{H}_s$ по следующим двум правилам:

- Если в конъюнкт H_s входит пара маркеров $H_{i,j}^{T_1} H_{j,k}^{T_2}$, а переменная y_k входит в конъюнкт Y_s , то в конъюнкт $\tilde{H}_s$ включается маркер $H_{i,k}^{T_3}$, где $T_3 = \begin{cases} L, & \text{если } T_1 = T_2 = L, \\ N, & \text{в противном случае.} \end{cases}$ («склеивание» маркеров).

- Если в конъюнкт H_s входит маркер $H_{i,k}$ и переменная y_k входит в конъюнкт Y_s , то этот маркер переносится в $\tilde{H}_s$ без изменений.

- Остальные маркеры в конъюнкт $\tilde{H}_s$ не включаются.

В приведенных правилах k – это любой номер, отличный от i и j . После вычисления конъюнктов $\tilde{H}_s$ правая часть уравнения $y_i = \bigvee_s X_s Y_s \tilde{H}_s$ минимизируется.

Рассмотрим детально процедуру исключения восьмого уравнения из СЛУ (8). Подстановка будет осуществляться в первое и третье уравнения.

Шаги 1 и 2: подстановка, выбор частного решения, минимизация:

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1 \left(H_{1,6}^L y_6 \vee x_8 H_{1,8}^L (H_{8,1}^L y_1 \vee H_{8,3}^L y_3) \right) = \\ &= x_1 \left(H_{1,6}^L y_6 \vee x_8 H_{1,8}^L (H_{8,1}^L \vee H_{8,3}^L y_3) \right) = \\ &= x_1 H_{1,6}^L y_6 \vee x_1 x_8 H_{1,8}^L H_{8,1}^L \vee x_1 x_8 H_{1,8}^L H_{8,3}^L y_3 = \\ &= x_1 H_{1,6}^L y_6 \vee x_1 x_8 H_{1,8}^L H_{8,3}^L y_3, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} y_3 &= x_3 \left(H_{3,7}^L y_7 \vee x_8 H_{3,8}^L (H_{8,1}^L y_1 \vee H_{8,3}^L y_3) \vee H_{3,5}^N y_5 \right) = \\ &= x_3 \left(H_{3,7}^L y_7 \vee x_8 H_{3,8}^L (H_{8,1}^L \vee H_{8,3}^L y_3) \vee H_{3,5}^N y_5 \right) = \\ &= x_3 H_{3,7}^L y_7 \vee x_3 x_8 H_{3,8}^L H_{8,1}^L \vee x_3 x_8 H_{3,8}^L H_{8,3}^L y_3 \vee x_3 H_{3,5}^N y_5 = \\ &= x_3 H_{3,7}^L y_7 \vee x_3 x_8 H_{3,8}^L H_{8,1}^L \vee x_3 H_{3,5}^N y_5. \end{aligned} \quad (10)$$

В (9-10) дважды применено правило разрыва циклов: $H_{1,8}^L H_{8,1}^L = 0$ и $H_{3,8}^L H_{8,3}^L = 0$.

Шаг 3: «склеивание» маркеров:

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1 H_{1,6}^L y_6 \vee x_1 x_8 H_{1,3}^L y_3, \\ y_3 &= x_3 H_{3,7}^L y_7 \vee x_3 x_8 H_{3,1}^L y_3 \vee x_3 H_{3,5}^N y_5. \end{aligned} \quad (11)$$

В результате «склейки» были образованы маркеры: $H_{1,8}^L H_{8,3}^L \rightarrow H_{1,3}^L$ и $H_{3,8}^L H_{8,1}^L \rightarrow H_{3,1}^L$.

Далее исключим из СЛУ уравнение для y_7 , выполнив его подстановку в уравнения для y_2 и y_3 .

$$\begin{aligned}
 y_2 &= x_2 \left(H_{2,6}^L y_6 \vee x_7 H_{2,7}^L (H_{7,2}^L y_2 \vee H_{7,3}^L y_3) \vee x_2 H_{2,4}^N y_4 \right) = \\
 &= x_2 \left(H_{2,6}^L y_6 \vee x_7 H_{2,7}^L (H_{7,2}^L \vee H_{7,3}^L y_3) \vee x_2 H_{2,4}^N y_4 \right) = \\
 &= x_2 H_{2,6}^L y_6 \vee x_2 x_7 H_{2,7}^L H_{7,2}^L y_2 \vee x_2 x_7 H_{2,7}^L H_{7,3}^L y_3 \vee x_2 H_{2,4}^N y_4 = \\
 &= x_2 H_{2,6}^L y_6 \vee x_2 x_7 H_{2,3}^L y_3 \vee x_2 H_{2,4}^N y_4,
 \end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
 y_3 &= x_3 x_7 H_{3,7}^L (H_{7,2}^L y_2 \vee H_{7,3}^L y_3) \vee x_3 x_8 H_{3,1}^L y_1 \vee x_3 H_{3,5}^N y_5 = \\
 &= x_3 x_7 H_{3,7}^L (H_{7,2}^L y_2 \vee H_{7,3}^L y_3) \vee x_3 x_8 H_{3,1}^L y_1 \vee x_3 H_{3,5}^N y_5 = \\
 &= x_3 x_7 H_{3,7}^L H_{7,2}^L y_2 \vee x_3 x_7 H_{3,7}^L H_{7,3}^L y_3 \vee x_3 x_8 H_{3,1}^L y_1 \vee x_3 H_{3,5}^N y_5 = \\
 &= x_3 x_7 H_{3,2}^L y_2 \vee x_3 x_8 H_{3,1}^L y_1 \vee x_3 H_{3,5}^N y_5.
 \end{aligned} \tag{13}$$

На этом шаге было дважды применено правило разрыва циклов: $H_{1,8}^L H_{8,1}^L = 0$ и $H_{3,8}^L H_{8,3}^L = 0$. Также было применено правило склеивания: $H_{1,8}^L H_{8,3}^L \rightarrow H_{1,3}^L$ и $H_{3,8}^L H_{8,1}^L \rightarrow H_{3,1}^L$.

Процесс исключения других уравнений из СЛУ приведен в приложении. Здесь же мы приведем окончательный результат.

$$y_1 = x_1 x_2 x_3 x_5 x_6 x_7 \vee x_1 x_2 x_4 x_6 \vee x_1 x_2 x_3 x_4 x_7 x_8 \vee x_1 x_3 x_5 x_8. \tag{14}$$

В результате вычислений остается ровно одно булево уравнение, которое определяет в явном виде зависимость переменной y_1 , т.е. наличия напряжения на распределительном щите 1 от состояния работоспособности всех элементов системы. При этом все переменные-маркеры в процессе решения заменяются либо на ноль, либо на единицу. Полученное уравнение является частным решением исходной СЛУ (7), при получении которого была использована информация о разрешенных и запрещенных в системе циклах. Полученные четыре режима работы системы изображены на рис. 4.

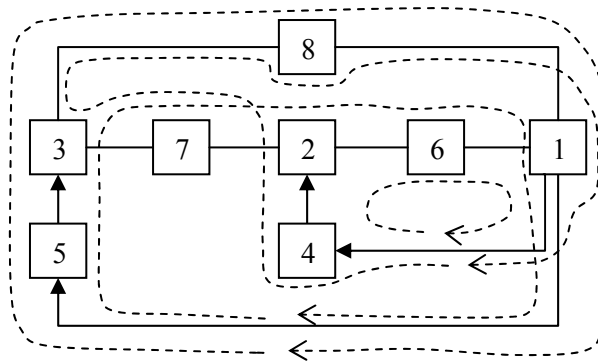


Рис. 4. Режимы работы системы.

Инверсная задача

В рассмотренном выше примере осуществлялся поиск условий работоспособности распределительного щита 1, т.е. находилось выражение для зависимой переменной y_1 через независимые переменные x_i . Однако часто больший интерес представляют условия неработоспособности в виде $\bar{y}_i = \bar{\varphi}_i(\bar{x})$. Новый метод анализа логических сетей позволяет решать и такую инверсную задачу. Для получения исходной СЛУ для решения инверсной задачи определим логическое дополнение для каждого уравнения в СЛУ (7).

$$\begin{aligned}\bar{y}_1 &= \bar{x}_1 \vee \bar{y}_6 \bar{y}_8, & \bar{y}_5 &= \bar{x}_5 \vee \bar{y}_1, \\ \bar{y}_2 &= \bar{x}_2 \vee \bar{y}_6 \bar{y}_7 \bar{y}_4, & \bar{y}_6 &= \bar{x}_6 \vee \bar{y}_1 \bar{y}_2, \\ \bar{y}_3 &= \bar{x}_3 \vee \bar{y}_7 \bar{y}_8 \bar{y}_5, & \bar{y}_7 &= \bar{x}_7 \vee \bar{y}_2 \bar{y}_3, \\ \bar{y}_4 &= \bar{x}_4 \vee \bar{y}_1, & \bar{y}_8 &= \bar{x}_8 \vee \bar{y}_1 \bar{y}_3.\end{aligned}\tag{15}$$

Далее осуществляется переход к маркированной СЛУ по правилу: в правой части уравнения для переменной $\bar{y}_i$ любая переменная $\bar{y}_k$ заменяется на конъюнкцию $\bar{H}_{i,k}^{T(k,i)} \bar{y}_k$, где $T(k,i) = N, L$ - тип дуги из k -го элемента в i -й. После преобразования СЛУ (15) примет вид

$$\begin{aligned}\bar{y}_1 &= \bar{x}_1 \vee \bar{H}_{1,6}^L \bar{y}_6 \bar{H}_{1,8}^L \bar{y}_8, & \bar{y}_5 &= \bar{x}_5 \vee \bar{H}_{5,1}^N \bar{y}_1, \\ \bar{y}_2 &= \bar{x}_2 \vee \bar{H}_{2,6}^L \bar{y}_6 \bar{H}_{2,7}^L \bar{y}_7 \bar{H}_{2,4}^N \bar{y}_4, & \bar{y}_6 &= \bar{x}_6 \vee \bar{H}_{6,1}^L \bar{y}_1 \bar{H}_{6,2}^L \bar{y}_2, \\ \bar{y}_3 &= \bar{x}_3 \vee \bar{H}_{3,7}^L \bar{y}_7 \bar{H}_{3,8}^L \bar{y}_8 \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_5, & \bar{y}_7 &= \bar{x}_7 \vee \bar{H}_{7,2}^L \bar{y}_2 \bar{H}_{7,3}^L \bar{y}_3, \\ \bar{y}_4 &= \bar{x}_4 \vee \bar{H}_{4,1}^N \bar{y}_1, & \bar{y}_8 &= \bar{x}_8 \vee \bar{H}_{8,1}^L \bar{y}_1 \bar{H}_{8,3}^L \bar{y}_3.\end{aligned}\tag{16}$$

Инверсные переменные-маркеры $\bar{H}_{i,k}^{T(k,i)}$ обладают свойствами, обратными обычным маркерам, введенным в предыдущем разделе:

- правило разрыва циклов: $\bar{H}_{i,j}^N \bar{H}_{j,i}^N = 0$;
- правило поглощения: $\bar{H}_{i,j}^L \vee \bar{H}_{i,j}^N = \bar{H}_{i,j}^L$, $\bar{H}_{i,j}^L \bar{H}_{i,j}^N = \bar{H}_{i,j}^N$.

Алгоритм решения СЛУ (14) будет таким же, как и алгоритм решения СЛУ (8), единственное, поменяет правило переноса маркеров из конъюнкта H_s в конъюнкт $\tilde{H}_s$:

- Если в конъюнкт H_s входит пара маркеров $\bar{H}_{i,j}^{T_1} \bar{H}_{j,k}^{T_2}$, и переменная $\bar{y}_k$ входит в конъюнкт Y_s , то в конъюнкт $\tilde{H}_s$ включается маркер $\bar{H}_{i,k}^{T_3}$, где $T_3 = \begin{cases} N, & \text{если } T_1 = T_2 = N, \\ L, & \text{в противном случае.} \end{cases}$ («склеивание» маркеров).
- Если в конъюнкт H_s входит маркер $\bar{H}_{i,k}$ и переменная $\bar{y}_k$ входит в конъюнкт Y_s , то этот маркер переносится в $\tilde{H}_s$ без изменений.
- Остальные маркеры в конъюнкт $\tilde{H}_s$ не включаются.

В качестве примера детально рассмотрим процедуру исключения восьмого уравнения из СЛУ (17). Подстановка будет осуществляться в первое и третье уравнения.

Шаги 1 и 2: подстановка, выбор частного решения, минимизация:

$$\begin{aligned}\bar{y}_1 &= \bar{x}_1 \vee \bar{H}_{1,6}^L \bar{y}_6 \bar{H}_{1,8}^L (\bar{x}_8 \vee \bar{H}_{8,1}^L \bar{y}_1 \bar{H}_{8,3}^L \bar{y}_3) = \\ &= \bar{x}_1 \vee \bar{x}_8 \bar{H}_{1,6}^L \bar{H}_{1,8}^L \bar{y}_6 \vee \bar{H}_{1,6}^L \bar{H}_{1,8}^L \bar{H}_{8,1}^L \bar{H}_{8,3}^L \bar{y}_1 \bar{y}_3 \bar{y}_6 = \\ &= \bar{x}_1 \vee \bar{x}_8 \bar{H}_{1,6}^L \bar{H}_{1,8}^L \bar{y}_6 \vee \bar{H}_{1,6}^L \bar{H}_{1,8}^L \bar{H}_{8,1}^L \bar{H}_{8,3}^L \bar{y}_3 \bar{y}_6,\end{aligned}\quad (17)$$

$$\begin{aligned}\bar{y}_3 &= \bar{x}_3 \vee \bar{H}_{3,7}^L \bar{y}_7 \bar{H}_{3,8}^L (\bar{x}_8 \vee \bar{H}_{8,1}^L \bar{y}_1 \bar{H}_{8,3}^L \bar{y}_3) \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_5 = \\ &= \bar{x}_3 \vee \bar{x}_8 \bar{H}_{3,7}^L \bar{H}_{3,8}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_5 \bar{y}_7 \vee \bar{H}_{3,7}^L \bar{H}_{3,8}^L \bar{H}_{8,1}^L \bar{H}_{8,3}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_1 \bar{y}_3 \bar{y}_5 \bar{y}_7 = \\ &= \bar{x}_3 \vee \bar{x}_8 \bar{H}_{3,7}^L \bar{H}_{3,8}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_5 \bar{y}_7 \vee \bar{H}_{3,7}^L \bar{H}_{3,8}^L \bar{H}_{8,1}^L \bar{H}_{8,3}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_1 \bar{y}_5 \bar{y}_7.\end{aligned}\quad (18)$$

Шаг 3: «склеивание» маркеров:

- $\bar{x}_8 \bar{H}_{1,6}^L \bar{H}_{1,8}^L \bar{y}_6 \rightarrow \bar{x}_8 \bar{H}_{1,6}^L \bar{y}_6$ - маркер $\bar{H}_{1,8}^L$ убирается из конъюнкта, т.к. переменная $\bar{y}_8$ отсутствует в конъюнкте;

- $\bar{H}_{1,6}^L \bar{H}_{1,8}^L \bar{H}_{8,1}^L \bar{H}_{8,3}^L \bar{y}_3 \bar{y}_6 \rightarrow \bar{H}_{1,6}^L \bar{H}_{1,3}^L \bar{y}_3 \bar{y}_6$ - происходит склейка $\bar{H}_{1,8}^L \bar{H}_{8,3}^L \rightarrow \bar{H}_{1,3}^L$; маркер $\bar{H}_{1,6}^L$ переносится без изменений, т.к. $\bar{y}_6$ входит в конъюнкт;

- $\bar{x}_8 \bar{H}_{3,7}^L \bar{H}_{3,8}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_5 \bar{y}_7 \rightarrow \bar{H}_{3,7}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_5 \bar{y}_7$ - маркер $\bar{H}_{3,8}^L$ убирается из конъюнкта, т.к. переменная $\bar{y}_8$ отсутствует в конъюнкте;

- $\bar{H}_{3,7}^L \bar{H}_{3,8}^L \bar{H}_{8,1}^L \bar{H}_{8,3}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_1 \bar{y}_5 \bar{y}_7 \rightarrow \bar{H}_{3,7}^L \bar{H}_{3,1}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_1 \bar{y}_5 \bar{y}_7$ - происходит склейка $\bar{H}_{3,8}^L \bar{H}_{8,1}^L \rightarrow \bar{H}_{3,1}^L$; маркеры $\bar{H}_{3,7}^L$ и $\bar{H}_{3,5}^N$ переносится без изменений, т.к. переменные $\bar{y}_5$ и $\bar{y}_7$ входят в конъюнкт.

В результате получаются новые уравнения

$$\begin{aligned}\bar{y}_1 &= \bar{x}_1 + \bar{x}_8 \bar{H}_{1,6}^L \bar{y}_6 + \bar{H}_{1,6}^L \bar{H}_{1,3}^L \bar{y}_3 \bar{y}_6, \\ \bar{y}_3 &= \bar{x}_3 + \bar{x}_8 \bar{H}_{3,7}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_5 \bar{y}_7 + \bar{H}_{3,7}^L \bar{H}_{3,1}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_1 \bar{y}_5 \bar{y}_7.\end{aligned}\quad (19)$$

Не имея возможности в рамках этой статьи привести детальный разбор исключения оставшихся шести уравнений, приведем конечный результат (промежуточные результаты исключения уравнений приведены в приложении):

$$\bar{y}_1 = \bar{x}_1 + \bar{x}_2 \bar{x}_3 + \bar{x}_2 \bar{x}_5 + \bar{x}_2 \bar{x}_8 + \bar{x}_3 \bar{x}_4 + \bar{x}_3 \bar{x}_6 + \bar{x}_4 \bar{x}_5 + \bar{x}_6 \bar{x}_8 + \bar{x}_4 \bar{x}_7 \bar{x}_8 + \bar{x}_5 \bar{x}_6 \bar{x}_7 \quad (20)$$

Легко убедиться, что уравнение (20) не противоречит решению прямой задачи (14).

Заключение

К сожалению, в последнее время произошла определенная стагнация в развитии методов анализа логических сетей применительно к анализу сложных систем. Более того, зачастую проблема неоднозначности

решения СЛУ не рассматривается авторами методик, предназначенных для анализа сетей с циклами.

Представленный в статье математический аппарат позволяет моделировать работоспособность сложной системы с помощью логической сети, визуально похожей на технологические схемы, применяемые инженерами, что упрощает процесс исследования. Разработанный метод решения СЛУ был реализован в программном комплексе «САиУ НБЖ» [8], предназначенном для анализа надежности и живучести сложных систем. На примере достаточно крупных систем, содержащих порядка ста элементов, была показана практическая применимость и удобство этой методики.

Внимательный читатель может задать логичный вопрос: не переводит ли предложенный метод проблему неоднозначности решения СЛУ в проблему правильной расстановки типов связей в логической сети? Ответ будет следующим: практика показала, что не составляет большого труда в структурной схеме системы выделить участки, в которых циклы не возможны по физическим причинам. Обычно к таким участкам относятся сети передачи электроэнергии, вещества или информационные сети.

Автор данной статьи приветствует конструктивную дискуссию по рассмотренной теме и предлагает всем заинтересованным лицам ознакомиться с демонстрационной версией программного комплекса «САиУ НБЖ», дистрибутив которой можно загрузить по адресу <http://saiu.ftk.spbstu.ru/media/files/staff/Kholodnykh/SAiUSetupDemo.exe>.

Список литературы

1. Острейковский В.А., Швыряев Ю.В. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. М.: ФИЗМАТИТ, 2008.
2. Громов В.Н., Можаяев А.С. Теоретически основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем. Учебное пособие. СПб.: Изд-во Военного инж.-технического университета, 2000 г.
3. Левченков В.С. Общий вид решений булевых уравнений // Автоматика и телемеханика. 2000. № 2. С. 139-150.
4. Черкесов Г.Н., Степанов Ю.В. Логико-вероятностный анализ надежности сложных систем на основе общего решения систем логических уравнений Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2003. №2. С.149-158.
5. Китушин В.Г. Определение логической функции работоспособности электрической системы // Электричество. 1976. №8.
6. Годунов В.А. Формализованный машинно-ориентированный метод получения функции работоспособности структурно-сложных систем управления комплексами судовых технических средств // Судостроительная промышленность. Сер. Автоматика и телемеханика. 1987. Вып. 4.
7. Парфенов Ю.М., Рябинин И.А. Надежность, живучесть и безопасность корабельных электроэнергетических систем. Учебник. СПб.: ВМА, 1997.

8. Симаков И. П., Холодных П. В. Многоцелевой программный комплекс структурного анализа и обеспечения надежности, безопасности и живучести автоматизированных технических комплексов и их управляющих систем // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: Труды Международной научной школы МА БР – 2014 (Санкт-Петербург, 18-20 ноября, 2014 г.). ГОУ ВПО «СПбГУАП». - СПб., 2014.

Приложение 1: исключение уравнений для переменных $y_2 - y_6$ в прямой задаче

Исключение уравнения для y_6 :

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1 H_{1,6}^L x_6 (H_{6,1}^L y_1 \vee H_{6,2}^L y_2) \vee x_1 x_8 H_{1,3}^L y_3 = \\ &= x_1 x_6 H_{1,6}^L H_{6,1}^L \vee x_1 x_6 H_{1,6}^L H_{6,2}^L y_2 \vee x_1 x_8 H_{1,3}^L y_3 = \\ &= x_1 x_6 H_{1,2}^L y_2 \vee x_1 x_8 H_{1,3}^L y_3, \\ y_2 &= x_2 H_{2,6}^L x_6 (H_{6,1}^L y_1 \vee H_{6,2}^L y_2) \vee x_2 x_7 H_{2,3}^L y_3 \vee x_2 H_{2,4}^N y_4 = \\ &= x_2 x_6 H_{2,6}^L H_{6,1}^L \vee x_2 x_6 H_{2,6}^L H_{6,2}^L y_2 \vee x_2 x_7 H_{2,3}^L y_3 \vee x_2 H_{2,4}^N y_4 = \\ &= x_2 x_6 H_{2,1}^L y_1 \vee x_2 x_7 H_{2,3}^L y_3 \vee x_2 H_{2,4}^N y_4. \end{aligned}$$

На этом этапе было применено правило разрыва циклов: $H_{1,6}^L H_{6,1}^L = 0$ и $H_{2,6}^L H_{6,2}^L = 0$ и правило склеивания маркеров: $H_{1,6}^L H_{6,2}^L \rightarrow H_{1,2}^L$ и $H_{2,6}^L H_{6,1}^L \rightarrow H_{2,1}^L$.

Исключение уравнений для y_4 и y_5 :

$$\begin{aligned} y_2 &= x_2 x_6 H_{2,1}^L y_1 \vee x_2 x_7 H_{2,3}^L y_3 \vee x_2 x_4 H_{2,4}^N H_{4,1}^N y_1 = x_2 x_6 H_{2,1}^L y_1 \vee x_2 x_7 H_{2,3}^L y_3 \vee x_2 x_4 H_{2,1}^N y_1, \\ y_3 &= x_3 x_7 H_{3,2}^L y_2 \vee x_3 x_8 H_{3,1}^L y_1 \vee x_3 x_5 H_{3,5}^N H_{5,1}^N y_1 = x_3 x_7 H_{3,2}^L y_2 \vee x_3 x_8 H_{3,1}^L y_1 \vee x_3 x_5 H_{3,1}^N y_1. \end{aligned}$$

На данном этапе склейке подлежали маркеры $H_{2,4}^N H_{4,1}^N \rightarrow H_{2,1}^N$ и

$$H_{3,5}^N H_{5,1}^N \rightarrow H_{3,1}^N.$$

Теперь сделаем небольшую паузу в решении и оглядим оставшуюся после исключения пяти уравнений СЛУ:

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1 x_6 H_{1,2}^L y_2 \vee x_1 x_8 H_{1,3}^L y_3, \\ y_2 &= x_2 x_6 H_{2,1}^L y_1 \vee x_2 x_7 H_{2,3}^L y_3 \vee x_2 x_4 H_{2,1}^N y_1, \\ y_3 &= x_3 x_7 H_{3,2}^L y_2 \vee x_3 x_8 H_{3,1}^L y_1 \vee x_3 x_5 H_{3,1}^N y_1. \end{aligned}$$

Исключение уравнения для y_3 :

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1 x_6 H_{1,2}^L y_2 \vee x_1 x_8 H_{1,3}^L (x_3 x_7 H_{3,2}^L y_2 \vee x_3 x_8 H_{3,1}^L y_1 \vee x_3 x_5 H_{3,1}^N y_1) = \\ &= x_1 x_6 H_{1,2}^L y_2 \vee x_1 x_3 x_7 x_8 H_{1,3}^L H_{3,2}^L y_2 \vee x_1 x_3 x_8 H_{1,3}^L H_{3,1}^L y_1 \vee x_1 x_3 x_5 x_8 H_{1,3}^L H_{3,1}^N y_1 = \\ &= x_1 x_6 H_{1,2}^L y_2 \vee x_1 x_3 x_7 x_8 H_{1,2}^L y_2 \vee x_1 x_3 x_5 x_8, \\ y_2 &= x_2 x_6 H_{2,1}^L y_1 \vee x_2 x_7 H_{2,3}^L (x_3 x_7 H_{3,2}^L y_2 \vee x_3 x_8 H_{3,1}^L y_1 \vee x_3 x_5 H_{3,1}^N y_1) \vee x_2 x_4 H_{2,1}^N y_1 = \\ &= x_2 x_6 H_{2,1}^L y_1 \vee x_2 x_3 x_7 H_{2,3}^L H_{3,2}^L y_2 \vee x_2 x_3 x_7 x_8 H_{2,3}^L H_{3,1}^L y_1 \vee x_2 x_3 x_5 x_7 H_{2,3}^L H_{3,1}^N y_1 \vee \\ &\vee x_2 x_4 H_{2,1}^N y_1 = x_2 x_6 H_{2,1}^L y_1 \vee x_2 x_3 x_7 x_8 H_{2,1}^L y_1 \vee x_2 x_3 x_5 x_7 H_{2,1}^N y_1 \vee x_2 x_4 H_{2,1}^N y_1. \end{aligned}$$

В этот раз правило разрыва циклов было применено для маркеров $H_{1,3}^L H_{3,1}^L = 0$ и $H_{2,3}^L H_{3,2}^L = 0$, а склеивания для маркеров $H_{1,3}^L H_{3,2}^L \rightarrow H_{1,2}^L$, $H_{2,3}^L H_{3,1}^L \rightarrow H_{2,1}^L$ и $H_{2,3}^L H_{3,1}^N \rightarrow H_{2,1}^N$. Также обратим внимание, что конъюнкт $H_{1,3}^L H_{3,1}^N$ в уравнении для y_1 в результате подстановки не сохраняется (заменяется на единицу), т.к. не попадает под правило склеивания. Другими словами конъюнкция $H_{1,3}^L H_{3,1}^N$ обозначает тот цикл, который сохраняется в схеме.

Исключение уравнения для y_2 :

$$\begin{aligned}
y_1 &= x_1 x_6 H_{1,2}^L (x_2 x_6 H_{2,1}^L y_1 \vee x_2 x_3 x_7 H_{2,1}^L y_1 \vee x_2 x_3 x_5 x_7 H_{2,1}^N y_1 \vee x_2 x_4 H_{2,1}^N y_1) \vee \\
&\quad \vee x_1 x_3 x_7 x_8 H_{1,2}^L (x_2 x_6 H_{2,1}^L y_1 \vee x_2 x_3 x_7 H_{2,1}^L y_1 \vee x_2 x_3 x_5 x_7 H_{2,1}^N y_1 \vee x_2 x_4 H_{2,1}^N y_1) \vee \\
&\quad \vee x_1 x_3 x_5 x_8 = \\
&= x_1 x_2 x_6 H_{1,2}^L H_{2,1}^L y_1 \vee x_1 x_2 x_3 x_6 x_7 H_{1,2}^L H_{2,1}^L y_1 \vee x_1 x_2 x_3 x_5 x_6 x_7 H_{1,2}^L H_{2,1}^N y_1 \vee \\
&\quad \vee x_1 x_2 x_4 x_6 H_{1,2}^L H_{2,1}^N y_1 \vee x_1 x_2 x_3 x_6 x_7 x_8 H_{1,2}^L H_{2,1}^L y_1 \vee x_1 x_2 x_3 x_7 x_8 H_{1,2}^L H_{2,1}^L y_1 \vee \\
&\quad \vee x_1 x_2 x_3 x_5 x_7 x_8 H_{1,2}^L H_{2,1}^N y_1 \vee x_1 x_2 x_3 x_4 x_7 x_8 H_{1,2}^L H_{2,1}^N y_1 \vee x_1 x_3 x_5 x_8 = \\
&= x_1 x_2 x_6 H_{1,2}^L H_{2,1}^L \vee x_1 x_2 x_3 x_6 x_7 H_{1,2}^L H_{2,1}^L \vee x_1 x_2 x_3 x_5 x_6 x_7 H_{1,2}^L H_{2,1}^N \vee x_1 x_2 x_4 x_6 H_{1,2}^L H_{2,1}^N \vee \\
&\quad \vee x_1 x_2 x_3 x_6 x_7 x_8 H_{1,2}^L H_{2,1}^L \vee x_1 x_2 x_3 x_7 x_8 H_{1,2}^L H_{2,1}^L \vee x_1 x_2 x_3 x_5 x_7 x_8 H_{1,2}^L H_{2,1}^N \vee \\
&\quad \vee x_1 x_2 x_3 x_4 x_7 x_8 H_{1,2}^L H_{2,1}^N \vee x_1 x_3 x_5 x_8 = \\
&= x_1 x_2 x_3 x_5 x_6 x_7 \vee x_1 x_2 x_4 x_6 \vee x_1 x_2 x_3 x_5 x_7 x_8 \vee x_1 x_2 x_3 x_4 x_7 x_8 \vee x_1 x_3 x_5 x_8 = \\
&= x_1 x_2 x_3 x_5 x_6 x_7 \vee x_1 x_2 x_4 x_6 \vee x_1 x_2 x_3 x_4 x_7 x_8 \vee x_1 x_3 x_5 x_8.
\end{aligned}$$

Приложение 2: результаты исключения уравнений для переменных $\bar{y}_2 - \bar{y}_7$ в инверсной задаче

СЛУ после исключения уравнения для $\bar{y}_8$:

$$\begin{aligned}
\bar{y}_1 &= \bar{x}_1 \vee \bar{x}_8 \bar{H}_{1,6}^L \bar{y}_6 \vee \bar{H}_{1,6}^L \bar{H}_{1,3}^L \bar{y}_3 \bar{y}_6, & \bar{y}_5 &= \bar{x}_5 \vee \bar{H}_{5,1}^N \bar{y}_1, \\
\bar{y}_2 &= \bar{x}_2 \vee \bar{H}_{2,6}^L \bar{y}_6 \bar{H}_{2,7}^L \bar{y}_7 \bar{H}_{2,4}^N \bar{y}_4, & \bar{y}_6 &= \bar{x}_6 \vee \bar{H}_{6,1}^L \bar{y}_1 \bar{H}_{6,2}^L \bar{y}_2, \\
\bar{y}_3 &= \bar{x}_3 \vee \bar{x}_8 \bar{H}_{3,7}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_5 \bar{y}_7 \vee \bar{H}_{3,7}^L \bar{H}_{3,1}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_1 \bar{y}_5 \bar{y}_7, & \bar{y}_7 &= \bar{x}_7 \vee \bar{H}_{7,2}^L \bar{y}_2 \bar{H}_{7,3}^L \bar{y}_3. \\
\bar{y}_4 &= \bar{x}_4 \vee \bar{H}_{4,1}^N \bar{y}_1,
\end{aligned}$$

СЛУ после исключения уравнения для $\bar{y}_7$:

$$\begin{aligned}
\bar{y}_1 &= \bar{x}_1 \vee \bar{x}_8 \bar{H}_{1,6}^L \bar{y}_6 \vee \bar{H}_{1,6}^L \bar{H}_{1,3}^L \bar{y}_3 \bar{y}_6, \\
\bar{y}_2 &= \bar{x}_2 \vee \bar{x}_7 \bar{H}_{2,6}^L \bar{H}_{2,4}^N \bar{y}_4 \bar{y}_6 \vee \bar{H}_{2,6}^L \bar{H}_{2,3}^L \bar{H}_{2,4}^N \bar{y}_3 \bar{y}_4 \bar{y}_6, \\
\bar{y}_3 &= \bar{x}_3 \vee \bar{x}_7 \bar{x}_8 \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_5 \vee \bar{x}_8 \bar{H}_{3,2}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_2 \bar{y}_5 \vee \bar{x}_7 \bar{H}_{3,1}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_1 \bar{y}_5 \vee \bar{H}_{3,2}^L \bar{H}_{3,1}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_1 \bar{y}_2 \bar{y}_5, \\
\bar{y}_4 &= \bar{x}_4 \vee \bar{H}_{4,1}^N \bar{y}_1, & \bar{y}_5 &= \bar{x}_5 \vee \bar{H}_{5,1}^N \bar{y}_1, & \bar{y}_6 &= \bar{x}_6 \vee \bar{H}_{6,1}^L \bar{y}_1 \bar{H}_{6,2}^L \bar{y}_2.
\end{aligned}$$

СЛУ после исключения уравнения для $\bar{y}_6$:

$$\begin{aligned}\bar{y}_1 &= \bar{x}_1 \vee \bar{x}_6 \bar{x}_8 \vee \bar{x}_8 \bar{H}_{1,2}^L \bar{y}_2 \vee \bar{x}_6 \bar{H}_{1,3}^L \bar{y}_3 \vee \bar{H}_{1,2}^L \bar{H}_{1,3}^L \bar{y}_2 \bar{y}_3, \\ \bar{y}_2 &= \bar{x}_2 \vee \bar{x}_6 \bar{x}_7 \bar{H}_{2,4}^N \bar{y}_4 \vee \bar{x}_7 \bar{H}_{2,1}^L \bar{H}_{2,4}^N \bar{y}_1 \bar{y}_4 \vee \bar{x}_6 \bar{H}_{2,3}^L \bar{H}_{2,4}^N \bar{y}_3 \bar{y}_4 \vee \bar{H}_{2,1}^L \bar{H}_{2,3}^L \bar{H}_{2,4}^N \bar{y}_1 \bar{y}_3 \bar{y}_4, \\ \bar{y}_3 &= \bar{x}_3 \vee \bar{x}_7 \bar{x}_8 \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_5 \vee \bar{x}_8 \bar{H}_{3,2}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_2 \bar{y}_5 \vee \bar{x}_7 \bar{H}_{3,1}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_1 \bar{y}_5 \vee \bar{H}_{3,2}^L \bar{H}_{3,1}^L \bar{H}_{3,5}^N \bar{y}_1 \bar{y}_2 \bar{y}_5, \\ \bar{y}_4 &= \bar{x}_4 \vee \bar{H}_{4,1}^N \bar{y}_1, \quad \bar{y}_5 = \bar{x}_5 \vee \bar{H}_{5,1}^N \bar{y}_1.\end{aligned}$$

СЛУ после исключения уравнения для $\bar{y}_4$ и $\bar{y}_5$:

$$\begin{aligned}\bar{y}_1 &= \bar{x}_1 \vee \bar{x}_6 \bar{x}_8 \vee \bar{x}_8 \bar{H}_{1,2}^L \bar{y}_2 \vee \bar{x}_6 \bar{H}_{1,3}^L \bar{y}_3 \vee \bar{H}_{1,2}^L \bar{H}_{1,3}^L \bar{y}_2 \bar{y}_3, \\ \bar{y}_2 &= \bar{x}_2 \vee \bar{x}_4 \bar{x}_6 \bar{x}_7 \vee \bar{x}_4 \bar{x}_7 \bar{H}_{2,1}^L \bar{y}_1 \vee \bar{x}_7 \bar{H}_{2,1}^N \bar{y}_1 \vee \bar{x}_4 \bar{x}_6 \bar{H}_{2,3}^L \bar{y}_3 \vee \\ &\quad \vee \bar{x}_6 \bar{H}_{2,3}^L \bar{H}_{2,1}^N \bar{y}_1 \bar{y}_3 \vee \bar{x}_4 \bar{H}_{2,1}^L \bar{H}_{2,3}^L \bar{y}_1 \bar{y}_3 \vee \bar{H}_{2,3}^L \bar{H}_{2,1}^N \bar{y}_1 \bar{y}_3, \\ \bar{y}_3 &= \bar{x}_3 \vee \bar{x}_5 \bar{x}_7 \bar{x}_8 \vee \bar{x}_5 \bar{x}_8 \bar{H}_{3,2}^L \bar{y}_2 \vee \bar{x}_8 \bar{H}_{3,2}^L \bar{H}_{3,1}^N \bar{y}_1 \bar{y}_2 \vee \bar{x}_5 \bar{x}_7 \bar{H}_{3,1}^L \bar{y}_1 \vee \\ &\quad \vee \bar{x}_7 \bar{H}_{3,1}^N \bar{y}_1 \vee \bar{x}_5 \bar{H}_{3,2}^L \bar{H}_{3,1}^L \bar{y}_1 \bar{y}_2 \vee \bar{H}_{3,2}^L \bar{H}_{3,1}^N \bar{y}_1 \bar{y}_2.\end{aligned}$$

СЛУ после исключения уравнения для $\bar{y}_3$:

$$\begin{aligned}\bar{y}_1 &= \bar{x}_1 \vee \bar{x}_6 \bar{x}_8 \vee \bar{x}_8 \bar{H}_{1,2}^L \bar{y}_2 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_6 \vee \bar{x}_5 \bar{x}_6 \bar{x}_7 \vee \bar{x}_3 \bar{H}_{1,2}^L \bar{y}_2 \vee \bar{x}_5 \bar{H}_{1,2}^L \bar{y}_2, \\ \bar{y}_2 &= \bar{x}_2 \vee \bar{x}_4 \bar{x}_6 \bar{x}_7 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{x}_6 \vee \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{x}_6 \bar{x}_8 \vee \bar{x}_4 \bar{x}_7 \bar{H}_{2,1}^L \bar{y}_1 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_4 \bar{H}_{2,1}^L \bar{y}_1 \vee \bar{x}_4 \bar{x}_5 \bar{H}_{2,1}^L \bar{y}_1 \vee \bar{H}_{2,1}^N \bar{y}_1.\end{aligned}$$

Итоговый результат:

$$\bar{y}_1 = \bar{x}_1 \vee \bar{x}_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_2 \bar{x}_5 \vee \bar{x}_2 \bar{x}_8 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_4 \vee \bar{x}_3 \bar{x}_6 \vee \bar{x}_4 \bar{x}_5 \vee \bar{x}_6 \bar{x}_8 \vee \bar{x}_4 \bar{x}_7 \bar{x}_8 \vee \bar{x}_5 \bar{x}_6 \bar{x}_7.$$

УДК 591.1-74:629.5

Ярошенко Алексей Владимирович

Д-р техн. наук, профессор, профессор

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗАЦИИ БОРЬБЫ ЗА ЖИВУЧЕСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ПРИМЕРЕ КОРАБЛЯ

Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, yaroshenko17@yandex.ru

Аннотация: На корабельном примере показывается математический аппарат, позволяющий учесть реальную технологическую взаимозависимость всех элементов большой сложной технической системы с разной физической природой и функциональным значением, а также алгоритм, позволяющий применить такую математическую модель для автоматизации процесса борьбы за живучесть технических средств.

Ключевые слова: живучесть, граф, матрица, технология, алгоритм.

Aleksei V. Yaroshenko,
Doctor of Technical Sciences, Professor

AUTOMATION ALGORITHM OF STRUGGLE FOR PERSISTENCE HARDWARE ON THE EXAMPLE OF THE SHIP

Saint Petersburg, Peter the Great Saint Petersburg polytechnic university, yaroshenko17@yandex.ru

Abstract. A mathematical apparatus is showed in an example of ship. It takes into account the real technological interdependence of all elements of large complex technical systems with different physical nature and functional value. Also it is discussed an algorithm, which allows to apply this mathematical model to automation a process of damage control.

Key words: damage control, graph, matrix, technology, algorithm

Рассмотрим применение этого алгоритма на примере автоматизации борьбы за живучесть такой большой сложной технической системы как все технические средства атомной подводной лодки.

Опыт борьбы за живучесть (БЗЖ) технических средств (ТС) как в отечественном ВМФ, так и в ВМС США свидетельствует, что примерно в 30% случаев операторы ТС своими действиями только усугубляли аварийную ситуацию. Эти действия были либо неправильными, либо несвоевременными, либо нескоординированными. Попытки улучшить ситуацию, повысив качество обучения операторов и ужесточив их ответственность, существенных результатов не принесли.

Анализ действий операторов в процессе БЗЖ на таких технически сложных кораблях, как атомные подводные лодки (АПЛ), показал, что имеются две объективные причины, обуславливающие появление ошибок.

Первая причина заключается в дефиците времени на принятие решения. В соответствии с существующими требованиями максимально через 30с после начала аварии уже должны начаться первые противоаварийные мероприятия. Чтобы уложиться в это время, на осознание аварийной ситуации, обдумывание и принятие решения на противоаварийные действия оператор, согласно проведенным исследованиям, имеет максимум 12с, а фактически в среднем ему требуется 16с. Следовательно, оператор просто физически не успевает адекватно отреагировать на быстро меняющуюся аварийную ситуацию.

Вторая причина обусловлена дефицитом информации. Современные АПЛ настолько сложны, их системы и механизмы настолько технологически взаимозависимы, что одному оператору практически невозможно осознать все происходящие процессы для принятия правильного реше-

ния. Чтобы этого избежать, искусственно единую функцию управления всеми ТС разделили на три части и, соответственно, ввели трех операторов: главной энергетической установки (ГЭУ), электроэнергетической системы (ЭЭС) и общекорабельных систем (ОКС).

В нормальной неаварийной обстановке такое разделение функций управления хорошо себя зарекомендовало. Однако при аварии возникает противоречие. С одной стороны, одному оператору все технологические процессы не осознать, а с другой, исходя из теснейшей технологической взаимозависимости всех ТС АПЛ, каждому оператору надо знать техническое состояние не только вверенных ему механизмов и систем, но и других, информации о которых он не имеет вследствие разделения единой функции управления на три пульта. В такой ситуации операторы объективно вынуждены действовать разобщенно, часто наугад. В результате их действия становятся нескоординированными между собой, что и ведет к усугублению аварийной ситуации.

Именно в этом случае операторам может помочь алгоритм, основанный на математической модели, учитывающей реальную технологическую взаимозависимость всех ТС корабля. Поставим задачу формально. Пусть дана большая сложная техническая система, под которой будем понимать ТС всей АПЛ в целом, состоящие из множества физически и функционально разнородных, но технологически взаимозависимых систем и механизмов. В такой системе происходит произвольная комбинация повреждений элементов. Требуется в кратчайшее время выработать единое скоординированное по всей сложной системе решение на переключения в ней с целью локализации аварии и максимально возможного поддержания ее работоспособности, затем это единое решение разделить согласно числу операторов и выдать его каждому из них в части, касающейся его функциональных обязанностей. Предъявим ряд обязательных требований к качеству такого решения:

- решение должно быть выработано в форме конкретных действий операторов (т. е. в нем необходимо конкретно указать, какой клапан открыть, какой закрыть, какой насос пустить, какой остановить и т. д.);
- должна учитываться ситуация, когда часть операторов в ходе БЗЖ потеряет работоспособность, тогда действия оставшихся в строю должны быть изменены с учетом этого факта;
- следует предусмотреть возможную ситуацию, когда после произвольной комбинации повреждений какую-либо систему можно вынуждено собрать из оставшихся не поврежденными элементов только по нештатной схеме ее включения, тогда решение обязательно должно содержать анализ возможных перегрузок;
- решение должно включать в себя прогноз того будущего общего состояния всей технической системы, в которое она может попасть при

условии, что все операторы в точности выполняют все рекомендованные им действия.

Такой алгоритм, получивший название «Энергия», создан в ВМА им. Н.Г.Кузнецова. Опишем его на конкретном упрощенном примере. Предложим для этой цели использовать математический аппарат теории цветных графов. Случай, когда один элемент отдает другому энергию, вещество или информацию (ЭВИ), будем обозначать дугой, выходящей из одной вершины графа и входящей в другую (см. рис. 1а). Если какой-либо элемент является источником ЭВИ, то этот факт обозначим петлей при вершине, т. е. элемент как бы получает ЭВИ «из самого себя» (см. рис.1б). Большинство связей в граф-моделях сложных систем символизируют передачу того или иного типа энергии (а не вещества или информации), поэтому алгоритм и был назван «Энергия».

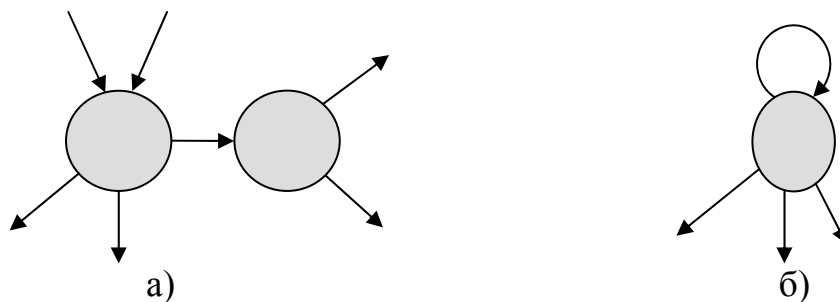


Рис.1. Формализация передачи энергии, вещества или информации (а)
И источника энергии, вещества или информации (б)

Используя такое математическое описание, можно составить граф-модель технической системы любой сложности. В качестве примера рассмотрим корабельную котлотурбинную установку (КТУ), состоящую из котла с топливной цистерной и топливным насосом, паропроводов, подающих пар на главные турбозубчатые агрегаты №1 и №2 (ГТЗА) с навешенными на них генераторами (Г) и винтами движительного комплекса (см. рис.2). Вакуум в главном конденсаторе (ГК) создается при помощи главного эжектора (ГЭЖ). Охлаждается пар в ГК забортной водой, которая прокачивается при помощи главного циркуляционного насоса (ГЦН). Питательная вода в котел подается последовательно включенными электроконденсатным и электропитательным насосами (ЭКН и ЭПН). Вырабатываемая навешенными на ГТЗА генераторами электроэнергия напряжением 380В при частоте тока 50Гц поступает на главные распределительные щиты ГРЩ-1 и ГРЩ-2, между которыми есть перемычка с автоматом А1. При помощи дизельобратимых преобразователей ДОП-1 и ДОП-2 переменный ток преобразуется в постоянный и подается на щиты

[illegible]

При потере напряжения в сети 380В/50Гц автоматически срабатывает запорное кремниевое устройство ЗУК-1 и ЗУК-2 и ток от аккумуляторных батарей АБ-1 и (или) АБ-2 идет на ДОП-1 и (или) ДОП-2, которые при этом переходят в инверторный режим, т. е. из постоянного тока вырабатывают переменный и питают ГРЩ-1 и (или) ГРЩ-2. ЗУК-1 и ЗУК-2 шунтируются автоматами ВБ-1 и ВБ-2 соответственно. Между АБ-1 и АБ-2 также имеется перемычка с автоматом АЗ.

327

соответствующим командам. Источники основного и резервного каналов подвода электрической энергии к электродвигателям соответствующих насосов также показаны на рис.3.

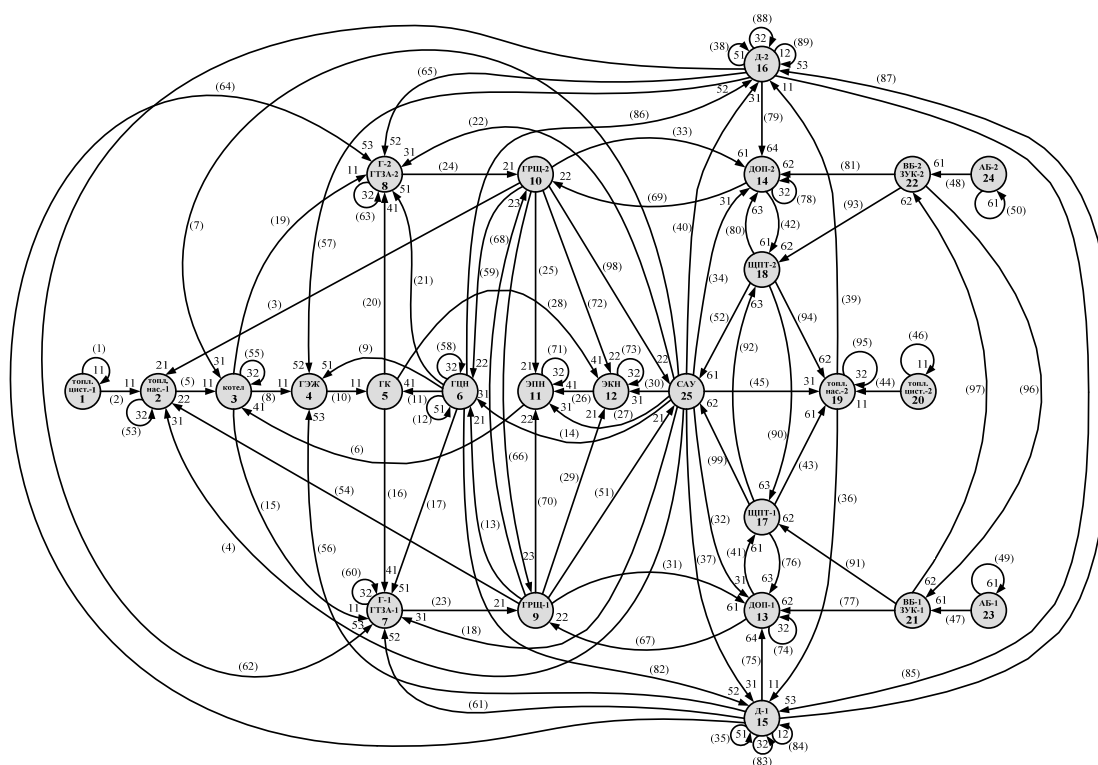


Рис. 3. Граф-модель корабельной котлотурбинной установки.

По правилам математической формализации построим граф-модель (L-граф) данной технической системы (см. рис.3). Здесь у конца каждой дуги и петли стоят двухразрядные числа. Разряд десятков говорит номере типа питания ЭВИ или раскраске графа (1 - пар или топливо, 2 - электроэнергия 380В/50Гц, 3 - управляющие сигналы от САУ, 4 - питательная вода, 5 - забортная вода, 6 - электроэнергия постоянного тока), а разряд единиц соответствует номеру приоритета ввода в действие резерва. Приоритет 1 имеют все связи, работающие в спецификационном режиме (на рис.3 они показаны толстыми дугами). Все резервные дуги (приоритеты 2 и более) обозначены тонкими линиями. На рис.4 показаны соответственно матрицы связности вершин суграфа фактических каналов передачи ЭВИ – матрица - В (см. рис.4а) и резервных связей - матрица С (см. рис.4б). Каждый их ненулевой элемент соответствует двухразрядному числу на концах соответствующих дуг и петель.

Рассмотрим работу алгоритма при конкретной ситуации. Пусть поражающие факторы какой-либо аварии (пожар, затопление, разрыв в системе ВВД или паропроводов и т. д.) приведет к выходу из строя генера-

тора Г-1 (см. рис.2). Формально это записывается внесением в содержание вектора аварии всех выходящих дуг из вершины № 7:

$$R_1^o = \left(\bigcup_{i=1}^1 r_{1,j}^o \right) \in \{r_{1,j}^o = 23\}$$

Здесь 23 - это номер дуги (на рис. 3 все номера дуг даны в скобках).

В результате такого повреждения ГРЦ-1 потеряет питание электроэнергией с параметрами 380В/50Гц. В матрице В (см. рис.4а) это будет соответствовать тому, что в строке 9 и столбце 7 ее ненулевой элемент $b_{9,7}=21 \rightarrow 0$ станет равным нулю. В этом случае алгоритм будет функционировать следующим образом: в матрице резервов С (см. рис.4б) в ее строке 9 он будет искать ненулевой элемент с тем же самым типом питания 2 (380В/50Гц) и следующим по порядку номером ввода в действие резерва, т.е. приоритетом 2. Следовательно, этот элемент должен иметь индекс 22. Такой элемент алгоритм найдет в колонке 13 матрицы С, т.е. $c_{9,13}=22$. Затем алгоритм переводит элемент $c_{9,13}=22$ из матрицы С в матрицу В на свое место, т. е. в строку 9 и колонку 13. После чего этот элемент из матрицы С исключается, т. е. $c_{9,13}=22 \rightarrow 0$, а в матрице В появляется новый ненулевой элемент $b_{9,13}=0 \rightarrow 22$ (см. рис.4). Математически эту операцию можно записать в следующем виде:

$$(r_{1,1}^o = 23 \cap L) \Rightarrow (b_{9,7} = 21 \rightarrow 0) \& (c_{9,13} = 22 \rightarrow 0) \& (b_{9,13} = 0 \rightarrow 22).$$

а)

б)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	11	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
3	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
4	0	0	11	0	0	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	11	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	51	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
7	0	0	11	0	41	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
8	0	0	11	0	41	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
9	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
12	0	0	0	0	41	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
13	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
14	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	0	0	0	11	0	0	0	0	0	31
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	0	0	11	0	0	0	0	0	31
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	11	0	0	0	0	0	0	31
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	61	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	32	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	52	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	32	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	52	53	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	53	52	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	64	0	63	0	0	0	62	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	64	0	63	0	0	0	62	0	0	0
15	0	0	0	0	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	53	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	32	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	0	0	62	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	0	0	0	62	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	32	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 4. Матрица фактических (а) и резервных (б) связей.

Обработывая каждый элемент вектора аварий R_1^o , алгоритм «запоминает» номера всех перемещенных элементов из матрицы С в матрицу В. Каждый такой перенос в реальности есть ввод в действие какой-то ре-

зервной связи. Но для того, чтобы это сделать, оператору нужно выполнить какие-то конкретные действия. Поэтому для каждого ненулевого элемента матрицы резервов C заранее поставлено в соответствие текстовое сообщение для оператора о том, что ему конкретно нужно сделать для ввода в действие каждой резервной связи. Следовательно, когда алгоритм «Энергия» заканчивает обрабатывать векторы аварий всех поколений, на экран дисплея выдаются текстовые сообщения о конкретных действиях оператора по вводу в работу тех резервных связей, номера которых соответствуют тем ненулевым элементам матрицы C , которые переместились в матрицу B .

Если каждой связи граф-модели ещё приписать и пропускную способность описываемой ей связи – a_{ijk} (где $i, j = \overline{1, n}$, n – количество вершин в граф-модели, k – номер цвета краски), то, суммируя по строке матрицы B , получим количество входящей энергии или вещества:

$$P_{\text{вх}_{ik}} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n a_{ijk},$$

а суммируя по столбцу – выходящей:

$$P_{\text{вых}_{ik}} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n a_{ijk}.$$

Если условие

$$P_{\text{вх}_{ik}} - P_{\text{вых}_{ik}} \geq 0$$

не выполняется, то у данного i -го механизма фиксируется перегрузка. Вычисляется её процент:

$$\Delta_{ik} = \frac{|P_{\text{вх}_{ik}} - P_{\text{вых}_{ik}}|}{P_{\text{вх}_{ik}}} \cdot 100\%$$

и выдаётся список элементов, записанных с перегруженного механизма со своими атрибутами.

Далее алгоритм сортирует все перемещенные элементы из матрицы C в матрицу B по типам передаваемой энергии, вещества или информации (номерам цвета красок). Для нашего примера (см. рис.2): оператору пульта ГЭУ - 1, 4 и 5; оператору пульта ЭЭС - 2 и 6; вахтенному группы КИПиА (контрольно-измерительных приборов и автоматики) - 3.

Затем, согласно этим номерам, в виде текста выдаются рекомендации на экраны дисплеев соответствующим операторам о выполнении необходимых оперативных переключений в сложной технической системе, например:

Рекомендации операторам по борьбе за живучесть

Действия оператора ГЭУ

1. Вышел из строя ГЦН. Пустить дизель №1 в режиме насоса заборной воды. Открыть клапан К-3, подать охлаждающую воду на СВО ТГ-1.
2. Вышел из строя ГЦН дизель №2. Пустить дизель №1 в режиме насоса заборной воды. Открыть клапан К-6, подать охлаждающую воду на СВО ТГ-2.
3. Вышли из строя навешенный насос охлаждения дизеля №2 и ГЦН. Пустить дизель №1 в режиме насоса заборной воды. Открыть клапаны К-1, К-4 и К-6, подать охлаждающую воду от дизеля №1.

Действия оператора ЭЭС

1. Вышел из строя ДОП-2, автоматически не сработало ЗУК-2. Замкнуть автомат А2, подать питание на ЩПТ-2 от ЩПТ-1.
2. Вышел из строя ЩПТ-2. Замкнуть автомат А5. Подать питание постоянного тока на САУ от ЩПТ-1.

Действия вахтенного группы КИПиА

1. Вышла из строя САУ. Управлять топливным насосом с местного поста вручную по команде с пульта ГЭУ.
2. Вышла из строя САУ. Управлять котлом с местного поста вручную по команде с пульта ГЭУ.
3. Вышла из строя САУ. Управлять ГТЗА левого борта и навешенным ТГ-2 с местного поста вручную по командам с пульта ГЭУ.

Сведения о перегрузках

Перегрузка №1. Дизель №1 на 0,3%. С него запрашиваются:

ГТЗА правого борта с навешенным ТГ-1 – 200л/мин;

ГТЗА левого борта с навешенным ТГ-2 – 200л/мин, дизель №1 – 500л/мин;

Дизель №2 – 250л/мин.

Перегрузка №2. ЩПТ-1 на 36%. С него запрашиваются:

ЩПТ-2 – 55А;

Топливный насос №2 – 10А;

Система автоматического управления – 10А.

Возможности движительного комплекса корабля

Ограничений по использованию ГЭУ нет.

Возможности по запасам топлива

Можно эксплуатировать ГЭУ без ограничений по мощности и ходу.

Поскольку такое решение вырабатывалось единым алгоритмом по единой граф-модели ТС, то, следовательно, все конкретные рекомендации для каждого из операторов в отдельности будут скоординированы между собой.

В связи с тем, что операторы, управляющие процессом БЗЖ технических средств в сложной ТС, несут ответственность за свои действия, получая указания на производство оперативных переключений от алгоритма «Энергия», они должны знать, каково будет общее техническое состояние ТС, которыми они управляют. В противном случае операторы будут вынуждены либо принимать рекомендуемые им советы на веру («в темную»), либо необоснованно отказываться от них, что в любом случае увеличивает риск. Поэтому алгоритм должен также выдавать и краткое описание того общего состояния всей сложной ТС, в которое она может попасть при условии, что все операторы полностью выполняют рекомендуемые переключения.

Для выработки такой информации алгоритм «Энергия», после окончания обработки векторов аварий всех поколений, анализирует состояние («1» - в строю, «0» - вышел из строя) каждого элемента ТС, учтенного в его граф-модели как вершина. В результате этого анализа образуется определенная комбинация из нулей и единиц. Каждая такая комбинация, свидетельствующая о каком-то общем состоянии всей ТС в целом, заранее в таблице истинности снабжена краткой текстовой информацией о ней. Алгоритм сравнивает образовавшуюся комбинацию с учтенными в таблице истинности, находит аналогичную и выдает на экраны дисплеев операторов текстовое сообщение, соответствующее совпавшей комбинации. Это сообщение является прогнозом того будущего общего состояния сложной ТС, в которое она может попасть при условии, что все операторы полностью выполнят предложенные им рекомендации на оперативные переключения.

Список литературы

1. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Автоматизация восстановления работоспособности систем сложной структуры, в журнале «Автоматика и телемеханика», №7, М.: 2002 г.
2. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Автоматизация процесса борьбы за живучесть технических средств корабля, в журнале «Судостроение» №5, 6, СПб.: 1996 г.
3. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Математическое описание технологической взаимозависимости всех систем и механизмов корабля и алгоритм его практического применения, в журнале «Судостроение», №1, СПб.: 2000 г.
4. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Вопросы использования алгоритмов математического описания технологической взаимозависимости всех систем корабля, в журнале «Судостроение», №2, СПб.: 2000 г.
5. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Математическая оценка численности экипажа корабля, в журнале «Судостроение», №6, СПб.: 2000 г.
6. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Единое управление разнородными взаимосвязанными процессами в судостроении, в журнале «Судостроение», №5, СПб.: 2001 г.

7. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Метод автоматического поиска топологически слабых мест в компоновке корабельных систем., в журнале «Судостроение», №5, СПб.: 2003 г.

8. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Метод математического обоснования автоматизации элементов оружия и технических средств корабля с точки зрения борьбы за живучесть., СПб, Судостроение, №6, 2007.

9. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Алгоритм, вырабатывающий советы оператору при борьбе за живучесть технических средств корабля., в журнале «Морской сборник» №7, 1994 г.

10. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Алгоритм выработки рекомендаций оператору при борьбе за живучесть ТС корабля., Журнал «Морской сборник» №7, М.: 1995 г.

11. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Бесконтактные войны седьмого поколения., в журнале: «Оборонный заказ», специальный выпуск №11, СПб.: 2006 г.

12. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Применение информации об инженерной инфраструктуре страны для ведения современной войны., в журнале: «Оборонный заказ», специальный выпуск №12, СПб.: 2007 г.

13. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Алгоритм «Энергия»., в журнале: «Оборонный заказ», специальный выпуск №17, СПб.: 2007 г.

14. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Универсальный алгоритм борьбы с авариями техники., М, журнал «Военный парад» №2 (март-апрель) 2009.

15. Ярошенко А.В., д.т.н., проф. Войны будущего., М, журнал «Военный парад» №4 (июль-август) 2009.

УДК 389.001

Акимов Валерий Иванович,

канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры,

Полуказаков Алексей Викторович,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры,

Жданова Алина Викторовна,

Магистрант

ВЫБОР И РЕАЛИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

г. Воронеж, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (Воронежский ГАСУ), кафедра «Автоматизации технологических процессов и производств»

VAKImov@vgasu.vrn.ru

Аннотация. В работе рассматривается выбор и обоснование статистических моделей метрологического обеспечения производственных характеристик с допустимым отклонением в пределах $\pm \theta$ на основе средств контроля с допустимой погрешностью $\pm \Delta$, на основе первичных

данных моделей отклонений в пределах $\pm \theta$, нормальным законом и законом Релея и модифицированными стандартными описаниями случайных погрешностей в пределах $\pm \Delta$ (равномерный, Симпсона, антимодальные 1 и 2 и трапецеидальный). Совместные статистические модели метрологического обеспечения найдены с помощью операции свертки. Получены аналитические выражения и их графическая интерпретация. В качестве примера в работе представлена таблица вероятностных критериев на основе полученных выражений.

Ключевые слова: технологический процесс, измерительный канал, статистический критерий, двумерная плотность распределения вероятностей

Valery I. Akimov,

PhD. tech. Sciences, associate Professor, Professor of the Department,

Alexey V. Polukazakov,

PhD. tech. Sciences, associate Professor, associate Professor of the Department,

Alina V. Zhdanova,

Student in the master's program,

SELECTION AND IMPLEMENTATION OF STATISTICAL PROCESS MODELS OF METROLOGICAL PROVISION SYSTEMS AND AUTOMATION

Voronezh, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering,
Department of Automation of technological processes and manufactures
VAKImov@vgasu.vrn.ru

Abstract: The paper deals with the selection and justification of statistical models of metrological provision of production performance with a tolerance within $\pm \theta$ based controls with a permissible error $\pm \Delta$ based on primary data model variations within $\pm \theta$, normal law and the law of Rayleigh and modified standard descriptions random errors within $\pm \Delta$ (uniform, Simpson antimodal 1 and 2 and trapezoidal) . Joint statistical models of metrological support found by convolution. Analytical expressions and their graphic interpretation. As an example, in a table based on probabilistic criteria expressions obtained.

Key words: process, measurement, statistical test, a two-dimensional probability density function.

Одной из главных прикладных задач в теоретической метрологии является оценка вероятностей ошибок первого (P_1) и второго (P_2) рода

результатов управления качеством технологических процессов с помощью измерительных каналов систем и средств автоматизации.

Потребность в оценке этих вероятностей в первую очередь связана с обоснованным выбором и обоснованием метрологических характеристик канала измерения контролируемого параметра. В дальнейшем образцовое средство будем называть проверяющим прибором (измерительным каналом), а рабочее средство – поверяемым прибором (контролируемым параметром технологического производственного процесса).

Если принять, что плотность распределения вероятности контролируемого параметра A измерительным каналом – $W(A)$ (наиболее часто для технологических процессов плотность вероятности описывается нормальным и Релеевским законами), то значения искомых вероятностей будут определяться предельно допустимыми абсолютными погрешностями $\pm \Delta$ измерительного канала и $\pm \theta$ технологического процесса.

$$W(x) := \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{(x-m)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad - \text{аналитическая запись нормального закона}$$

$$W1(x) := \frac{x}{\sigma^2} \cdot e^{-\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}} \quad - \text{аналитическая запись Релеевского закона}$$

В свою очередь, распределение измеряемого параметра A измерительного канала описывается стандартными метрологическими законами: равномерный, Симпсона, антимодальным -1, антимодальным -2, трапецидальным [2, с.51-55].

Для определения вероятностей ошибок (первого и второго рода) и вероятностей правильного контроля (годный-годный, негодный-негодный) существует несколько методов, одним из которых является метод свёртывания плотностей вероятностей контролируемого и контролирующего процессов. Он заключается в следующем: во-первых, находится свёртка плотностей вероятности проверяемого ($g(A)$) и проверяющего ($W(A)$) процессов, результатом которой будет плотность вероятности системы двух процессов;

$$W_u(x) = \int_{-\infty}^{\infty} g(\tau) \cdot W(x - \tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} W(\tau) \cdot g(x - \tau) d\tau$$

во-вторых, выбираются контролируемые точки;

в-третьих, путём интегрирования полученной плотности вероятности системы определяются искомые вероятности ошибок.

Таким образом, первоочередной задачей является отыскание плотностей вероятности системы контролируемого и контролирующего процессов, чему и посвящена данная работа. В качестве статистических моделей

измерительного канала приняты модифицированные стандартные функции [1,2]. В ходе проведения аналитических вычислений были получены следующие результаты:

Свертка нормального и равномерного законов:

$$W_{n^*p} = \frac{1}{b-a} \cdot [\Phi(x-a-M) - \Phi(x-b-M)] \quad (1)$$

Свертка модифицированного закона Симпсона и нормального:

$$W_{n^*c} = \frac{\gamma(a-x+M)}{a-m} \cdot [\Phi(x-a-M) - \Phi(x-m-M)] + \frac{\gamma(b-x+M)}{b-m} \cdot [\Phi(x-m-M) - \Phi(x-b-M)] + \\ + \frac{\gamma\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{1}{a-m} \cdot \left(e^{-\frac{(x-m-M)^2}{2\sigma^2}} - e^{-\frac{(x-a-M)^2}{2\sigma^2}} \right) + \frac{1}{b-m} \cdot \left(e^{-\frac{(x-b-M)^2}{2\sigma^2}} - e^{-\frac{(x-m-M)^2}{2\sigma^2}} \right) \right] \quad (2)$$

Свертка антимодального -1 и нормального законов:

$$W_{n^*Am-1} = \frac{\gamma_1(m-x+M)}{m-a} \cdot [\Phi(x-a-M) - \Phi(x-m-M)] + \frac{\gamma_2(m-x+M)}{m-b} \cdot [\Phi(x-m-M) - \Phi(x-b-M)] + \\ + \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{\gamma_1}{m-a} \cdot \left(e^{-\frac{(x-m-M)^2}{2\sigma^2}} - e^{-\frac{(x-a-M)^2}{2\sigma^2}} \right) + \frac{\gamma_2}{d-b} \cdot \left(e^{-\frac{(x-b-M)^2}{2\sigma^2}} - e^{-\frac{(x-m-M)^2}{2\sigma^2}} \right) \right] \quad (3)$$

Свертка модифицированного антимодального-2 и нормального законов:

$$W_{n^*Am-2} = \frac{\gamma_1(c-x+M)}{c-a} \cdot [\Phi(x-a-M) - \Phi(x-c-M)] + \frac{\gamma_2(d-x+M)}{d-b} \cdot [\Phi(x-d-M) - \Phi(x-b-M)] + \\ + \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{\gamma_1}{c-a} \cdot \left(e^{-\frac{(x-c-M)^2}{2\sigma^2}} - e^{-\frac{(x-a-M)^2}{2\sigma^2}} \right) + \frac{\gamma_2}{d-b} \cdot \left(e^{-\frac{(x-b-M)^2}{2\sigma^2}} - e^{-\frac{(x-d-M)^2}{2\sigma^2}} \right) \right] \quad (4)$$

Свертка трапецеидального и нормального законов:

$$W_{n^*mp} = \frac{\gamma_1(x-c-M)}{a-c} \cdot [\Phi(x-a-M) - \Phi(x-c-M)] + \frac{\gamma_2(b-x+M)}{b-d} \cdot [\Phi(x-d-M) - \Phi(x-b-M)] + \\ + \left(\gamma_1 + \frac{(\gamma_2 - \gamma_1)(c-x+M)}{c-d} \right) \cdot [\Phi(x-c-M) - \Phi(x-d-M)] + \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{\gamma_1}{a-c} \cdot \left(e^{-\frac{(x-c-M)^2}{2\sigma^2}} - e^{-\frac{(x-a-M)^2}{2\sigma^2}} \right) + \right. \\ \left. + \frac{\gamma_2}{b-d} \cdot \left(e^{-\frac{(x-b-M)^2}{2\sigma^2}} - e^{-\frac{(x-d-M)^2}{2\sigma^2}} \right) + \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{c-d} \cdot \left(e^{-\frac{(x-d-M)^2}{2\sigma^2}} - e^{-\frac{(x-c-M)^2}{2\sigma^2}} \right) \right] \quad (5)$$

Свертка Релеевского и равномерного законов

$$W_{равн}(t) \otimes W_{релей}(t) = \frac{1}{2(a-b)} \left(e^{-\frac{(t-b)^2}{\sigma^2}} - e^{-\frac{(t-a)^2}{\sigma^2}} \right) \quad (6)$$

Свертка закона Релея и модифицированного закона Симпсона

$$W_{симпс}(t) \otimes W_{релей}(t) = \frac{\gamma}{2(b-m)} (t-m) e^{-\frac{(t-m)^2}{\sigma^2}} + \frac{\gamma}{2(b-m)} (b-t) e^{-\frac{(t-b)^2}{\sigma^2}} + \frac{\gamma\sigma\sqrt{\pi}}{2} \left(\frac{\Phi(b)}{b-m} - \frac{\Phi(a)}{m-a} + \left(\frac{1}{m-a} - \frac{1}{b-m} \right) \Phi(m) \right) \quad (7)$$

Свертка закона Релея и антимодального-1 закона

$$W_{ан-1}(t) \otimes W_{релея}(t) = \frac{\gamma_1}{2}(m-t)e^{-\frac{(t-m)^2}{\sigma^2}} + \frac{\gamma_1}{2(m-a)}(2t-m-a)e^{-\frac{(t+a)^2}{\sigma^2}} + \frac{\gamma_1}{2(2b-m)}(2t-m-b)e^{-\frac{(t-b)^2}{\sigma^2}} + \frac{\sigma\sqrt{\pi}}{2} \left(\frac{\gamma_2\Phi(b)}{b-m} - \frac{\gamma_1\Phi(a)}{m-a} + \left(\frac{\gamma_1}{m-a} - \frac{\gamma_2}{b-m} \right) \Phi(m) \right) \quad (8)$$

Свертка закона Релея и антимодального-2 закона

$$W_{ан-2}(t) \otimes W_{релея}(t) = \frac{\gamma_1}{c-a}(c-t)e^{-\frac{(t-c)^2}{\sigma^2}} + \frac{\gamma_1}{2(c-a)}(2t-c-a)e^{-\frac{(t-a)^2}{\sigma^2}} + \frac{\gamma_2}{2(b-d)}(2t-d-b)e^{-\frac{(t-b)^2}{\sigma^2}} - \frac{\gamma_2}{(b-d)}(d-t)e^{-\frac{(t-b)^2}{\sigma^2}} + \frac{\sigma\sqrt{\pi}}{2} \left(\frac{\gamma_1[\Phi(c)-\Phi(a)]}{c-a} + \frac{\gamma_2[\Phi(b)-\Phi(d)]}{b-d} \right) \quad (9)$$

Свертка закона Релея и трапецеидального закона

$$W_{трап}(t) \otimes W_{релея}(t) = \left[-\frac{\gamma_1}{c-a}(c+a) - \frac{\gamma_2-\gamma_1}{d-c}(t+c) \right] e^{-\frac{(t-c)^2}{\sigma^2}} + \frac{\gamma_2}{2} \left[\frac{d+b-2t}{b-d} + 1 \right] e^{-\frac{(t-b)^2}{\sigma^2}} - \frac{\gamma_1}{2} e^{-\frac{(t+c-2m)^2}{\sigma^2}} + \frac{\gamma_1\sigma\sqrt{\pi}}{2(c-a)}[\Phi(c)-\Phi(a)] + \frac{(\gamma_2-\gamma_1)\sigma\sqrt{\pi}}{2(b-c)}[\Phi(d)-\Phi(c)] + \frac{\gamma_2\sigma\sqrt{\pi}}{2(b-d)}[\Phi(b)-\Phi(d)] \quad (10)$$

Используя средства MATHCAD, получены графические результаты сверток (1) - (10), а для случая равномерного и нормального законов представлен на рисунке 1, на котором в отношении θ/Δ меняем Δ при $\theta = \text{const}$, а при изменении отношения θ/σ мы меняем только σ .

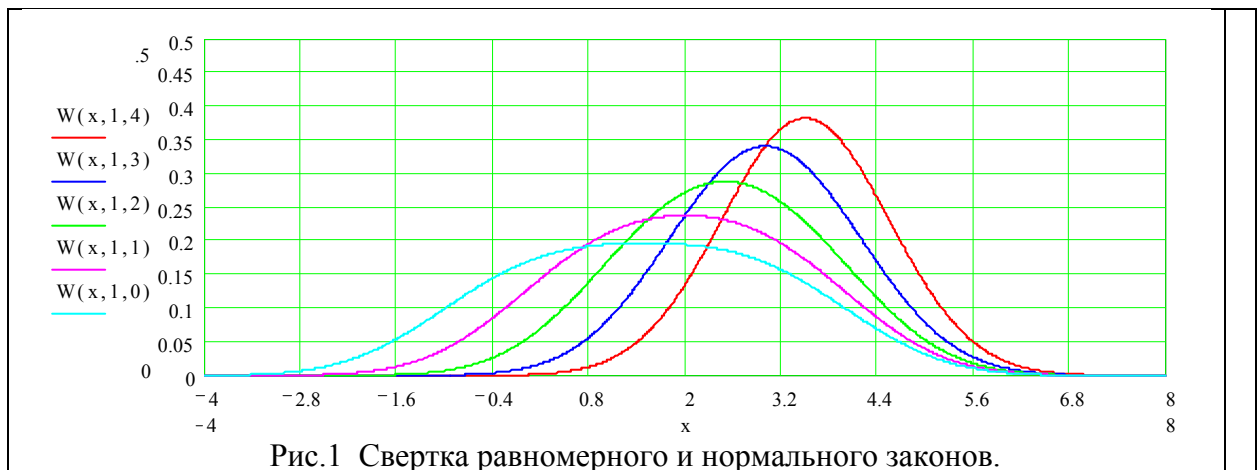


Рис.1 Свертка равномерного и нормального законов.

Формулы для определения априорных вероятностей результата работы измерительного канала автоматизированной системы даны в [2,3]. Статистический критерий синтеза измерительного канала в общем виде представлены в [3, с.49-50]. Фрагмент результата расчёта совместной плотности распределения (Априорная вероятность принятия решений для статистических критериев $P_{гг}$, $P_{нн}$, P_1 , P_2) приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Θ/Δ	P	$\Theta/\sigma = 1$	$\Theta/\sigma = 1,5$	$\Theta/\sigma = 2$	$\Theta/\sigma = 2,5$	$\Theta/\sigma = 3$
2	$P_{гг}$	0,6099903	0,7973796	0,9024250	0,9549254	0,9793682
	$P_{нн}$	0,2666776	0,1002356	0,0308590	0,0077945	0,0016044
	P_1	0,0506320	0,0333780	0,0146440	0,0046255	0,0010011
	P_2	0,07030601	0,0690064	0,0520750	0,0326546	0,0179318
2,5	$P_{гг}$	0,6249607	0,8146529	0,9177361	0,9664888	0,9670709
	$P_{нн}$	0,2752755	0,1048728	0,0324123	0,0081551	0,0016673
	P_1	0,0420340	0,0287410	0,0130877	0,0042649	0,0010320
	P_2	0,05473715	0,05173302	0,0367639	0,02109122	0,0102290
3	$P_{гг}$	0,6343361	0,8261759	0,9267525	0,972410	0,9905409
	$P_{нн}$	0,2820527	0,1084399	0,0336996	0,0081551	0,0017262
	P_1	0,0352573	0,0251740	0,0118003	0,0042649	0,0009738
	P_2	0,0447634	0,0412101	0,00277475	0,02109122	0,0067590
3,5	$P_{гг}$	0,6400930	0,8324579	0,93187600	0,9758793	0,9923968
	$P_{нн}$	0,2860145	0,1112517	0,03480874	0,0087785	0,0017792
	P_1	0,0312950	0,0223620	0,01069126	0,00364146	0,0009275
	P_2	0,0375981	0,03411933	0,02262393	0,01170069	0,0049032
4	$P_{гг}$	0,6451457	0,8372328	0,9356171	0,9781282	0,9935113
	$P_{нн}$	0,2895726	0,1135146	0,0356748	0,0090141	0,0018289
	P_1	0,0277370	0,0141030	0,0098252	0,0034059	0,0008711
	P_2	0,03275692	0,0291532	0,0188799	0,00944103	0,0037887
4,5	$P_{гг}$	0,6492722	0,8409284	0,9383053	0,9796784	0,9942520
	$P_{нн}$	0,2923484	0,1167322	0,0366434	0,0093578	0,0018790
	P_1	0,0249620	0,0168820	0,0085664	0,0030629	0,0008212
	P_2	0,0280635	0,0254576	0,01619462	0,00790162	0,0030479

По данным таблицы определяем искомые характеристики измерительных каналов систем и средств автоматизации (Θ/Δ).

Список литературы

1. Акимов В. И. Основы метрологии и радиоизмерения: Учебное пособие. – Воронеж. ВГТУ, 1992 г. – 130 с.
2. Акимов В.И. Решение метрологических задач методом статистического моделирования: Учебное пособие. - Воронеж. ВГТУ, 1996 г. -117 с.
3. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология. Учебное пособие для вузов.- М.:Логос, 2001 - 408 с.

УДК 621.372

Акимов Валерий Иванович¹,

Канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры,

Полуказов Алексей Викторович²,

Канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры,

Попов Алексей Сергеевич³,

Магистрант

СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО АЦП ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ "УМНЫХ" ДАТЧИКОВ СИСТЕМ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Г. Воронеж, Воронежский архитектурно-строительный университет (Воронежский ГАСУ), кафедра Автоматизации технологических процессов и производств, ¹VAKImov@vgasu.vrn.ru, ²u00280@vgasu.vrn.ru, ³linrag@mail.ru

Аннотация: Предложен синтез адаптивного АЦП, обеспечивающий максимальное отношение с/п на выходе квантователя АЦП. Получены результаты для 1,2,3 разрядного АЦП при релейском законе ПРВ сигнала и помехи. Решение этой задачи актуально для инновационного проектирования систем и средств автоматизации.

Ключевые слова: синтез, квантователь, разряд, дисперсия.

UDK 621.372

Valery I. Akimov¹,

PhD. tech. Sciences, associate Professor, Professor of Department,

Alexey V. Polukazakov²,

PhD. tech. Sciences, associate Professor, associate Professor of Department,

Aleksey S. Popov³,

Student in the master's program

SYNTHESIS OF ADAPTIVE ADC TO DESIGN "SMART" SENSOR SYSTEMS AND AUTOMATION

Voronezh, Voronezh University of architecture and construction (Voronezh GUS), Department of Automation of technological processes and manufactures of the Voronezh State University of Architect and Civil engineering,

¹VAKImov@vgasu.vrn.ru, ²u00280@vgasu.vrn.ru, ³linrag@mail.ru

Abstract. The synthesis of the adaptive ADC, which provides the maximum ratio of c / n at the output of the ADC quantizer. The results obtained for

1,2,3 bit ADC at Rayleigh law PRV signal and noise. The solution to this problem is important for the design of innovative systems and automation.

Keywords: synthesis, quantizer, discharge dispersion

Широкое применение методов цифровой обработки сигналов в области широких частот в настоящее время сдерживается в первую очередь отсутствием эффективных АЦП, сочетающих в себе высокое быстродействие, требуемую точность преобразования при малом числе разрядов. Традиционный подход к выбору требуемой разрядности основан на линейной модели преобразователя (справедливой лишь для много разрядных АЦП) и определяется выражением, известным в литературе как «шесть децибел на разряд» [1, 5, 6]

$$\sigma^2_{\text{шк}} = \sum_{i=1}^N \frac{\Delta_i^2}{12}, \quad (1)$$

где $\Delta_i = \eta_{i+1} - \eta_i$, шаг квантования, N - число уровней квантования, $N = 2^R$, R - разрядность АЦП. При переходе от модели «идеального АЦП» к реальному требуется учесть априорную информацию о сигнале и помехе. Так при амплитудном квантовании сигнала с гауссовым (нормальным) распределением амплитуды ошибка оптимального (по энергетическому критерию) квантования определяется выражением [3]

$$\sigma^2_{\text{шк}} = \frac{\pi\sqrt{3}Q(N)}{2N^2}, \quad (2)$$

где $Q(N)$, коэффициент, зависящий от числа уровней квантования N , так как для $N=4$ $Q=0,71$; для $N=8$ $Q=0,81$; для $N=16$ $Q=0,86$; для $N=32$ $Q=0,93$. При $N \rightarrow \infty$ $Q \rightarrow 1$. Таким образом, выбор критерия синтеза параметра АЦП (уровней h и порогов v) зависит от вида априорной информации о сигнале и помехе, а также от вида системы цифровой обработки, для которой проектируется преобразователь. Так для цифровой системы СДЦ выбор разрядности основан на оценке шума квантования с учётом отклонения порогов и уровней от их оптимальных значений для наихудшего случая смещения характеристики на $V = \Delta/2$ определяется выражением (3). Отметим, что выбор разрядности, оптимальных значений порогов и уровней квантователя проводится численными методами одновременно с достижением приемлемого уровня дисперсии шума квантования на основе выбранного критерия. [2]

$$\sigma^2_{\text{шк}} = \frac{\Delta^2}{12} + \frac{1}{2^{N-1}} \sum_{i=1}^{2^N-1} V^2, \quad (3)$$

где Δ - шаг квантования, принятый при изменении отклонений пороговых уровней. Как показали расчеты, для достижения такого же значения дисперсии шума квантования реального АЦП по сравнению с идеальным требуется увеличить его разрядность на один разряд [3]. В общем случае

для оценки дисперсии шума квантования применяют известное выражение [1, 8]:

$$\sigma^2_{шк} = \sum_{k=1}^N \int_{h_{k-1}}^{h_k} (x - \eta_k)^2 w(x) dx, \quad (4)$$

где $w(x)$ - плотность распределения вероятности (ПРВ) квантуемого сигнала $x(t)$.

Информационный критерий применяется в том случае, если требуется обеспечить равную вероятность попадания отсчетов сигнала на любой интервал квантования для априорно заданной функции ПРВ $w(x)$. Аналитическое решение задачи синтеза в соответствии с критерием (5) подробно изложено в [4] и оно возможно лишь при условии существования аналитически описываемой обратной функции распределения $F(x)$. Информационный критерий (5) используется в АЦП, применяемых в системах связи, поскольку он обеспечивает минимальные потери передаваемой информации.

$$P(h_{k-1} < x_k \leq h_k) = \int_{h_{k-1}}^{h_k} w(x) dx = F(\eta_k) - F(\eta_{k-1}) = \frac{1}{N}, \quad (5)$$

Энергетический критерий обеспечивает минимум дисперсии шума квантования путем численных оптимизированных значений порогов и уровней функционала (4). Такие АЦП принято называть оптимальными и их полный синтез для 2, 3, 4 и 5 разрядных преобразователей сигнала с нормальной плотностью распределения амплитуды которых описывается m - распределением Накагами решена в [5].

Оценка дисперсии шума квантования для информационного критерия может быть получена с помощью простого выражения [1]:

$$\sigma^2_{шк}(N) = \frac{1}{N^2 - 1}, \quad (6)$$

Рассмотрим задачу синтеза АЦП при совместном воздействии на входе квантователя аддитивной смеси сигнала и помехи. Эта задача может быть решена аналогично рассмотренной ранее с использованием информационного либо энергетического критериев на основании минимизации функционала (4). В этом случае необходимо подставить под знак интеграла функцию ПРВ, описываемую аддитивную смесь сигнала и помехи [7].

Выражение (7) может быть использовано в качестве критерия, позволяющего разработать АЦП, квантователь которого максимизирует выходное отношение аддитивной смеси $a = c/p_{\text{вых}}$ за счет выбора оптимальных значений порогов (v_i) и уровней (h_k)-уровневых квантователей.

$$\frac{\delta^2_c}{\delta^2_n} = \max_{\eta_i h_i} \left\{ \frac{\left[\sum_{i=1}^N \int_{h_i}^{h_i+1} w(S) dS \right]^{-1} \left(\int_{h_i}^{h_i+1} S w(S) dS \right)^2}{\left[\sum_{i=1}^N \int_{h_i}^{h_i+1} w(n) dn \right]^{-1} \left(\int_{h_i}^{h_i+1} n w(n) dn \right)^2} \right\}, \quad (7)$$

В качестве сигнала далее примем релеевские случайные величины с параметром распределения $m = 0.5$, а в качестве помехи релеевские случайные величины с параметром распределения $m = 2$.

Примем за λ_i - сигнал на входе АЦП, а за x_i - отсчеты сигнала на выходе квантователя. Получение оптимальных значений порогов и уровней подробно описано в [8] и возможно по формулам:

$$h(k) = \frac{1}{P_{pr}(x(k))} \int_{v(k-1)}^{v(k)} \lambda w(\lambda) d\lambda, \quad (8)$$

где

$$v(k) = \frac{1}{2} (h(k) + h(k+1)), \quad (9)$$

В данных формулах $P_{pr}(x(k))$ - априорная вероятность сигнала $x(k)$. Этот сигнал передается, если $h(k-1) < \lambda < h(k)$. Поэтому априорная вероятность сигнала $x(k)$:

$$P_{pr}(x(k)) = \int_{v(k-1)}^{v(k)} w(\lambda) d\lambda, \quad (10)$$

где $p(\lambda)$ - плотность вероятности сообщения.

Основываясь на методике изложенной в [8] получены оптимальные пороги и уровни 3-х разрядного АТП для релеевского сигнала с дисперсией $\delta^2 = 0.107$ на который действует аддитивно помеха с дисперсией $\delta^2 = 1.717$.

В таблице содержатся полученные оптимальные значения порогов и уровней. На рис. 1 показана характеристика АЦП

Оптимальные значения порогов и уровней.

№	1	2	3	4	5	6	7	8
h	0.226210	0.345887	0.765864	1.214886	1.647264	2.017717	2.281317	2.380769
V	0.154701	0.297720	0.691775	1.137673	1.589820	2.002428	2.251317	2.350769

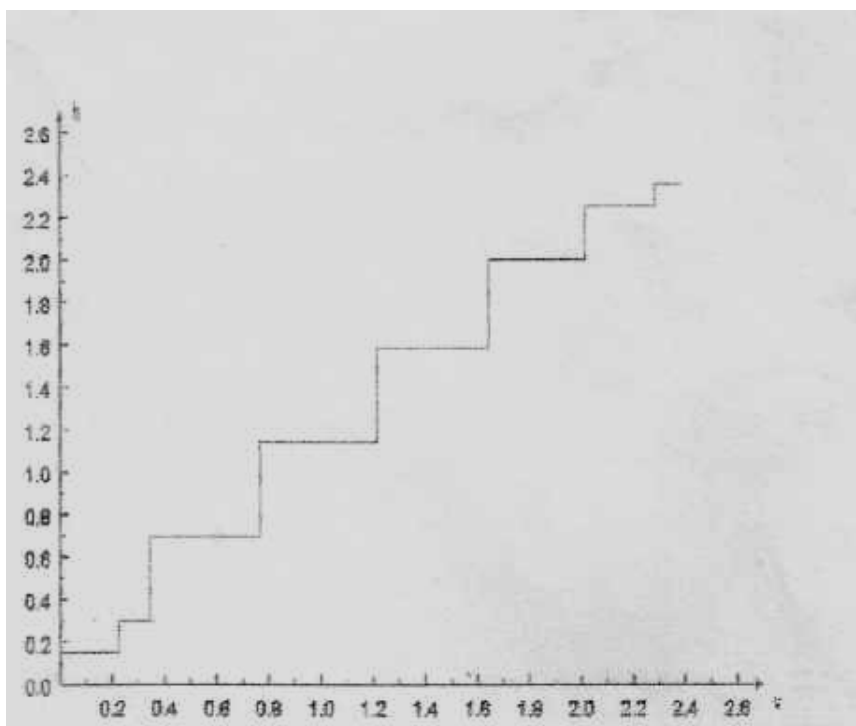


Рис. 1. Характеристика АЦП.

Рассчитанное программой отношение сигнал/помеха на выходе при заданном отношении сигнал/помеха на входе АЦП 10, равно 14.031611.

Список литературы

1. Величкин А.И. Теория дискретной передачи непрерывных сообщений.- М.: Сов. Радио, 1979.- 296 с.
2. Лысов В.Н. Влияние погрешности АЦП на эффективность цифрового устройства СДЦ.// Вопросы радиоэлектроники, сер. ОВР,-1985,- Вып 4, с 78-80.
3. Немеровский А.С., Немировский М.С. Асимптотическое поведение ошибки оптимального квантования гауссовой случайной величины/ Радиотехника и электроника.-1976.-21.-№10,- С. 2141-2154
4. Акимов В.И., Крутаков С.В. Синтез АЦП для цифровых систем связи и радиолокации на основе информационного критерия.// Методы и устройства передачи информации по каналам связи. Воронеж: ВПИ, 1987.- С. 53-56
5. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника.- М.: Радио и связь 1982.- 624с.
6. Теория обнаружения сигналов/П.С. Акимов, П.А. Бакут, В.А.Богданович и др.: Под ред. П.А. Бакута. М: Радио и связь. 1984- 440с.
7. Акимов В.И. Синтез устройств обработки и преобразования информации в радиолокации и связи на основе алгоритма Уидроу-Хоффа//Методы и устройства цифровой и аналоговой обработки информации. Воронеж:ВПИ,1987 - С. 53-56.
8. Величкин А.И. Методы передачи данных по цифровым каналам связи/Радио и Связь. 1968г.

Арефьев Игорь Борисович¹

Д-р техн. наук, профессор

Коровяковский Евгений Константинович²

Канд. техн. наук, доцент

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ТИПА «ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ» МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ

¹Akademia Morska, Szczecin, Poland

i.arefyev@am.szczecin.pl

²Петербургский государственный университет путей сообщения Импера-
тора Александра 1

ekorsky@mail.ru

Аннотация. Предложена методика классификации показателей качества изготовления изделий типа «тела вращения» с использованием метода главных компонент и кластерного анализа. Методика позволяет понизить размерность признакового пространства и разделить исследуемую совокупность объектов на однотипные группы

Ключевые слова: тела вращения, главная компонента, кластерный анализ

Igor B. Arefyev¹

Doctor of Technchnical Sciences, Professor

Evgeniy K. Koroviyakovski²

Ph. D in Technical Sciences, Associate Professor

CLASSIFICATION OF PRODUCTS MANUFACTURE OF QUALITY INDICATORS SUCH AS "BODY ROTATIONS" WITH THE USE OF PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS

¹Akademia Morska, Szczecin, Poland

i.arefyev@am.szczecin.pl

²Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university

ekorsky@mail.ru

Abstrakt. The method of classification of products manufacture of quality indicators such as " body rotations " with the use of principal component

analysis and cluster analysis . The technique allows to reduce the dimension of feature space and divide the studied set of objects of the same type groups

Keywords: *body of rotations , the main component , cluster analysis*

Практически во всех механических устройствах содержатся тела вращения различной сложности и назначения. Они могут быть элементарными валами или стержнями или достаточно сложными по конструкции и изготовлению элементами, выполненными из различных материалов. Однако, их объединяет собственное функциональное назначение: обеспечение и передача движения от энергетической установки к исполнительным элементам (вращение, линейное перемещение, поступательно-возвратное колебание исполнительного механизма и т.п.). Для выполнения указанных целей, тело вращения может быть как конструктивно элементарным (вал), так и сложной многомерной конструкцией (Рис. 1а,б).

Современные автоматизированные системы изготовления и обработки тел вращения (САПР-ТВ) требуют качественного и эффективного обеспечения программно-математического обеспечения проектирования и изготовления этих важнейших элементов механических устройств. Однако

многообразие целевых свойств объектов этого типа порождает многовариантность технологических решений их изготовления. Поэтому возникает необходимость в свертывании (сжатии) как проектной, так и технологической информации, что приводит к образованию групп характеристических показателей для них по конечному множеству признаков [2].

Вместе с тем, учёт всего множества показателей качества тела вращения не замыкается исключительно на точности его размеров и характеристик уровня дополнительных элементов данного изделия [1,3]. С ростом числа параметров, включённых в модель САПР, усиливаются влияния фактора неопределенности на выбор способов и средств достижения поставленных проектных целей. При этом требуется применение современных математизированных формальных процедур. К ним относятся методы обработки информации с учетом обратной связи изменения показателя “эффективность – стоимость” [4].

Для изделий типа «тела вращения» характерно то, что они обладают множеством свойств, распределённых на уровнях, число которых зависит от числа дополнительных элементов на их поверхности или внутри самого тела вращения [1,5]. В свою очередь, эти дополнительные элементы так же

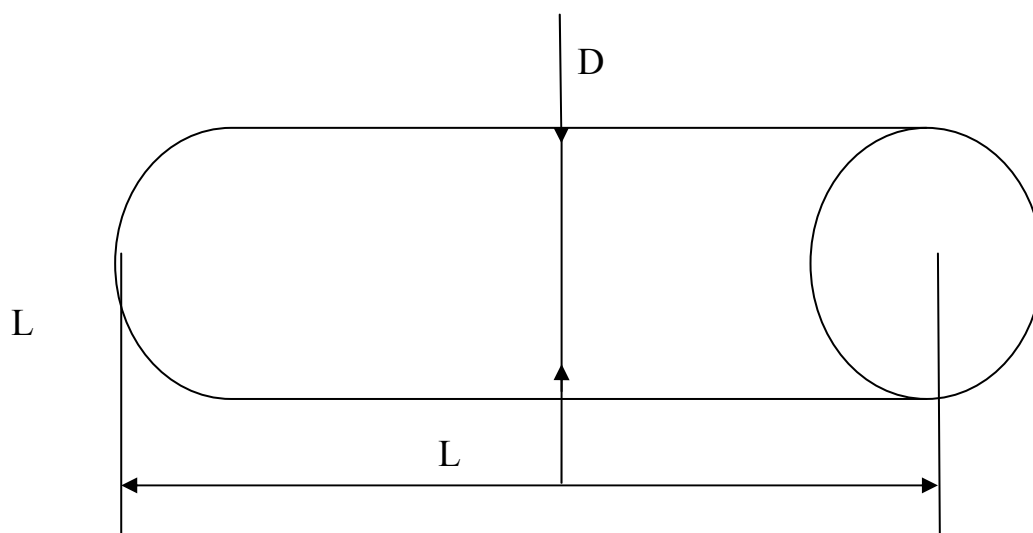


Рис. 1.а. Вал – заготовка

D – диаметр вала, L – длина вала

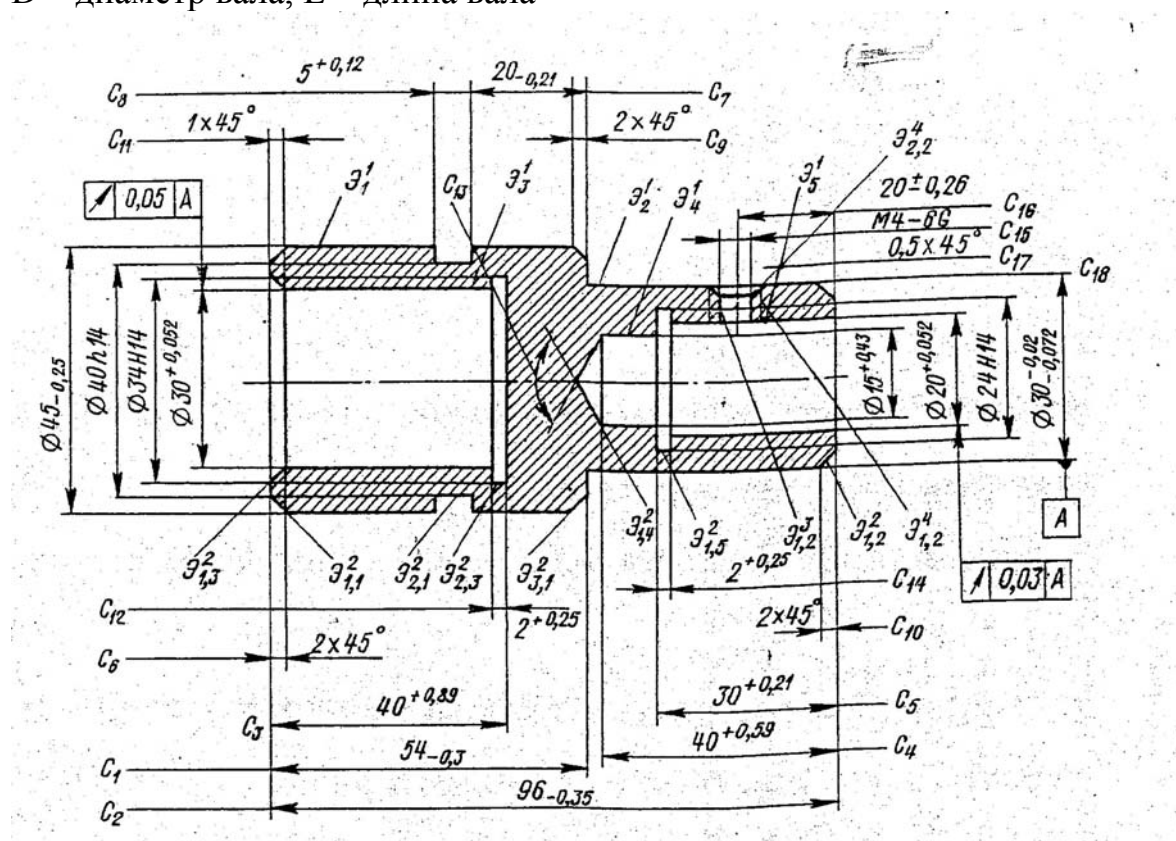


Рис. 1.б. Стойка поворотного блока

имеют собственные характеристики, аналогичные базовому элементу. На пример: чистота обработки, допуски, отклонения по оси и т.д.

В практике обычно используют варианты группировки изделий на основе экспертных оценок. При этом решаются только частные задачи

качества выпускаемого изделия. Системно же задачу можно решить с помощью Метода главных компонент (МГК) и кластерного анализа [6].

Формирование алфавита классов качественных показателей такой группы изделий сводится к задаче классификации объектов каждой группы с точки зрения условий их функционирования. Предложенная методика классификации показателей с использованием метода главных компонент и кластерного анализа позволяет понизить размерность признакового пространства и разделить исследуемую совокупность объектов на однотипные группы [3].

Задача формирования алфавита классов показателей может быть сформулирована следующим образом. Задано множество типовых объектов (тел вращения), характеризующихся некоторым набором показателей качества [5]. Значение каждого типового показателя количественно оценено известными методами. Требуется объединить показатели, близкие по выбранным признакам в классы с целью последующего описания этих классов признаками, которые будут использоваться для анализа эффективности качества изготовления изделия. Результаты этого анализа позволяют сформировать некоррелированные факторы, определяющие вклад каждой оценки в общее различие качества изделий с точки зрения принимаемых решений в САПР [4]. Далее полученные оценки факторов используются как основание для классификации показателей методом кластерного анализа. В результате кластерного анализа получаются классы показателей, близкие по свойствам, то есть формируется алфавит классов.

Однако, при большом числе признаков, общая характеристика выявленных связей становится труднообозримой. Возникает необходимость в сжатии информации, то есть описание объектов меньшим числом обобщенных показателей, например, факторами или главными компонентами. Тогда типовые тела вращения описываются при помощи конечного ряда признаков. Основными из них являются чистота обработки поверхностей, допуски по размерам, допуски по отклонению от осей, долговечность детали, вид и качество материала, износоустойчивость.

Необходимо получить описание изучаемого процесса с числом главных компонент m , значительно меньшим, чем число первоначально взятых признаков n . Главные компоненты адекватно отражают исходную информацию в более компактной форме [1,6]:

Для упрощения выкладок рассмотрим трехмерный случай. При измерении трех нормально распределенных параметров X , Y и Z - чистоты обработки, допусков по размерам и износоустойчивости соответственно. Они определенным образом коррелированы между собой. Предположим n наблюдений (n точек), которые разместятся в трехмерном пространстве с тремя осями X , Y и Z в виде облака вокруг общего центра тя-

жести. Это облако, в общем случае, имеет форму эллипсоида. В частном случае, когда во всех трех направлениях дисперсия одинакова по величине, эллипсоид вырождается в шар. Известно, что эллипсоид имеет три главные оси, которые пересекаются в центре тяжести. Самый длинный диаметр овального тела является первой главной осью λ_1 . Второй главной осью λ_2 является самый длинный диаметр в плоскости, ортогональной к первой главной оси и проходящей через центр тяжести. Третья главная ось λ_3 в трехмерном эллипсоиде перпендикулярна первой и второй главным осям и также проходит через центр. Основная идея метода главных компонент состоит в переходе к новой системе координат, которая совпадает с главными осями эллипсоида, и оценке важности каждой из них по информативности. В дальнейшем компоненты с малой информативной нагрузкой учёту не подлежат.

Полученные новые переменные совпадают с главными осями эллипсоида. Теперь они являются линейными комбинациями старых переменных X , Y и Z . Не трудно видеть, что если выбрать первую главную компоненту λ_1 , то для i -го наблюдения справедливо выражение

$$\lambda_{1i} = \alpha_1 X_i + \beta_1 Y_i + \gamma_1 Z_i, \quad (1)$$

где X_i , Y_i , Z_i – предыдущие координаты i -той точки на старые оси X , Y и Z . Заметим, что возможны случаи, когда эллипсоид после модификации координат оказывается не пропорционально вытянут по одной или нескольким осям и сжат по другим. Тогда можно исключить из рассмотрения ту ось, которая оказалась наименее информативной:

при $\lambda_1 > \lambda_2 \gg \lambda_3$ главными компонентами останутся λ_1 и λ_2 . В итоге получим не эллипсоид, а его проекцию на плоскость $\lambda_1 - \lambda_2$ в виде обычного эллипса. Важно отметить, что главные компоненты не коррелированы между собой (ортогональны), т.е. $r_{12}=0$, где r_{ij} – коэффициент корреляции

Очевидно, что размерности главных компонент выражения (1) не совпадают, они вообще различны по физическому смыслу. Их идентичность и возможность совместных математических процедур над наблюдением за конечным множеством выбранных показателей находится через стандартизацию, согласно принципу (2).

$$\tilde{X} = \frac{X_i - \bar{X}}{S_X}; \quad \tilde{Y} = \frac{Y_i - \bar{Y}}{S_Y}; \quad \tilde{Z} = \frac{Z_i - \bar{Z}}{S_Z} \quad (2)$$

Полученные стандартизованные переменные (2) являются безразмерными. Следовательно, их можно складывать между собой. Набор коэффициентов корреляции r_{xy} , r_{xz} , r_{yz} определит форму эллипсоида.

Остаётся найти коэффициенты трансформации главных компонент

α, β, γ , введённых в выражение (1). Воспользуемся методом собственных значений и собственных векторов. Задача состоит в том, чтобы найти собственные числа корреляционной матрицы, решив характеристическое уравнение (3):

$$\begin{vmatrix} 1-\lambda & r_{xy} & r_{xz} \\ r_{yz} & 1-\lambda & r_{yz} \\ r_{xz} & r_{zy} & 1-\lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (3)$$

или в другом варианте записи

$$\lambda^3 - I\lambda^2 + J\lambda - D = 0 \quad (4)$$

Здесь I, J и D - инварианты относительно параллельного переноса и поворота осей X, Y и Z . Найденное уравнение третьей степени имеет три корня для I, J и D :

$$I = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3; J = \lambda_1 \lambda_2 + \lambda_2 \lambda_3 + \lambda_3 \lambda_1; D = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3.$$

Для нахождения корней уравнения третьей степени находим коэффициенты I, J, D с использованием корреляционной матрицы.

Практический интерес представляет только случай, когда все три корня $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ положительны. Именно в этом случае квадратичная форма от трех аргументов положительно определена и описывает эллипсоид. Когда же хотя бы один из трех корней является отрицательным числом, мы приходим к гиперболической квадратичной форме. Не трудно видеть, что каждому из трех собственных значений λ_i соответствует свой собственный вектор, определяемый выражением, аналогичным (1).

Традиционно за собственные вектора принимают ортонормированные векторы, для которых справедливы равенства:

$$\alpha_i \alpha_\varphi + \beta_i \beta_\varphi + \gamma_i \gamma_\varphi = 0, i \neq \varphi \quad (5)$$

$$\alpha_i \alpha_\varphi + \beta_i \beta_\varphi + \gamma_i \gamma_\varphi = 1, i = \varphi. \quad (6)$$

Условие нормировки (6) можно записать иначе:

$$\alpha_i^2 + \beta_i^2 + \gamma_i^2 = 1. \quad (7)$$

Если попытаться дать оценку каждой из главных компонент, то надо учитывать, что она связана с величиной отдельных корней уравнения (4). Следовательно, основная проверяемая гипотеза формулируется как гипотеза проверки различия отдельных корней между собой.

Иллюстрацией к предложенному подходу в сжатии информационного поля по оценке качества изделия типа «тела вращения» может служить пример определения информативности главных компонент, приведённый ниже.

Допустим, что получены статистические данные на результат анализа группы однородных изделий типа «тела вращения». Необходимо дать заключение по их качеству и перспективам прогнозирования системы САПР и производственно-технического комплекса изготовления аналогичных деталей в дальнейшем. Статистика набиралась по восьми показателям X_i ($i = 1,8$). Исходная информация для компонентного анализа проведена в Таблице 1. В Таблицу 2 сведены вычисленные значения распределения информативности на собственные значения главных компонент.

Таблица 1.

Данные измерений

N	Изделие	Показатель							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Код изделия	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
	WSa – 14/3	0,38	0,01	0,03	0,0075	0,37	0,14	0,07	0,04
	Стойка КС 2(12)	0,27	0,005	0,08	0,01	0,05	0,07	0,515	0,09
	FGV 02-11	0,43	0,06	0,09	0,005	0,07	0,16	0,185	0,2525
	Втулка муфты	0,54	0,15	0,02	0,0075	0,05	0,04	0,2	0,55

Таблица 2.

Информативность собственных значений Главных компонент

N	Главная компонента (λ)	Информативность главной компоненты (%)
1	2	3
1	1	44,91
2	2	28,37
3	3	11,21
4	4	7,99
5	5	4,55
6	6	2,32
7	7	0,63
8	8	0,02
Σ		100

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что две первые компоненты обладают информативностью, составляющей 73% от всех возможных вариантов. Остальные компоненты малозначащие и могут в дальнейшем не учитываться.

Заключение

Данная методика разработана для классификации показателей качества изготовления изделий типа «тела вращения». Однако она подходит и для технологий любого назначения, когда в интересах сокращения ис-

ходного информационного поля необходимо понизить размерность признакового пространства и разделить исследуемую совокупность объектов на однотипные группы. В частности, опыт показал, что указанный подход вполне применим в системах управления логистическими объектами, в Автоматизированных Системах Управления транспортными процессами, САПР.

Список литературы

1. Арефьев И.Б. Логико – рефлексивное моделирование технологии изготовления промышленных деталей. «Hybrid and synergies inteligent systems theory and practice». Калининград, Из-во БФУ им. М. Канта. 2012. с. 189-197
2. Арефьев И.Б., Трояновский Я. Автоматизация судопропуска на внутренних водных путях: Монография. - СПб: «Система», 2007. – 246 с.
3. Метрологическое обеспечение и контроль качества материалов и изделий: монография [Текст] / Н.Г.Никуличева [и др].; под общей редакцией д.т.н., проф. В.Т. Прохорова. – Шахты: Изд-во ГОУ ВПО «ЮРГУЭС» – 164 с.
4. Стариков А. В., Харин В. Н. Управление сложными проектами в интегрированных САПР: Монография. - Воронеж: Воронеж. гос. университет, 2002. – 135 с.
5. Ярошевич, В.К. Коленчатые валы автомобильных двигателей / В.К. Ярошевич, М.А. Белоцерковский и Е.Л. Савич ; кол. авт. Белорусский национальный технический университет. - Мн. : БНТУ, 2004. - 176 с.
6. Johnson G., Scholes K. Exploring corporate strategy. Prentice Hall. 1993. 163 p.

УДК 551.46.077:629.584

Саруханян Ара Искосович,
аспирант
Сараджишвили Сергей Эрикович,
Канд. техн. наук, доцент

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ГРУППИРОВКОЙ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ.

Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский Политехнический университет
Пера Великого, ara2447@gmail.com, ssaradg@yandex.ru

Аннотация. В данной статье будут рассмотрены перспективы использования нейронных сетей для решения множества задач управления группировкой автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА), выполняющих различные задачи в известных, частично-известных и не-

известных областей подводного пространства. Будут рассмотрены подходы для выполнения задач группировкой в условиях отсутствия заранее заданных алгоритмов поведения как группы АНПА, так и отдельных ее членов. Для распределения задач между АНПА будут рассмотрены методы взаимодействия между членами группы, и варианты выбора наилучшего кандидата под решения каждой отдельной задачи.

Ключевые слова: АНПА, группа АНПА, Нейронные сети, взаимодействие группировки АНПА, решение подводных задач.

Ara I. Sarukhanyan ,
Post-graduate student
Sergey E. Sarajishvili ,
PhD, Associate Professor

PROSPECTS OF USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AT MANAGEMENT OF INDEPENDENT UNINHABITED SUBMERSI- BLES OF GROUP

Saint Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
ara2447@gmail.com, ssaradg@yandex.ru

Abstract. In this article prospects of use of neural networks for the solution of a set of tasks by group of the independent uninhabited submersibles (IUS) which are carrying out various tasks in known partial and known and unknown areas of underwater space will be considered. Approaches for performance of tasks by group in the conditions of absence of in advance set algorithms of behavior both ANPA group, and her certain members will be considered. For distribution of tasks between ANPA methods of interaction between members of group, and options of the choice of the best candidate under solutions of each separate task will be considered.

Keywords: AUV, group of AUG, neural networks, interaction group of AUG, solution of underwater tasks.

Введение

За последние десятки лет во многих странах, занимающих лидирующие положения в области морских технологий, создано более 10 тысяч необитаемых подводных аппаратов, для решения различного рода задач. За это время данные аппараты продемонстрировали свою эффективность при выполнении многих видах работ. Например, обзорно-поисковые работы, геологоразведочные работы, обеспечение подледных работ, мониторинг водной среды, патрулирование, поиск и уничтожение мин. За это время было предложено не мало решений в области построения и управления группой АНПА. Однако все рассчитаны на ограничен-

ный набор задач и решений алгоритм которых заранее известен и доступен. В данной статье предложен вариант построения и управления группой АНПА с использованием нейронных сетей, что позволит изменять алгоритм поведения группы, ее построение и выбор наилучшего решения для выполнения задачи, при изменяющихся входных параметрах системы.

Использование нейронных сетей при программировании АНПА

Искусственная нейронная сеть (ИНС) — математическая модель, а также её программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей — сетей нервных клеток живого организма.

Искусственный нейрон является более упрощенным видом биологического нейрона, имитируя его свойства в первом приближении. На вход искусственного нейрона поступает некоторое множество сигналов, каждый с которых является выходом другого нейрона. Каждый вход умножится на соответствующий вес, аналогичный синаптической силе, и все произведения суммируются, определяя уровень активации нейрона.

Чтобы понять где нужно, а где ненужно использовать нейронные сети давайте сначала разделим все возможные задачи на следующие 3 типа:

1ый тип задач	2ой тип задач	3ий тип задач
• Алгоритм и правила решения задач заранее известны	• Алгоритм и правила решения задач не до конца изучены	• Алгоритм и правила решения задач не известны

Рис. 1.

К первому типу задач относятся такие задачи алгоритм и правила решения задач, которых известны заранее, и для решения такой задачи требуется просто написать программу. К таким задачам относятся создание игр, сайтов, решений уравнений и т.д. Возможно процесс написания такой программы окажется долгий и трудоемкий, но тут важен только тот факт, что алгоритм ее решения заранее известен. Ко второй группе относятся те задачи, для решения которых, правила и алгоритмы не до конца изучены. Представим, что есть какая-то часто повторяющаяся ситуация, и в зависимости от ее поведения, частоты итерации или других критериев пытаются вывести какие-то обобщенные законы. Третий тип задачи предоставляет из себя такие задачи для решения которых, алгоритмы и правила отсутствуют. Например, распознавание рисунков, про-

гнозирования роста или падения курса валют. Именно для решения такого типа задач могут использоваться нейронные сети.

Давайте рассмотрим на простом примере, как работает нейронная сеть. Предположим, что мы хотим научить нашу программу распознавать букву «А». Для этого нам необходимо взять самые разные шрифты и размеры этой буквы, так же можно добавить искажения. Затем начинаем процесс «прогона» различных интерпретаций буквы «А» через нашу нейронную сеть. После прохождения буквы несколько тысяч раз через нейронную сеть, она начинает выдавать правильные результаты. То есть нейронная сеть начинает понимать различные варианты буквы, после этого можно считать такую нейронную обученной и применять ее на практике для идентификации данной буквы.



Рис. 2. Классификация задач, выполняемых группой АНПА
Рассмотрим основные задачи, стоящие перед группой АНПА

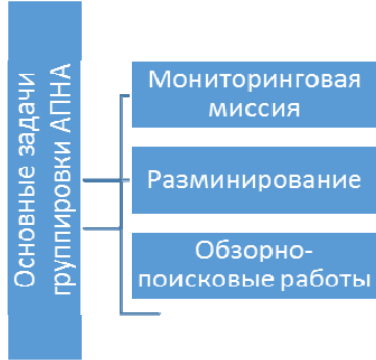


Рис. 3

В качестве метода решения задач, предлагается алгоритм, позволяющий использовать «опыт» накопленной базы знаний для перераспределения и перепланирования задач группы АНПА. Это позволит выбрать наилучшего кандидата из группировки для каждую определенную задачу, а также обеспечит выполнение задачи даже в случае возникновения проблем выполняющего миссию аппарата, путем его замены на другого члена группы при надобности.

Перед выполнением задачи, предполагается что группа будет учитывать технические возможности и накопленные знания не только всей группы, но и каждого члена в частности. Учитывая все эти данные, лидер группы будет выбирать подходящего члена группы и структуру построения группы АНПА при выполнении миссии.

Заключение

У нейронных сетей много важных свойств, но ключевое из них – это способность к обучению. Обучение нейронной сети в первую очередь заключается в изменении «силы» синоптических связей между нейронами. Правильно обученные нейронные сети, с высокой степенью вероятности будут принимать верные решения при различного рода задачах. Это позволит решить основную проблему, которая стоит перед автономными необитаемыми аппаратами. Они смогут правильно идентифицировать, различные объекты, в том числе те, которые будут видеть впервые. Главным преимуществом при использовании такого рода группы АНПА, будет возможность выполнять различные рода задачи автономно, т.е. при возникновении различного рода ситуаций или появление новых переменных в алгоритмах, при выполнении разного рода миссий группа продолжит автономно выполнять свою задачу, без надобности выхода на связь с корабельными или береговыми станциями.

На сегодняшний день нейронные сети являются одним из приоритетных направлений исследований в области искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Д.А.Тархов. Нейронные сети. Модели и алгоритмы. (Справочник.) М., Радиотехника, 2005.
2. С.Хайкин. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. М., "Вильямс", 2006.
3. В.А.Головко. Нейронные сети: обучение, организация и применение. М., ИПРЖР, 2001.
4. Battiti, R., "First and second order methods for learning: Between steepest descent and Newton's method," *Neural Computation*, vol. 4, no. 2, pp. 141-166, 1992.
5. Агеев М.Д., Касаткин Б.А., Киселев Л.В. и др. Автоматические подводные аппараты. JL: Судостроение, 1981. —223 с.
6. Адрианов А.В., Тарасов В.Г. Методология мониторинга морского биоразнообразия (региональный и локальный уровни) // Научные основы сохра-

нения биоразнообразия Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2006. - С. 10-29.

7. Бабак, Л. Н. О применении необитаемых подводных аппаратов для исследования водных экосистем / Л. Н. Бабак, В. И. Дулепов, Н. Н. Лелюх, Ю. В. Ваулин, А. Ф. Щербатюк // Подводные технологии. -Владивосток: Дальнаука, 2005. № 1 - С. 59-68.

8. Л.В. Киселев, А.В. Инзарцев Ситуационное управление группировкой автономных подводных роботов на основе генетических алгоритмов // Проблемы интеллектуального управления сб. статей. - С. 34-43.

УДК 658.512.22 + 004.925.8

Похилько Александр Федорович,

к.т.н., доцент

Цыганков Денис Эдуардович,

аспирант

Козинцев Олег Владимирович,

аспирант

ПОСТРОЕНИЕ 3D-ОБРАЗА СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ НА БАЗЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО ОБОБЩЕНИЯ БАЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ

г. Ульяновск, ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет», afp@ulstu.ru

Аннотация. Рассматривается подход к достижению модифицируемости проектных решений на уровне сборочных единиц, особенность которого оперирование проектными параметрами как семантическими атрибутами достигаемое путем представления сборки набором базовых операций, объединенных по объектной ориентации со строго определенной семантической наполненностью.

Ключевые слова: сборочная модель, 3D-образ, автоматизация, процесс проектирования, САПР, проектная процедура, многотельная деталь.

Alexander F. Pokhilko,

Ph.D., associate professor,

Denis E. Tsygankov,

Post-graduate student

Oleg V. Kozintsev,

Post-graduate student

AN ASSEMBLY UNIT 3D-MODEL FORMATION BASED ON BASIC OPERATIONS SEMANTIC GENERALIZATION

Ulyanovsk, Ulyanovsk State Technical University, afp@ulstu.ru

Abstract. This article is about an approach to the modifiability of design decisions achieving on the assembly units level. Its feature is the design parameters manipulation as the semantic attributes. This is achieved by providing of assembly by a set of basic operations. That combined with the orientation of the object on a strictly defined semantic content.

Keywords: assembly model, 3D-image, automation, process design, CAx-technologies, CAD-systems, design procedure, multibody parts.

В настоящее время, в конструкторскую документацию (КД), в том числе и представленную в электронном виде, вносится колоссальное число изменений, вызванных различными причинами, а это требует своевременного изменения решений, полученных в соответствующих САПР. Для учета этих изменений необходимо модифицировать и геометрические 3D-модели деталей и сборок. Подход к модификации сборочных единиц, основанный на редактировании в контексте сборки не может быть осуществим, из-за отсутствия корреляции и возможности ассоциативно связать атрибутами 3D-моделей деталей. Таким образом, данный подход нарушает целостность проектного решения, что в итоге обеспечивает необходимость перестройки решения вручную, оперируя параметрами проектных процедур, вызывая дополнительные сложности из-за осмысления их влияние на проектное решение.

3D-модель детали Det^{3D} может быть описана деревом построения – упорядоченной последовательностью проектных процедур:

$$Det^{3D} = \sum_{i=0}^n des.proc_i \left(\sum_{k=0}^m des.par_k, \sum_{j=1}^{(i-1)} int.con_j \right), \quad (1)$$

где: $des.proc_i$ – проектная процедура, с i -ым порядковым номером выполнения, обладающая уникальным набором проектных параметров $des.par_i$ и взаимосвязей с другими процедурами $int.con_i$ в виде математическо-логических выражений.

Информационный 3D-образ детали Det^{3D} может рассматриваться как структурированное множество проектных стадий – набора процедур, описываемых формулой (1), объединенных в семантическую единицу [1], что формально выглядит следующим образом:

$$Det^{3D} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^m des.stg_i^{obj_j}, \quad (2)$$

где: $des.stg_i^{obj_j}$ – проектная стадия построения j -того объекта Obj_j (объект – структурный элемент детали, имеющий однозначно воспринимаемый физический смысл [2]), описываемая выражением:

$$des.stg_i^{Obj_J} = \left\{ \sum_{i=0}^n des.proc_i \left(\sum_{k=0}^m des.par_k, \sum_{j=1}^{(i-1)} int.con_j \right), M_{des.par}^{Obj_J} \right\}, \quad (3)$$

где: $M_{ides.par}^{obj}$ – множество атрибутов объекта Obj_J – набора проектных параметров, полностью описывающих его трехмерный образ, однозначно воспринимаемый семантически. Каждый атрибут объекта из множества $M_{ides.par}^{obj}$ имеет взаимосвязи с параметрами используемых проектных процедур в соответствии с предварительно заданным алгоритмом.

Отличительной особенностью формулы (3) от (1) является то, что выделяются атрибуты объекта – параметры, исходные для его построения, оперирование которыми не требует знания алгоритма построения, а лишь предметной области – структуры объекта и детали.

На основании формул (1)-(3) строится утверждение, что 3D-модель детали может быть представлена как набор объектов M_{Obj_J} , имеющих однозначно воспринимаемый смысл в рамках данной детали [3], что выглядит следующим образом:

$$Det^{3D} = \sum_{j=0}^m M_{Obj_J}^{3D} (M_{des.par}^{Obj_J}), \quad (4)$$

Декомпозиция процесса, описываемого формулой (2), на базовые операции, входящие в состав проектных стадий, позволяют ассоциативно связывать между собой атрибуты объектов, обеспечивая тем самым структурно-логическую целостность проектного решения.

Процедурное представление (2) описывает 3D-модель не как законченное решение, а как процесс его формирования, так как учитывает последовательный вклад каждой стадии в итоговое решение. Для наглядного отображения взаимодействия проектных стадий, процесс построения 3D-модели удобно рассматривать в рамках семейства методологий IDEF. Так, четыре типа взаимосвязей способны полностью определить процесс; к ним относятся [4]:

- Вход – исходные данные. Им может быть ТЗ, набор атрибутов, точка начала координат (для пространственной привязки) и др.
- Выход – результат выполнения. Например, структурно полный 3D-образ, набор проектных параметров, 3D-модель элемента и др.
- Управление – набор условий, правил и ограничений. В его роли выступают государственные и отраслевые стандарты на проектируемое изделие, а также справочная и нормативно-техническая документация.
- Механизм – средство выполнения. Как правило, механизмом является пользователь – инженер-конструктор, а также САПР.

Внесение изменение в одну из проектных стадий (внешнее или внутреннее) приведет к соответствующему изменению выходных данных данной стадии, а соответственно, и исходных данных для всех после-

дующих. Таким образом, осуществляется фиксация структурно-семантической целостности решения.

Сборка, представляя собой систему 3D-деталей и подборок, которые представляют собой законченные конструктивные элементы, в общем случае, может быть структурно описана следующим образом:

$$Asm^{3D} = \left\{ \sum_{i=0}^n Det_i^{3D}, M_{con.}^{Asm}, M_{des.par}^{Asm} \right\}, \quad (5)$$

где: Asm^{3D} – сборочная 3D-модель, $M_{con.}^{Asm}$ – множество сопряжений между набором деталей Det^{3D} , $M_{des.par}^{Asm}$ – множество атрибутов сборки.

Управление сборкой доступно путем манипулирования значениями описывающих ее атрибутов, что сводится к 2 вариантам модификации: изменение набора деталей и изменение их взаиморасположения. В обоих случаях не предоставляется доступ для редактирования и изменения самих деталей, так как в рамках сборки их 3D-образ строго определен.

Сопряжения, привязывая детали друг к другу, определяют лишь их положения в пространстве, делая систему компонент целостной, строго заданной структурой.

Как следствие, сборка не может быть рассмотрена как процесс по следующим причинам: детали – это уже законченные конструктивные элементы, а последовательность установки сопряжений не оказывает влияния на формируемое решение.

Представление сборочной единицы как процесса становится возможным при смещении уровня декомпозиции модели с уровня «3D-Сборка» на уровень «3D-Деталь», что сопровождаются 2 преобразования:

- Сборочная модель рассматривается как комплексная 3D-модель детали – совокупности объектов (отдельных твердых тел), что позволяет сохранять процессы построения каждой из ее компонент.

- Детали – компоненты сборки рассматриваются как объекты в контексте единой детали, что позволяет не только устанавливать ассоциативные связи между их атрибутами, а переносить описывающие их проектные параметры на уровень сборочной единицы.

Так, в одном файле присутствует полный набор компонент с процессом их построения и готовый для детального анализа и обработки. Этот файл позволяет полностью описывать процесс формирования проектного решения, сохраняя актуальность при декомпозиции на нижайшие уровни.

Процедурная модель сборочного 3D-образа при преобразовании в многотельную деталь представляет собой последовательное объединение процессов построения каждой детали-компоненты:

$$Asm^{3D} = \sum_{i=0}^n Det_i^{Obj_i} (M_{des.par}^{Obj_i}, M_{des.par}^{Asm^{3D}}), \quad (6)$$

где: $Det_i^{Obj_i}$ – множество деталей, представленных как объект в контексте многотельной детали, каждая из которых является функцией от значения атрибутов детали $M_{des.par}^{Obj_i}$ и самой сборки $M_{des.par}^{Asm}$ непосредственно.

Таким образом, обеспечивается возможность устанавливать ассоциативные связи между компонентами сборки [5], обеспечивая ее полную параметризацию и взаимозависимость компонент, что в итоге обеспечивает модифицируемость в автоматическом режиме не только при изменении атрибутов, описывающих непосредственно саму сборку, но и при изменении параметров входящих в нее компонент.

Фиксация компонент сборки, на основе представления твердыми телами – объектами единого уровня, позволяет выделить дискриминанты проектируемой сборочной единицы, связать их с целью определения исходного набора данных, который будет строго задан семантически и позволит управлять информационным 3D-образом, оперируя понятиями предметной области, к которой относится проектируемый объект.

Список литературы

1. Цыганков Д.Э. Представление процесса проектирования на базе обобщения элементарных операций до уровня семантических единиц / Д.Э. Цыганков, А.Ф. Похилько // Автоматизация процессов управления. 2015. № 3. С. 81-88.
2. Похилько А.Ф. Представление процесса проектной деятельности с использованием семантики процедурного моделирования / А.Ф. Похилько, Д.Э. Цыганков // Радиотехника. 2015. № 6. С. 79-82.
4. Цыганков Д.Э. Инфологическое описание сборочной 3D-модели на основе процедурного представления твердотельных компонент / Д.Э. Цыганков, И.В. Горбачев, А.Ф. Похилько // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 6 (2). – С. 629-632.
3. Похилько А.Ф. CASE-технология моделирования процессов с использованием средств BРWin и ERWin: Учебное пособие / А.Ф. Похилько, И.В. Горбачев. Ульяновск: УлГТУ, 2008. 120 с.
5. Цыганков Д.Э. Автоматизация модифицируемости решений при проектировании структурно подобных изделий / Д.Э. Цыганков, А.Ф. Похилько // Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем: сборник научных трудов IX Всероссийской научно-практической конференции (с участием стран СНГ). – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – С. 228-231.

УДК 621.431.75

Нагорный Владимир Степанович,¹

Д-р техн. наук, заслуженный деятель науки РФ, профессор,

Войнов Игорь Борисович²,

начальник отдела,

Колодяжный Дмитрий Юрьевич³,

Канд. Техн. наук, доцент

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТОПЛИВО

Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ¹nagorny.vladim@yandex.ru,
²voinov@compmechlab.com, ³kolod@mail.ru

Аннотация. В результате проведенных численных расчетов электрогидродинамических (ЭГД) процессов в поперечном к потоку топлива резко неоднородном поле в электрических устройствах воздействия на авиационное топливо (ЭУВТ) определена величина выносимого униполярного электрического заряда.

Ключевые слова: авиационное топливо, электрический заряд, электрогидродинамика, численное моделирование.

Vladimir S. Nagorniy¹,

The Honored worker of a science of the Russian Federation, Doctor of Technical Science, Professor,

Igor B. Vojnov²,

The chief of a department,

Dmitry J. Kolodjashnyj³,

PhD in Technical Sciences, The senior lecturer

NUMERICAL MODELLING OF ELECTROHYDRODYNAMICAL PROCESSES IN ELECTRIC DEVICES OF INFLUENCE ON FUEL

Russia, St. Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
¹nagorny.vladim@yandex.ru, ²voinov@compmechlab.com, ³kolod@mail.ru

Abstract. As a result of the lead{carried out} numerical calculations electrohydrodynamical (EHG) processes in cross-section to a stream of fuel

sharply non-uniform field in electric devices of influence on aviation fuel the size of a born{a taken out} unipolar electric charge is determined.

Key words: aviation fuel, an electric charge, electrohydrodynamics, numerical modelling.

В настоящее время ведутся активные исследования по созданию высокоскоростных транспортных средств, обеспечению экологии и высокой энергоэффективности авиационных двигателей путем улучшение качества распыла топлива и сгорания керосино-воздушной смеси в авиационных двигателях. Нормы по уровню вредных выбросов от авиационных двигателей постоянно ужесточаются [1-2]. При этом в качестве топлива используется авиационный керосин ТС-1.

Предлагается для улучшения качества распыла топлива и сгорания топливно-воздушной смеси, использовать электрогидродинамические (ЭГД) воздействия с использованием в цепях подачи топлива к форсунке соответствующим образом организованных электрических полей [3].

За последние годы достигнут значительный прогресс в исследовании электрогидродинамических процессов [4-16]. С развитием вычислительной техники основное внимание стало уделяться вопросам численного моделирования ЭГД процессов, что помогает предсказать результат эксперимента, экономя время и средства.

Объектом численного исследования в настоящей статье является процессы возникновения униполярного потока ионов в топливе и вынос заряда в ЭУВТ в поперечном к потоку керосина ТС-1 резко неоднородном электрическом поле.

Полная система уравнений электрогидродинамики имеет вид:

$$\gamma \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \gamma (\vec{v}, \nabla) \vec{v} = -\nabla p + \eta \Delta \vec{v} - \rho \nabla \phi ; \quad (1)$$

$$\nabla \vec{v} = 0 ; \quad (2)$$

$$\Delta \phi = -\frac{\rho}{\epsilon \epsilon_0} ; \quad (3)$$

$$\frac{\partial c_+}{\partial t} + \text{div}(-D \nabla c_+ - z_+ b F c_+ \nabla \phi) = R - \vec{v} \nabla c_+ ; \quad (4)$$

$$\frac{\partial c_-}{\partial t} + \text{div}(-D \nabla c_- - z_- b F c_- \nabla \phi) = R - \vec{v} \nabla c_- ; \quad (5)$$

$$\rho = F(z_+ c_+ + z_- c_-). \quad (6)$$

Здесь ρ - объемная плотность электрического заряда, γ - плотность рабочей жидкости, v - скорость течения рабочей жидкости, p - давление, η - динамический коэффициент вязкости рабочей жидкости, ϕ - потенциал электрического поля, ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость рабочей жидкости, ϵ_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума, D

- коэффициент диффузии, F - число Фарадея, b – подвижность ионов, R - коэффициент рекомбинации ионов, c_+, c_- - концентрации положительных и отрицательных ионов соответственно, z_-, z_+ - зарядовые числа.

На базе уточненной авторами инжекционной модели образования в рабочей жидкости объемного униполярного заряда проведены численное моделирование ЭГД воздействия на топливо электрического заряда, инжектируемого в топливо в резко неоднородном поле у острия тонкой иглы, расположенной в цилиндрическом канале.

Для описания поведения диэлектрической жидкости использовались основные уравнения электрогидродинамики для описания нестационарного турбулентного течения и переноса заряда в изотермической несжимаемой жидкости вида (1) – (6). В качестве модели инжекции ионов у острия игольчатого электрода используется модель, в которой плотность потока ионов у поверхности игольчатого электрода задаётся феноменологической функцией зависимости инжекции от локальной напряженности электрического поля, имеющая схожий вид с уравнением Фаулера-Нордгейма

$$\vec{j}_{inj} = A_0 \exp\left(-\frac{B_0}{E}\right) \quad (7)$$

Однако, как показывают оценки, в рабочем диапазоне значений напряженности электрического поля функция (7) практически линейна и может быть заменена следующим выражением:

$$\vec{j}_{inj} = \max(AE - B, 0) \quad (8)$$

В формулах (7) и (8) A_0 , B_0 , A и B являются константами, которые необходимо определять из эксперимента. Поскольку для рассматриваемой жидкости (керосин ТС-1) таких экспериментов нет, параметры выбраны примерно соответствующие параметрам, где в качестве изучаемой диэлектрической жидкости рассматривалось трансформаторное масло.

Свойства жидкости в расчетах соответствуют свойствам керосина типа ТС-1: плотность $\rho = 780 \text{ кг/м}^3$, коэффициент динамической вязкости $\mu = 1.014 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 2.2$. Подвижность ионов в жидкости бралась равной $b_i = 10^{-8} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, ионный коэффициент диффузии $D = 2.5 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$.

Коэффициенты инжекции по формуле (8) принимались равными $A = 1.92 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}/(\text{В}\cdot\text{м}\cdot\text{с})$, $B = 2.04 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$. Данные коэффициенты получены в результате проведения многовариантных расчетов, позволивших определить характеристики, удовлетворяющие экспериментальным данным.

По всем границам, отвечающим непроницаемым стенкам, ставится условие равенства нулю всех компонент вектора скорости.

В рамках рассматриваемой задачи проведено численное моделирование ЭГД воздействия на топливо в ЭУВТ в резко неоднородном электрическом поле, в результате которого топливу сообщается униполярный электрический заряд, инжектируемый у игольчатого электрода ЭУВТ типа проницаемых для топлива серия игл, на который подается положительный потенциал. Для решения подобной электрогидродинамической задачи была создана упрощенная геометрическая модель канала течения ЭУВТ, в которой указанный выше игольчатый электрод был заменен на заостренные диски из однонаправленного пористого материала.

Сопротивление пористой среды определяется из соотношения

$$\frac{\Delta p}{\Delta x} = K \frac{\rho}{2} v^2 \quad (9)$$

где K – коэффициент потерь.

Величина K определяется через коэффициент гидравлического сопротивления ξ как

$$K = \frac{\xi}{h}, \quad (10)$$

где h – толщина пористой стенки.

Коэффициент гидравлического сопротивления решеток принимался равным $\xi = 1.6$, при этом, принимая толщину решетки $h = 0.1$ мм, для коэффициента потерь имеем:

$$K = 16000 \frac{1}{\text{м}}. \quad (11)$$

Пористость материала задается как линейная функция, меняющаяся от центра диска к его краю от 0% до 70%.

Вид геометрической модели исследуемого ЭУВТ представлен на рисунке 1.

Диаметр стержня d при этом принимался равным 4 мм, диаметр дисков $d_2 = 18$ мм, всего 9 дисков толщиной 0.1 мм, расстояние между дисками 5.25 мм. Общая длина расчетной области 80 мм. На острый электрод (синий цвет) подается положительный потенциал $U = 5000$ В. Наружный электрод (красный цвет) заземлен (имеет нулевой потенциал). Массовый расход керосина на входе в канал равен 0.00725 кг/с.

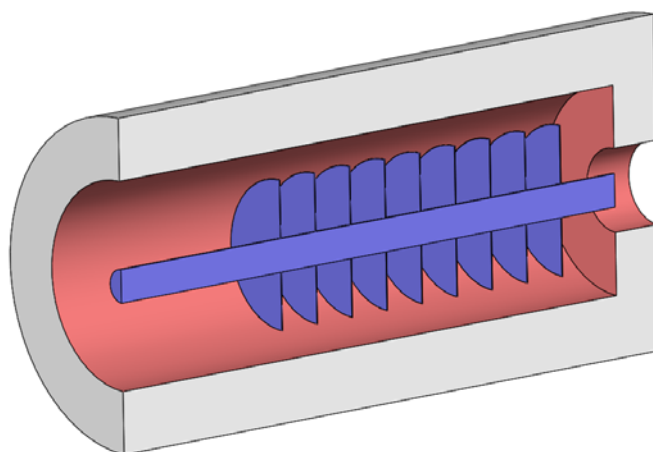


Рис. 1. Геометрическая модель ЭУВТ

В результате образования в ЭУВТ резко неоднородного электрического поля вблизи края диска с большой электрической напряженностью, у поверхности диска происходит инжекция положительно заряженных ионов. Данные ионы под действием электрического поля двигаются к противоположному электроду и частично выносятся потоком топлива с выхода ЭУВТ к форсунке.

Расчеты проводились в квазиосесимметричной постановке. Разработанная расчетная сетка сечения приведена на рисунке 2.

При численном моделировании использовалась структурированная гексагональная сетка со сгущением в области края диска. Расчетная область представляет сектор в 5 градусов. Общее количество ячеек составляет $\sim 9\,400\,000$. Для учета пограничного слоя введено сгущение на границах непроницаемых стенок. Эффект турбулентности моделируется с использованием SST модели.

При моделировании исследовалась величина электрического заряда в керосине на выходе из ЭУВТ при постоянном напряжении $U = 5$ кВ.

Для выполнения данных расчетов использовался пакет численного моделирования задач гидрогазодинамики ANSYS/CFX. Следует отметить, что среди встроенных в пакет уравнений нет уравнений, позволяющих моделировать электрогидродинамическое поведение жидкости в электрическом поле. Поэтому для решения поставленной задачи система уравнений Навье-Стокса (1), (2) и уравнения Пуассона для электрического потенциала (3) была дополнена законом Нернста-Планка (4)-(6) и дополнительными соотношениями электродинамики. Для возможности получения совместного решения использовалась итерационная процедура и явный метод решения по времени в результате которой на каждом шаге по времени последовательно решались уравнения гидродинамики и электродинамики.

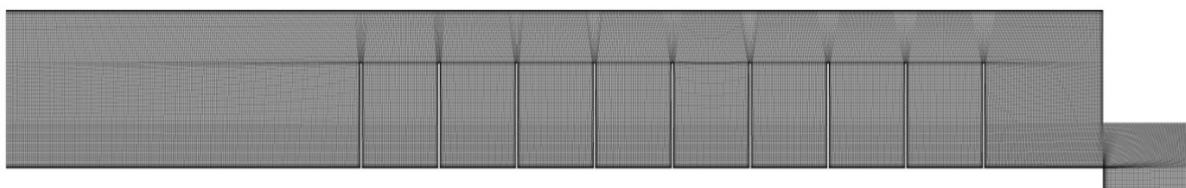


Рис. 2 – Расчетная сетка для численного расчета ЭУВТ

Алгоритм решения системы уравнений электрогидродинамики применительно к ЭУВТ представлен на рисунке 3.

Результат полученного распределения объемного заряда в продольном сечении канала приведен на рисунке 4. Для наглядности распределения приведены с учетом отражения от горизонтальной плоскости.



Рис. 3. Блок-схема численного расчета электродинамических процессов в ЭУВТ

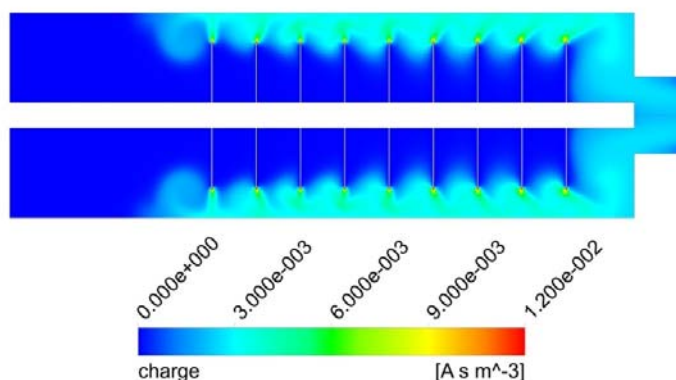


Рис. 3. Распределение объемного заряда в ЭУВТ для $U=5$ кВ

В рамках принятой расчетной модели и граничных условий, величина объемной плотности электрического заряда на выходе ЭУВТ оказалась равной $\rho \approx 0.00146$ Кл/м³.

Однако данная оценка величины заряда имеет заниженный характер, поскольку численная модель имеет ряд геометрических упрощений. Несмотря на это, полученные результаты показывают, что данный способ встраивания ЭУВТ в топливную систему позволяет сообщать топливу униполярный электрический заряд.

Данные прикладные научные исследования (ПНИ) проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России. Уникальный идентификатор ПНИREMEFI57714X0087.

Список литературы

1. Авиационные правила, часть 34. Охрана окружающей среды. Эмиссия загрязняющих веществ авиационными двигателями. Нормы и испытания. – М.: ОАО «Авиаиздат», 2003. – 84 с.
2. Охрана окружающей среды. Приложение 16 к конвенции о Международной гражданской авиации. Том II. Эмиссия авиационных двигателей. – Montreal, Quebec, Canada: Международная организация гражданской авиации, 2008. – 118 с.
3. Д.Ю. Колодяжный, В.С. Нагорный Экспериментальные исследования влияния электрического поля на параметры сгорания керосиновоздушной смеси // Известия ВУЗов. Авиационная техника. – 2015. – № 4. – С. 73 – 76.
4. Нагорный В.С. Электрофлюидные преобразователи. – Л.: Судостроение, 1987. – 251 с.
5. Нагорный В.С., Нагорный И.В. Преобразователи малых давлений и перепадов давлений в электрический сигнал с электрогидродинамической компенсацией по давлению. СПб.: Изд-во Политехн. университета, 2011. – 223 с.
6. Нагорный В.С. Средства автоматизации гидро – и пневмосистем.: СПб., М., Краснодар, Изд-во ЛАНЬ, 2014. – 448 с.
7. V.S. Nagorniy. Engineering Principles of New Electrohydrodynamic Converters of Automatic Systems' Signals with Controlling of Space Charge's Value and Distribution in Dielectric Liquid Volumes, Flows and Jets // 2005 International Symposium on Electrical Insulating Materials, June 5 - 9, 2005. Kitakyushu, Japan. – 2005. – P. 123 – 126.
8. V.S. Nagorniy. Parameter of EHD-Interaction and efficiency Electrohydro(gas)dynamic Control of Flows and Jets of Dielectric Liquids and Gas // International Symposium on Electrohydrodynamics 2014 (ISEHD – 2014. June 23-26 2014. Japan, Okinawa. – 2014. – 5 p. Book of Abstracts. – P.49.
9. В.А. Чирков, Ю.К. Стишков. Компьютерное моделирование ЭГД-течений в системе электродов игла-полость // Журнал технической физики. – 2008. – Т.78. – №11.

10. В.С. Нагорный Электрогазо- и электрогидродинамическое управление струями и потоками газа и жидкости. 1. Физико-математические основы // ПМТФ. 2000. т. 41. № 2. С. 25-31.

11. В.С. Нагорный Электрогазо- и электрогидродинамическое управление струями и потоками газа и жидкости. 2. Электрофизические основы // ПМТФ. 2000. т. 41. № 3. С. 34-42.

12. N.C. Lima, M.A. d'Avila. Numerical simulation of electrohydrodynamic flows of Newtonian and viscoelastic droplets // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics.– 2014.

13. G.Taylor. Disintegration of water drops in an electric field // Proc. R. Soc. Lond., Ser. A Math. Phys. Sci. – 1964.–№280. – P 383–397.

14. G.Taylor. Disintegration of water drops in an electric field // Proc. R. Soc. Lond., Ser. A Math. Phys. Sci. – 1964.–№280. – P 383–397.

15. Qingzhen Yang, Ben Q. Li, Yucheng Ding. 3D phase field modeling of electrohydrodynamic multiphase flows // International Journal of Multiphase Flow. –2013. – №57.

16. J.M. Lypez-Herrera, S. Popinet, M.A. Herrada. A charge-conservative approach for simulating electrohydrodynamic two-phase flows using volume-of-fluid // Journal of computational Physics. – 2011. – №230.

УДК 621.431.75

Нагорный Владимир Степанович¹,

Д-р техн. наук, заслуженный деятель науки РФ, профессор,

Колодяжный Дмитрий Юрьевич²,

Канд. Техн. наук, доцент

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ВЯЗКОСТЬ ТОПЛИВА

Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ¹nagorny.vladim@yandex.ru, ²kolod@mail.ru

Аннотация. На основании проведенного библиографического обзора показано, что при соответствующей организации приложенных к диэлектрическому топливу электрических полей можно изменять его эффективную вязкость.

Ключевые слова: вязкость диэлектрических жидкостей, топливо, электрическое поле.

Vladimir S. Nagorniy¹,
The Honored worker of a science of the Russian Federation, Doctor of
Technical Science, Professor,
Dmitry J. Kolodjazyhnyj²,
PhD in Technical Sciences, The senior lecturer

INFLUENCE OF THE ELECTRIC PRESSURE{VOLTAGE} ON VISCOSITY OF FUEL

Russia, St. Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
¹nagorniy.vladim@yandex.ru, ²kolod@mail.ru

Abstract. On the basis of the lead bibliographic review it is shown, that at the corresponding organization of the electric fields enclosed to dielectric fuel it is possible to change his effective viscosity.

Key words: viscosity of dielectric liquids, fuel, an electric field.

Предлагается для улучшения качества распыла топлива и сгорания топливно-воздушной смеси в авиационных двигателях использовать соответствующим образом организованные электрические поля, приложенные к потоку топлива [1]. Данные прикладные научные исследования применительно к авиационным двигателям явились как логическое продолжение выполненных ранее работ [2 - 7].

При приложении к потоку топлива поперечного постоянного однородного электрического поля можно ожидать изменение вязкости рабочей жидкости в первом приближении под влиянием двух составляющих, связанных с микропроцессами, происходящими в топливе на молекулярном уровне под действием поля. При этом для потерь напора по длине в результате изменения сопротивления движущегося топлива (ΔH) можно записать

$$\Delta H = \Delta H_{11} + \Delta H_{12}, \quad (1)$$

где ΔH_{11} - потери напора за счет увеличения коэффициента вязкости жидкости вследствие ориентирующего действия поля на дипольные молекулы рабочей жидкости (углеводородные топлива являются слабодипольными жидкостями);

ΔH_{12} - потери напора за счет гидродинамического воздействия на поток жидкости вследствие взаимодействия дипольных моментов и электрического поля в жидкости. Считаем, что до приложения электрического поля поток жидкости в исследуемом канале является ламинарным.

Оценим влияние каждой из составляющих на изменение начального гидравлического сопротивления:

Для ламинарного потока потеря напора по длине выражается формулой Пуазейля

$$H_f = 32\nu l v (gd^2), \quad (2)$$

где ν - кинематический коэффициент вязкости диэлектрической жидкости; l - длина трубы; v - скорость жидкости; g - ускорение свободного падения; d - диаметр трубы.

Из выражения (2) видно, что потери напора по длине прямо пропорциональны кинематическому коэффициенту вязкости ν и при его изменении также будут меняться. В свою очередь, $\nu = \mu / \rho$, здесь ρ - плотность жидкости, а динамический коэффициент вязкости $\mu = \tau(dv_x / dy)$, где τ - касательное напряжение на элементарной площадке, лежащей на поверхности соприкасающихся слоев движущейся жидкости; dv_x / dy - градиент скорости движения слоев в направлении y , перпендикулярном к рассматриваемым слоям жидкости.

Отсутствие общей теории жидкого состояния привело к тому, что до настоящего времени пока не удалось разработать точные, теоретически обоснованные методы расчета коэффициентов вязкости. В многочисленных работах показано, что коэффициент вязкости жидкостей связан с потенциалом межмолекулярных сил. По Грину [8], величина динамического коэффициента вязкости μ пропорциональна $\exp[-W_r / (kT)]$, где W_r - энергия взаимодействия двух молекул, находящихся на расстоянии r ; k - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура.

В силу того, что авиационные топлива являются слабополярными жидкостями, для вычисления величины W_r можно воспользоваться формулой Леннарда-Джонса

$$W_r = 4a[(c/r)^{12} - (c/r)^6]$$

где a и c - постоянные сил, зависящие от взаимодействия молекул.

Обычно величины a и c определяются экспериментально. Поэтому практическое применение известных формул для расчета вязкости встречает серьезные затруднения.

Увеличение коэффициента вязкости жидкости под действием электрического поля оценим по методике Панченкова [9], в которой предполагается, что вязкость обусловлена переносом количества движения за счет временного объединения близлежащих молекул. Для образования таких объединений необходимо не только чтобы кинетическая энергия молекул была меньше энергии связи, но и чтобы молекулы были определенным образом ориентированы относительно друг друга для возникновения силы притяжения между ними.

Для динамического коэффициента вязкости μ имеем

$$\mu = c_1 \{1 - \exp[-W_0 / (RT)]\};$$

где c_1 - коэффициент.

Вероятность образования связи (вероятность объединения молекул)

$$\delta_1 = N_1 / N = 1 - \exp[-W_0 / (RT)];$$

N_1 - число молекул, энергия которых меньше энергии связи,

$$N_1 = N \{1 - \exp[-W_0 / (RT)]\},$$

N - общее число молекул; W - энергия связи; R - универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура.

При помещении жидкости в электрическое поле вследствие ориентирующего действия поля на диполи жидкости коэффициент ее вязкости должен возрасти.

Для качественной оценки ориентирующего действия поля воспользуемся дипольной теорией Дебеля, согласно которой можно получить [8]:

$$(\Delta n / n_0)_{\alpha=0} = (n - n_0 / n_0)_{\alpha=0} = \{\exp[\bar{p}E / (kT)]\}^{-1}, \quad (3)$$

где n , n_0 - число молекул, оси которых лежат в определенном телесном угле при наличии поля и при его отсутствии; α - угол, между направлением поля и направлением дипольной оси молекулы; $\bar{p}$ - дипольный момент молекулы; E - напряженность электрического поля, действующая на молекулу; $E = (\varepsilon + 2)E / 3$.

Для углеводородного топлива при $E = 10^5$ В/см, $T = 300^\circ \text{C}$, $\varepsilon = 2,2$, $k = 1,37 \cdot 10^{-16}$ из (2) имеем: $\varepsilon = 2,2$, $k = 1,37 \cdot 10^{-16}$ из (2) имеем: $(\Delta n / n_0)_{\alpha=0} = \exp 0,001 - 1 = 0,0012 = 0,12\%$.

Таким образом, ориентирующее действие поперечного постоянного электрического поля оказывает незначительное влияние на величину динамического коэффициента вязкости, а следовательно, на величину потерь ΔH_{11} напора по длине при движении топлива.

Вторую составляющую в уравнении (1) $-\Delta H_{12}$ можно вычислить, используя уравнение Борна [8], учитывающее взаимодействие электрического поля с дипольными молекулами жидкости.

В случае течения жидкости через капилляр с кольцеобразным зазором, при приложении к его стенкам постоянного электрического напряжения на основании решения уравнения Борна имеем:

$$\frac{\Delta\mu}{\mu_0} = \frac{\bar{p}(\varepsilon + 2)U / 3}{2kTr_1^2} \frac{[x - (2x \ln x)^{-1}]^2 - 1}{(\ln x)^2 [x^2 - 1 - (x^2 - 1) / \ln x]}, \quad (4)$$

где $\Delta\mu$ - изменение динамического коэффициента вязкости при $U \neq 0$; μ_0 - динамический коэффициент вязкости жидкости при $U=0$; U - электрическое напряжение, приложенное к электродам; ε - диэлектрическая проницаемость жидкости. $x = r_2 / r_1 > 1$; r_2 и r_1 - радиусы внешнего и внутреннего электродов.

Для углеводородного топлива при $E = 10^5$ В/см, $\bar{p} = 1,2 \cdot 10^{-19}$, $T = 300^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 22$, $k = 1,37 \cdot 10^{-16}$, $r_2 = 7,9 \cdot 10^3$ м, $r_1 = 6,9 \cdot 10^3$ м, имеем на основании (4) $\Delta\mu / \mu_0 = 0,02\%$.

Таким образом, изменение динамического коэффициента вязкости жидкости под действием постоянного электрического поля незначительно, что отмечается и в работе [10].

Влияние переменного однородного электрического поля на вязкость углеводородного топлива (в том числе и авиационного) рассмотрим на примере его влияния на декан, который входит в химический состав топлива.

Относительная диэлектрическая проницаемость декана $\varepsilon \approx 1.2 - 1.4$.

Имеющиеся результаты экспериментальных исследований воздействия переменных однородных электрических полей высоких напряженностей [11] показывают уменьшение вязкости углеводородных жидкостей.

Одной из причин уменьшения вязкости рабочей жидкости являются ионы, возникшие из-за инжекции заряда с электрода и накопление заряда в двойном приэлектродном слое топлива.

По общепринятой модели приэлектродного двойного слоя для инжекции необходимо накопить заряд q , по крайней мере, равный полному заряду двойного слоя,

$$q = C_{\text{dc}} \cdot U \quad (5)$$

где C_{dc} — емкость двойного слоя, U — падение напряжения на двойном слое.

По грубым оценкам, емкость двойного слоя для углеводородных сред составляет $\sim 10 \text{ мФ/см}^2$, а падение напряжения на нем ~ 1 В [12]. В переменном поле разряд и заряд такого двойного слоя осуществляется в течение полупериода ($T/2$) каждого цикла изменения напряжения. Поэтому, чтобы реализовать инжекцию, заряд q должен быть накоплен в слое по крайней мере за четверть периода подаваемого напряжения, то

есть

$$q = \int_{T/4}^{T/2} i(t) dt, \quad (6)$$

где $i(t) = \sigma \cdot E_0 \cdot \sin 2\pi \cdot f \cdot t$ - электрический ток; σ — удельная электропроводность рабочей жидкости, E_0 — амплитудная напряженность внешнего электрического поля, f — частота электрического поля.

На основании (6) можно получить выражение для критической частоты, при превышении которой в двойном слое не сможет накопиться заряд:

$$f_{cr} = \frac{\sigma \cdot U_{max}}{2 \cdot \pi \cdot d}, \quad (7)$$

где U_{max} — амплитуда приложенного напряжения, d — величина межэлектродного промежутка.

При частоте переменного электрического поля $f > f_{cr}$ инжекция заряда нет, при $f < f_{cr}$ инжекция реализуется.

В эксперименте [11] использовалась установка, которая представляет собой канал прямоугольного сечения длиной 20 мм, шириной 3,5 мм. Верхняя и нижняя стенки канала представляли собой металлические пластины и являлись электродами. Межэлектродное расстояние составляло 200 мкм. Время прохождения жидкости между метками на капилляре измерялось с помощью фоторегистрирующего прибора с точностью до 0,1 с. На электроды экспериментальной ячейки подавалось переменное напряжение от специального источника питания. Диапазон частот используемого напряжения изменялся от 20 Гц до 2 кГц. Погрешность в определении частоты не превышала 3%. Участок капилляра перед ячейкой подбирался такой длины, чтобы по всей длине ячейки течение носило установившийся характер.

В данном случае выражение для эффективного динамического коэффициента вязкости жидкости (определяемого из эксперимента) можно представить в виде

$$\eta = A \Delta P / \Delta Q,$$

где A - аппаратная константа, определяемая конструктивными параметрами прибора; ΔP - перепад давления на капилляре, обеспечивающий расход $\Delta Q = V_0 / t$ (V_0 - объем истекающей исследуемой жидкости).

Тогда относительное изменение эффективного динамического коэффициента вязкости рабочей жидкости

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{\eta_{el} - \eta}{\eta} = \frac{(t_{el} - t)}{t}, \quad (8)$$

где η_{el} - наблюдаемая (эффективная) вязкость жидкости при подаче напряжения на ячейку; t_{el} - время истечения жидкости при приложении к жидкости электрического поля, t - время истечения жидкости без электрического поля.

На рисунке 1 показано относительное изменение динамического коэффициента вязкости декана (времени протекания жидкости через измерительную ячейку) от частоты приложенного напряжения при различных величинах напряженности однородного электрического поля между электродами.

С ростом частоты приложенного напряжения относительная вязкость декана уменьшается. Так, при изменении частоты прикладываемого напряжения в сто раз относительная вязкость падает на $\approx 30\%$, а с ростом величины приложенного напряжения величина $(\Delta\eta/\eta)$ изменяется менее чем в 1,5 раз.

Надо отметить, что при наложении постоянного напряжения на проточную ячейку с неполярными жидкостями значение $(\Delta\eta/\eta)$ также относительно слабо менялось с ростом напряжения [33].

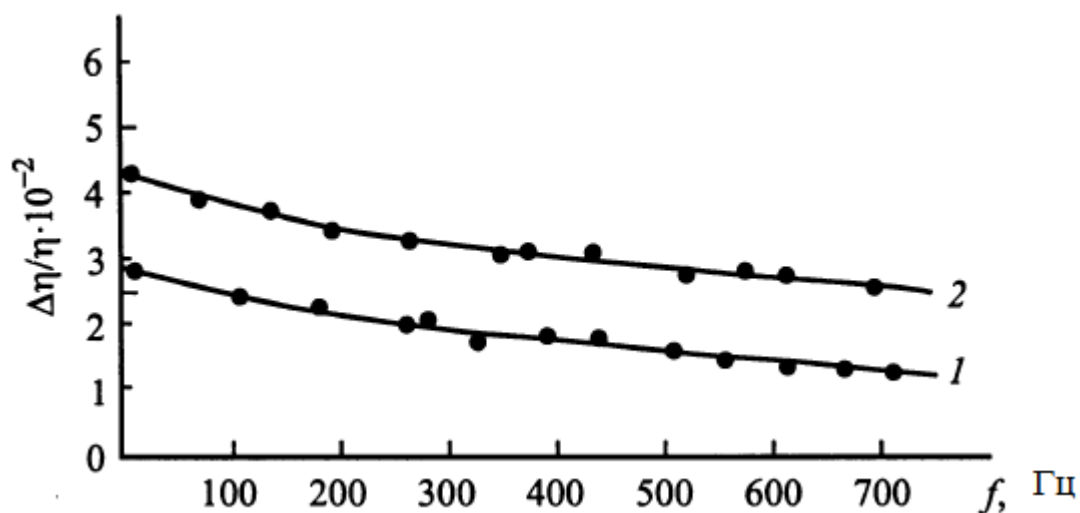


Рис. 1. Относительное изменение эффективного динамического коэффициента вязкости декана от частоты приложенного переменного электрического поля при различных напряженностях однородного поля между электродами:
1 — 20 кВ/см, 2 — 40 кВ/см.

После "отключения" инъекции наблюдаемая вязкость несколько растет с ростом частоты и имеет слабовыраженный максимум, после чего медленно уменьшается. Подобные изменения могли бы быть обусловлены объемной проводимостью жидкости в результате диссоциации молекул примеси.

При воздействии постоянного продольного к потоку топлива электрического поля, создаваемого между электродами «сетка – сетка» (см. рисунок 2), на которые подается высокое напряжение, как отмечается в работах [13 -15], может измениться структура топлива, что приводит к уменьшению гидравлического сопротивления канала протекания топлива. Последнее эквивалентно, по мнению авторов [13 -15], уменьшению эффективной (наблюдаемой) вязкости топлива.

В составе углеводородного топлива (в частности, в авиационном керосине) большую долю занимают углеводороды с химической формулой молекул от $C_{10}H_{20}$ до $C_{15}H_{28}$. Помимо данных соединений, в топливе обычно присутствуют и наночастицы, такие как сера и её соединения, парафиновые частицы и т.д.

Если считать маленькие молекулы в топливе (около 75%) как основную жидкость и остальные около 25% больших молекул и наноразмерные частицы как суспендированные частицы, то топливо можно рассматривать как жидкую суспензию [13 - 15]. База керосина, имеет диэлектрическую постоянную ниже, чем у взвешенных наночастиц, таких как парафиновые частицы, частицы серы и т.д.

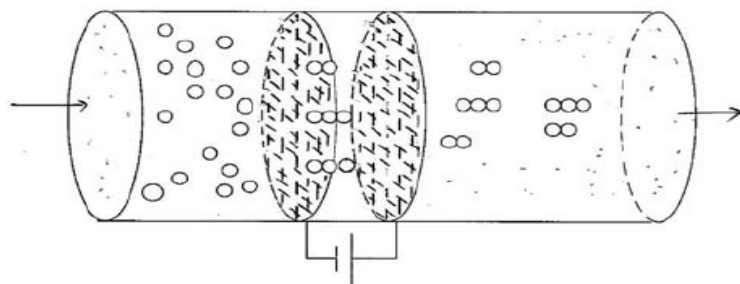


Рис. 2. К воздействию продольного постоянного электрического поля в топливном канале на эффективную вязкость топлива (кружками обозначены сложные молекулы углеводородов).

На рис. 2 схематично представлен топливный канал (топливо движется слева направо) с находящейся внутри электродной системой в виде двух сеток.

При подаче высокого напряжения на электроды между ними возникает напряженность поля порядка $2 \cdot 10^6$ В/м. Сильное электрическое поле индуцирует взвешенные наночастицы внутри топлива, заставляет агрегировать их в короткие цепочки вдоль направления поля (см. рисунок 2).

Это объединение нарушает симметрию, что создает анизотропную вязкость по направлению поля. При этом эффективная вязкость топлива значительно снижается. .

Следовательно, когда сильное электрическое поле прикладывается вдоль направления потока топлива на небольшом участке трубопровода, то взвешенные частицы в топливе поляризуются в электрическом поле. Дипольное взаимодействие быстро агрегирует частицы в виде коротких цепочек вдоль направления поля. При таком состоянии пространственная симметрия нарушается. Вдоль осевого направления, вязкость снижается к минимуму, поскольку эти агрегаты имеют обтекаемую форму вдоль направления потока. При этом эффективной вязкости топлива уменьшается [14, 15].

Если представлять углеводородное топливо как суспензию с нановключениями, то объёмная концентрация этих включений составляет около 0,5 [14, 15]. При этом вязкость такой суспензии может быть описана при помощи формулы Кригера-Догерти:

$$\eta_{eff}/\eta_0 = (1 - \phi/\phi_{max})^{-\nu\phi_{max}},$$

где η_{eff} — эффективный коэффициент вязкости суспензии, η_0 — коэффициент вязкости в отсутствии включений, ν — внутренняя вязкость включений (например, для сферических включений она равна 5/2), ϕ — объёмная концентрация включений, ϕ_{max} — а максимально возможная концентрация включений (которая зависит от плотности их упаковки, а, следовательно, и от их формы; для сфер $\phi_{max} = 0,64$).

При приложении продольного электрического поля молекулы сложных углеводородов объединяются в кластеры. Внутренняя вязкость таких кластеров уменьшается до значения 2,124 за счёт того, что увеличивается средняя длина пробега этих кластеров (поскольку объёмная концентрация включений практически не меняется, и, следовательно, при объединении включений в более крупные частицы последние получают большую свободу движений. Средняя длина пробега λ оценивается по формуле $\lambda \approx a/(3\phi)$, где a — радиус включений). Также при объединении включений в кластеры меняется форма этих кластеров (они становятся сфероидами [13]), поэтому увеличивается максимально возможная концентрация ϕ_{max} до значения около 0.72. Всё это приводит к тому, что эффективная вязкость суспензии уменьшается.

Поскольку частицы серы обладают гораздо большей диэлектрической проницаемостью, чем жидкие углеводороды, влияние электрического поля на снижение вязкости высокосернистого углеводородного топлива весьма сильное [13 - 15].

В качестве иллюстрации этого утверждения на рисунке 3 представлены экспериментальные данные [13] по измерению вязкости дизельного

топлива. Прямая красная линия соответствует вязкости без электрического поля. Черная линия — это зависимость вязкости топлива от времени при воздействии электрическим полем напряжённостью 1кВ/мм в течение 2 секунд. После выключения электрического поля вязкость восстанавливается к своему исходному значению в течение более чем 60 минут.

Из рисунка 3 видно, что наиболее сильное уменьшение вязкости жидкого топлива составляет около 10%. Более сильный эффект наблюдается при увеличении напряжённости электрического поля: при значении 2 кВ/мм вязкость уменьшается на 23%.

Авторами [13] использовалась следующая методика измерения вязкости. Внутри контейнера, где располагались электроды, наливалось дизельное топливо. К контейнеру была подсоединена тонкая вертикальная трубка, так что при открытой заслонке топливо могло вытекать из контейнера под действием силы тяжести. Сначала измерялся массовый расход при открытой заслонке без электрического поля. Затем контейнер заполнялся заново, при закрытой заслонке подавалось напряжение в течение небольшого интервала времени, затем электрическое поле отключалось и открывалась заслонка, проводилось измерение массового расхода. Изменение (увеличение) массового расхода во втором случае авторы [13] связывают с уменьшением гидравлического сопротивления при течении топлива по вертикальной трубке, которое в свою очередь связано с уменьшением вязкости топлива, вызванное действием приложенного электрического поля.

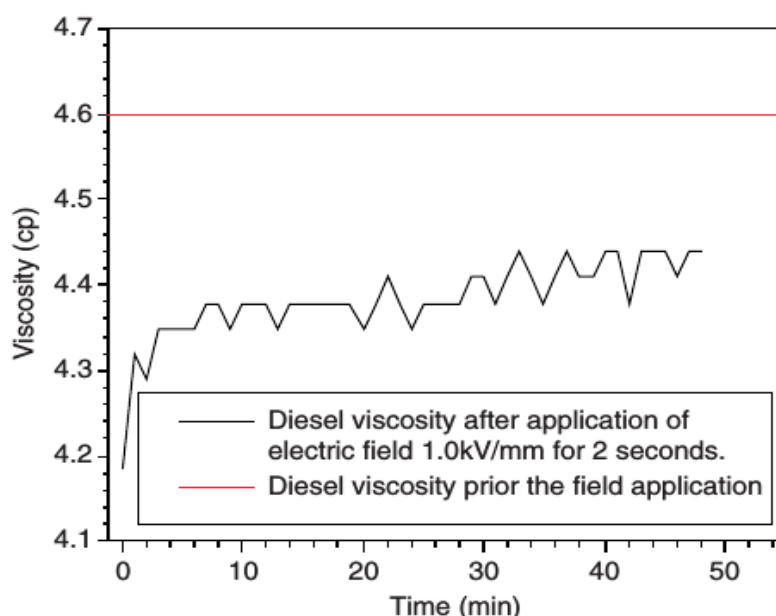


Рис. 3. Изменение вязкости дизельного топлива (в сП) со временем (в мин) без электрического поля (красная линия) и с его кратковременным воздействием (чёрная линия)

Чем ближе к форсунке располагается устройство электрического воздействия на топливо, тем больший эффект увеличения эффективности сгорания топлива вязкости может быть достигнут. Как предполагают авторы [13], увеличение эффективности сгорания связано с улучшением качества распыла топлива за счёт уменьшения его вязкости.

Действительно, при распыле топлива на капли, они при попадании в спутный воздушный поток активно дробятся там вследствие неустойчивости. Степень дробления капель зависит также от значения числа Онезорге Oh , определяемого как

$$Oh = \eta / \sqrt{\rho D \sigma},$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения; η — динамический коэффициент вязкости; D — диаметр капли. Критическое значение Oh_c , при котором капли перестают дробиться, составляет примерно 0.1, откуда следует, что минимальный размер капель должен быть равен

$$D = \eta^2 / (\rho \sigma Oh_c).$$

Таким образом, при уменьшении вязкости характерный минимальный размер капли значительно уменьшается, что ведёт к интенсификации процессов горения в связи с более быстрым испарением капель топлива в камере сгорания.

Данные прикладные научные исследования (ПНИ) проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России. Уникальный идентификатор ПНИ REMEF157714X0087.

Список литературы

1. Д.Ю. Колодяжный, В.С. Нагорный Экспериментальные исследования влияния электрического поля на параметры сгорания керосиновоздушной смеси // Известия ВУЗов. Авиационная техника. – 2015. – № 4. – С. 73 – 76.
2. Нагорный В.С. Электрофлюидные преобразователи. – Л.: Судостроение, 1987. – 251 с.
3. Нагорный В.С. Средства автоматики гидро – и пневмосистем.: СПб., М., Краснодар, Изд-во ЛАНЬ, 2014. – 448 с.
4. Нагорный В.С., Левченко Ю.А. Электрокаплеструйная автоматика в производстве химических нитей. – СПб.: Изд-во Политехника, 2001. – 231 с.
5. Нагорный В.С., Нагорный И.В. Преобразователи малых давлений и перепадов давлений в электрический сигнал с электрогидродинамической компенсацией по давлению. СПб.: Изд-во Политехн. университета, 2011. – 223 с.
6. В.С.Нагорный Электрогазо- и электрогидродинамическое управление струями и потоками газа и жидкости. 1. Физико-математические основы // ПМТФ. 2000. т. 41. № 2. С. 25-31.

7. В.С.Нагорный. Электрогазо- и электрогидродинамическое управление струями и потоками газа и жидкости. 2. Электрофизические основы // ПМТФ. 2000. т. 41. № 3. С. 34-42.
8. Сосинский С.Л. Влияние электрического поля на вязкость жидкостей. Автореф. канд. физмат. наук. Л.: ЛГУ. 1938.
9. Панченко Г.М. Теория вязкости жидкостей. Л.: 1947.
10. Герловин И.Л. Основы единой теории всех взаимодействий в веществе. Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 431 с.
11. Остапенко А.А. Электровязкостный эффект в переменном электрическом поле // Журнал технической физики, 2000, т. 70, вып.8.
12. Gosse B// Electroanalchem. and Interfacial Electrochem. 1975. Vol. 61. P. 265-270.
13. Du E., Tang H., Huang K., Tao R. Reducing the Viscosity of Diesel Fuel with Electrorheological Effect // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. – 2011. – V. 22. – № 15. – P.1713–1716.
14. Tao R., Du E., Tang H., Xu X. Neutron scattering studies of crude oil viscosity reduction with electric field // Fuel. – 2014. – V. 134. P. 493–498.
15. Tao R. The Physical Mechanism to Reduce Viscosity of Liquid Suspensions // International Journal of Modern Physics B. – 2007. – V. 21. – P.4767–4773.

УДК 303.7032.4

Тренина Екатерина Викторовна¹,
магистрант 1 курса экономического факультета,
Колесниченко Сергей Викторович²,
д-р техн. наук, доц. кафедры системного анализа и управления

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОПОСТАВИМОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский горный университет,
¹troninaev@bk.ru; ²serjkor@yandex.ru

Аннотация. В статье приведены результаты использования метода многомерной иерархической классификации. Данный метод позволяет обоснованно принимать решение о том, какой из вариантов сложной технической системы более предпочтителен по совокупности ряда показателей. Приведён пример использования математического аппарата кластер - анализа к сравнению вариантов деревообрабатывающего оборудования.

Ключевые слова: кластерный анализ, дендрограмма, оборудование, технические характеристики

*Ekaterina V. Tronina*¹,
Student in the master's program,
*Sergej V. Kolesnichenko*²,
Doctor Cand. Tehn. of Sciences, Associate Professor

METHODS OF ASSESSMENT OF THE COMPARABILITY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS AND THEIR CHARACTERISTICS

Saint Petersburg, Saint Petersburg mining university

¹troninaev@bk.ru; ²serjkop@yandex.ru

Abstract. The results of using the method of multivariate hierarchical classification. This method allows you to reasonably decide which of the variants of complex technical system is preferred by the aggregate number of indicators. An example of the use of the mathematical apparatus of the cluster - analysis to compare woodworking equipment options.

Keywords: Cluster analysis, dendrogram, equipment, characteristics

Большинству предприятий приходится решать ряд важных вопросов относительно его технического и технологического оснащения.

Сегодня существует большой выбор деревообрабатывающего оборудования от бытовых деревообрабатывающих станков до промышленных, используемых на предприятиях. Как правило, деревообрабатывающие станки подходят для обработки древесины любых пород.

От удачного выбора деревообрабатывающего оборудования зависит прибыльность и конкурентоспособность предприятия.

Рынок деревообрабатывающего оборудования широк и предоставляет большой выбор станков.

Пилорама – основной вид деревообрабатывающей техники.

Ленточные и дисковые пилорамы, как правило, применяются для переработки круглого леса на различные пиломатериалы: шпалы, брус и доски. Стоит отметить, что ленточная пилорама перерабатывает все виды древесины без каких - либо исключений. Эксперты отмечают, что отечественное оборудование гораздо предпочтительнее импортных аналогов. Это связано с тем, что наше оборудование представлено в очень широком ассортименте, к нему довольно легко приобрести запчасти и заменить деталь. Оно без проблем может использоваться вместе с импортными инструментами. Его стоимость в несколько раз ниже импортного. В то же время импортные модели инструмента для деревообработки (фрезы и пилы) намного выигрывают перед нашими аналогами.

В настоящее время имеется определенный набор методов сравнения вариантов образцов сложных систем (проектов) и оценки их качества. Однако трудности, встречающиеся при их использовании, заставляют искать новые подходы, учитывающие специфику задач сравнения, которая может заключаться в особенностях постановки задачи, например: в обосновании функционально однородных групп сравнения альтернативных образцов сложных технических систем (СТС) и в сравнении однотипных существующих образцов техники (отечественных и зарубежных) [1, 2].

При сравнении вариантов сложной технической системы (образца техники, проекта) часто требуется принимать решение о том, какой из вариантов более предпочтителен по совокупности ряда показателей. В качестве метода сравнения и оценки предлагается использовать математический аппарат одного из подходов кластер-анализа - метода многомерной иерархической классификации [2, 3]. Данный метод позволяет: определить наиболее значимые (близкие) характеристики; на основе их разбить исходную совокупность систем (образцов, проектов) на группы; сделать выводы (рекомендации) и наиболее предпочтительном варианте (нескольких альтернативных вариантах).

Алгоритм решения предполагает следующие этапы:

1. Представление исходной матрицы «объект-свойство» в виде нормированной матрицы $\|z_{ij}\|$.

Для этого по формуле (1) вычисляется математическое ожидание каждой из характеристик объекта:

$$\tilde{m}_{xj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}, \quad (1)$$

а также величину среднего квадратического отклонения по формуле (2)

$$\tilde{G}_{xj} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \tilde{m}_{ij})^2}. \quad (2)$$

Каждый элемент матрицы $\|z_{ij}\|$ определяется исходя из выражения (3)

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \tilde{m}_{ij}}{\tilde{G}_{xj}}. \quad (3)$$

2. Расчет весовых коэффициентов (потенциалов) характеристик объектов. Данное действие выполняется в предположении того, что в качестве меры близости предлагается использовать «взвешенное» Евклидово расстояние. Потенциалы характеристик предлагается определять, используя выражение (4)

$$\omega_j = \frac{\tilde{G}_j}{\sum_{j=1}^m \tilde{G}_j} . \quad (4)$$

Здесь же необходимо проверить выполнимость условия (5)

$$\sum_{j=1}^m \omega_j = 1 . \quad (5)$$

3. Расчет «взвешенного» Евклидова расстояния по формуле (6)

$$d_{ik}^2 = \sum_{j=1}^m (x_i^{(j)} - x_k^{(j)})^2 \cdot \omega_j , \quad (6)$$

где d_{ik} – расстояние (суммарное) между объектами i и k ; $x_i^{(j)}$ - j -я характеристика i -го объекта; $x_k^{(j)}$ - j -я характеристика k -го объекта.

4. Пошаговое выделение кластеров (классов).

На каждой итерации определяется величина D_{min} , которая равно какому-то из d_{pq} . Затем выполняется объединение классов p и q в один (новый) кластер, которому присваивается имя s . Для этого используются следующие зависимости

$$d_{rs}^2 = d_p^2 d_{ps}^2 + d_q^2 d_{qs}^2 , \quad (7)$$

$$d_p = \frac{m_p}{m_p + m_q} , d_q = \frac{m_q}{m_p + m_q} , \quad (8)$$

где d_p, d_q – средневзвешенные меры близости; m_p – количество элементов в кластере p ; m_q – количество элементов в кластере q .

5. Графическое представление результатов многомерного сравнения вариантов целесообразно выполнять в виде графа иерархии (дендрограммы).

В качестве примера приведены данные сравнения вариантов деревообрабатывающего оборудования, а именно: R_1 – пилорама МГ-6500М (страна производитель - Россия), R_2 – пилорама WALTER TTPP-450/550 (страна производитель – Польша), R_3 – пилорама ЦДС 80-63 (страна производитель - Россия), R_4 – пилорама Р63-Б (страна производитель - Россия), R_5 – пилорама RM-1000 (страна производитель – Италия), R_6 – SLIDETEK (страна производитель – Финляндия) и R_7 – пилорама Sega Alpina KE90 (страна производитель – Германия), по следующим характеристикам: X_1 – диаметр бревна (м), X_2 – длина бревна (м) и X_3 – производительность (м³/смена). В качестве эталона представлен вариант № 6. Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнимые варианты и их характеристики

Характеристика	Варианты						
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7
X_1	0,65	1	0,55	0,53	1,2	0,56	0,9
X_2	6,5	6,2	6,5	7,5	6,5	9	6
X_3	12	20	15	10	15	24	18

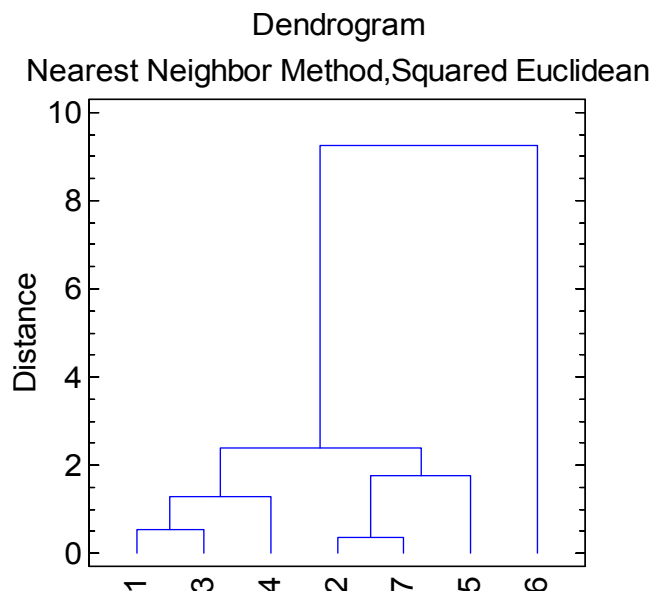
В результате решения получен кортеж предпочтений в порядке убывания приоритета (взвешенной меры близости к эталону) для всех возможных вариантов оборудования.

$$P = \{ R_6 > R_5 > R_4 > R_1 \sim R_3 > R_2 \sim R_7 \}.$$

Графическое изображение результатов многомерного сравнения в виде графа иерархии (дендрограммы) представлено на рисунке 1.

Лучшим по указанной совокупности показателей качества является вариант № 5.

Хотелось бы отметить значимость построения на плоскости данного графа классификации. Изучая различные изображения, согласованные со структурой этого графа, можно получить ряд дополнительных косвенных результатов об исследуемом множестве объектов (например, при обосновании аналога или прототипа, а также при выявлении наиболее оптимальных альтернативных решений).



Рис/ 1. Граф результатов многомерного сравнения вариантов СТС (по оси ординат отложены значения меры близости систем между собой и по отношению к эталону - системе № 6).

Таким образом, использование предлагаемого математического аппарата кластер - анализа к сравнению систем (объектов, проектов) и выбору оптимального для конкретных условий обстановки позволяет лицу, принимающему решение, быть более объективным в оценке и выборе при решении прикладных исследовательских задач.

Список литературы

1. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С. и др. Прикладная статистика: классификация и размерности. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
2. Колесниченко С.В., Голик Е.С., Клавдиев А.А. Обоснование подходов по оценке качества сложных технических систем. //Труды Российско-Польской конференции «Анализ, прогнозирование и управление в сложных системах». – СПб.: СЗТУ, 2003. – 392 с.
3. Колесниченко, С.В. Обоснование алгоритмов многомерного параметрического прогнозирования облика сложных технических систем на основе методов классификации / С.В. Колесниченко // Доклады АВН, выпуск № 9, 2003. – Саратов: СГТУ, 2003. – С. 64 – 69.
4. Колесниченко, С.В. Исследование подходов по оценке качества сложных технических систем на различных стадиях разработки / С.В. Колесниченко // Записки Горного института, Том 208, 2014. – СПб.: НМСУ «Горный», 2014. – С.244–248.
5. Колесниченко С.В., Тренина Е.В., Угарова Т.В. Особенности применения методов иерархической классификации при исследовании сложных систем.// Сборник трудов III МНПК «Инновации на транспорте и в машиностроении». – СПб.: НМСУ «Горный», 2015. – С.78–82.

УДК 656.1.

Керимов Мухтар Ахмиевич,

Д-р техн. наук, профессор, профессор

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ФОТОВИДЕОФИКСАЦИИ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ПРАВОНАРУШЕНИЙ В ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ

Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный аграрный
университет
martan-rs@yandex.ru

Аннотация. В статье предложены рекомендации по повышению эффективности функционирования технических средств контроля дорожного движения работающих в автоматическом режиме, которые

позволят обеспечить снижение дорожно-транспортной аварийности на муниципальном и региональном уровнях.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, средства автоматической фотовидеофиксации, нарушений правил дорожного движения (ПДД), аварийность.

Mukhtar A. Kerimov,
Doctor of Engineering Science, Professor

IMPROVING THE EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF THE SYSTEM OF PHOTO AND VIDEO FIXATION OF ADMINISTRATIVE OFFENSES IN ROAD TRAFFIC

Saint Petersburg, Saint Petersburg State Agrarian University,
martan-rs@yandex.ru

Abstract. In this paper propose a recommendations to improve the effectiveness of the technical means of traffic control in automatic mode, which will ensure reduction of accidents on the roads at the municipal and regional levels.

Keywords: road safety, means of auto-commit, traffic offenses, accident.

В условиях растущей автомобилизации особую актуальность приобретают вопросы безопасности дорожного движения (БДД). Практика показывает, что усилия должны быть направлены на развитие системы автоматической фотовидеофиксации (ФВФ) нарушений правил дорожного движения с целью обеспечения соответствующего уровня безопасности дорожного движения [1].

В настоящее время в европейских странах уже не приходится говорить о необходимости внедрения систем ФВФ. Эти системы уже вошли в подсознание широкой общественности, которая может видеть удачно реализованные проекты по снижению аварийности при увеличении общего количества транспорта.

Рассмотрим на основе модели функционирования системы ФВФ эффективность её влияния на обеспечение безопасности дорожного движения. На рисунке 1 изображена схема формирования эффективности систем ФВФ по обеспечению безопасности дорожного движения.



Рис. 1. Схема формирования эффективности системы ФВФ по обеспечению БДД

Эффективность системы ФВФ формируется на трех уровнях с учетом взаимодействия трех субъектов: государственных органов (с участием коммерческих структур), участников дорожного движения и технических средств автоматической фотовидеофиксации (САФ) нарушений правил дорожного движения. На первом уровне экономическая эффективность системы ФВФ будет определяться отношением эффекта ее работы к затратам. На втором и третьем уровнях эффективность системы определяется с учетом следующих критериев:

- в какой мере система удовлетворяет потребности государства в развитии экономики и повышении безопасности дорожного движения;
- в какой мере применение САФ влияет на уровень безопасности дорожного движения;
- каковы последствия функционирования системы ФВФ, выражающиеся во внешних издержках (с точки зрения экономических, социальных и экологических задач государства).

В целом эффективная работа системы ФВФ невозможна без обеспечения соответствующего уровня безопасности дорожного движения.

Для оценки эффективности работы программно-аппаратных комплексов первостепенное значение имеет выбор целевых показателей. Основным требованием при выборе показателя является его соответствие цели функционирования системы, которая отображается требуемым результатом — уровнем безопасности дорожного движения $P_{бдд}$. Функция соответствия $P(a)$ в некоторой шкале показывает степень достижения цели, а конкретный вид функции соответствия зависит от различных системообразующих факторов: цели функционирования системы, задач исследования и других факторов. Для описания соответствия реального ре-

зультата P требуемому формально вводят числовую функцию на множестве a результатов работы системы (функция соответствия)

Таким образом, в детерминированной постановке задачи показателем эффективности системы может служить функция соответствия (формула 1):

$$П(a) = c(P(a), P_{бдл}), \quad (1)$$

Для того чтобы функция $П(a)$ могла рассматриваться в качестве показателя эффективности (помимо соответствия цели функционирования системы), она должна удовлетворять требованиям содержательности, интерпретируемости, измеримости и соответствию системе управления. Соответствие системе управления обычно определяется отношением к различным ситуациям в условиях неопределенности (уровень риска), которое можно учесть введением специальной оценочной функции $f_p(c)$. С учетом этого показатель эффективности можно представить в виде следующей функции (формула 2):

$$П(a) = f_p(c(P(a), P_{бод})), \quad (2)$$

Если результат работы системы можно описать единственной величиной, то показатель эффективности будет скалярным параметром. Для описания соответствия реального результата $P_{бод}$ требуемому, необходимо использовать числовую функцию $P_{тр.}$. В противном случае вводят векторный показатель эффективности (формула 3):

$$П_i(a) = f_p(c_i(P_i(a), P_{три})), i = 1, m. \quad (3)$$

Введение векторного показателя эффективности целесообразно тогда, когда цель работы системы достигается решением нескольких задач. Эффективность решения каждой из указанных задач оценивается соответствующим частным показателем $П_i(a)$, но определить обобщенный показатель эффективности функционирования системы при этом не удастся.

Внедрение САФ обеспечивает наряду с повышением безопасности движения также и совершенствование существующей методики статистического учета ДТП, организации и управления дорожным движением. Требуемый результат формируется моделированием системы ФВФ до и после внедрения САФ. Сравнение требуемого результата и реально достигнутого, например, по снижению количества ДТП, позволяет оценить значение показателя эффективности.

Таким образом, с помощью анализа моделей установлены принципы оценки эффективности системы ФВФ. Определены основные эффекты, которые могут быть получены от внедрения САФ для бюджета, оператора и пользователя. Для оценки эффективности применения САФ с целью

повышения БДД необходимо иметь статистические данные по количеству и типам применяемых в регионах средств автоматической фиксации административных правонарушений в дорожном движении.

Исследования, проведенные в отдельных регионах РФ (г. Москва, Московская область, Республика Татарстан, Воронежская область, Саратовская область, Санкт-Петербург и Ленинградская область), позволили обосновать обобщенный критерий эффективной деятельности организаций и учреждений, обеспечивающих функционирование систем ФВФ нарушений ПДД, – уровень БДД. Данный критерий реализуется на основе разработанных методик, полученных математических моделей с учетом влияния системообразующих факторов (в том числе условий функционирования систем ФВФ) на дорожно-транспортную безопасность.

Полученные в ходе исследований результаты функционирования средств автоматической фотовидеофиксации нарушений ПДД свидетельствует о системном влиянии указанных комплексов на уровень безопасности дорожного движения в исследуемых регионах.

Список литературы

1. Керимов М. А., Сафиуллин Р. Н. Средства фотовидеофиксации нарушений ПДД: нормативное регулирование и практика применения. М., Берлин: Директ-Медиа, 2016. – 355 с.

2. М. А. Керимов, Р. Н. Сафиуллин, И. О. Черняев, А. В. Марусин. Методологические основы выбора средств автоматической фиксации нарушений ПДД // «Известия Тульского государственного университета» Всероссийская заочная научно-техническая конференция «Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта». 2015 г. Ч.1 – с. 107-110.

3. Черняев И.О., Керимов М.А., Сафиуллин Р.Н., Марусин А.В. Анализ эффективности применения систем автоматической фиксации нарушений ПДД / Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов III международной научно-практической конференции. Том 1 – СПб; Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – с. 135-138.

Секция 3
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ И
БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 303.732:658.562

Золоторев Виктор Николаевич,
д.г.н., профессор, профессор кафедры,
Цевовальникова Наталья Андреевна ,
магистр,
Менжулин Андрей Альбертович,
магистр

К ВОПРОСУ О СИСТЕМНОМ ПОДХОДЕ К УПРАВЛЕНИЮ
КАЧЕСТВОМ

Воронеж, Воронежский Технический Университет,
678cevovalnats@mail.ru

Аннотация: В работе рассматривается системный подход к управлению качеством на предприятии. Система управления функционирует при наличии критериев и показателей, поэтому их определению на предприятии должно уделяться большое внимание. В работе предлагаются модели процесса системного подхода к управлению качеством продукции в рыночных условиях. В заключении предложены основные направления развития системного подхода к управлению качеством для отечественных предприятий.

Ключевые слова: системный подход, управление качеством, модель процесса системного подхода, рыночные условия, объект и субъект управления, система качества.

Viktor N. Zolotorev,
Sc. Professor, Professor of the Department,
Natalia A. Tsevovalnikova,
Master,
Andrew A. Menzhulin,
Master

TO THE QUESTION OF SYSTEM APPROACH TO QUALITY
MANAGEMENT

Voronezh, Voronezh State Technical University, 678cevovalnats@mail.ru

Abstract. The paper discusses a systematic approach to quality management in the enterprise. The control system operates in the presence of criteria and indicators, so their definition of the enterprise should be given great attention. This work proposes a process model of a systematic approach to managing product quality in a market environment. In conclusion, the proposed main directions of development of system approach to quality management for domestic enterprises.

Keywords: systematic approach, quality management, process model, system approach, market conditions, object and subject control, quality system.

Необходимость формирования системного подхода к управлению качеством была фактически осознана к середине 60-х годов нашего столетия, когда все явственнее стало ощущаться, что сам по себе контроль качества даже при всемерном его усилении, расширении масштабов, увеличении числа объектов и участников не может существенным образом изменить состояние дел в лучшую сторону. Усиление контроля не могло дать ответа на вопросы о том, как учитывать мнение возможных потребителей, характер их запросов; какие требования к качеству предъявляются техническим и социальным прогрессом, что должны делать для улучшения качества и своевременного обновления продукции отдельные подразделения предприятий. А именно эти вопросы все чаще возникали перед теми, кто занимался качеством.

Именно в данный период начинает реализоваться важнейшая, по нашему мнению, тенденция, связанная со становлением и все более широким использованием системного подхода к управлению качеством. Первой попыткой использования системного подхода к управлению качеством в нашей стране считают разработку и внедрение в 1955 году на предприятиях Саратовской области, и прежде всего на Саратовском авиационном заводе, системы бездефектного проектирования и изготовления промышленных изделий и сдачи их отделу технического контроля (ОТК) с первого предъявления – системы БИП. На ее основе, на предприятиях Львовской области была разработана система бездефектного труда (СБТ). Вслед за этим появилась горьковская система КАНАРСПИ (качество, надежность, ресурс с первых изделий), получившая дальнейшее развитие на Ярославском моторном заводе (позднее объединение «Автодизель»). В 1963 году здесь была разработана и внедрена система НОРМ (научная организация работ по увеличению моторесурса). И, наконец, с 1972 года на предприятиях страны начинают разрабатываться и внедряться комплексные системы управления качеством (КСУКП). Эта тенденция заключается в том, что работы по качеству в своей совокупности неуклонно, объективно, естественным образом стали преобразо-

вываться (на настоящий момент уже преобразовались) в специфическую функцию организации и управления производством. Данное положение, на наш взгляд, требует более подробного рассмотрения.

Система качества является целевой подсистемой управления организацией. Согласно ИСО система качества – совокупность организационной структуры, методик, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления общего руководства качеством. При управлении качеством важны те аспекты общей функции управления, которые, обуславливая конкурентоспособность фирмы, определяют политику в области качества, цели и ответственность, а также осуществляют их с помощью таких средств, как планирование и управление качеством, обеспечение и улучшение его в рамках системы качества. Управление качеством продукции (услуги), как и всякое управление, заключается в выработке управляющих решений и их реализации. Система управления качеством продукции является вероятностной. Следовательно, взаимодействие её составных элементов не может быть точно предопределено, так как изменение воздействия факторов, влияющих на качество продукции, заранее предопределить трудно. Система управления функционирует при наличии критериев и показателей, поэтому их определению уделяется большое внимание. Особенно при сертификации продукции. Непосредственными объектами менеджмента при управлении качеством продукции (услуги) являются процессы, обуславливающие необходимый уровень качества, протекающие на допроизводственной и производственной стадиях ее создания, а также на после производственных стадиях ее существования. В зависимости от того, соблюдаются ли требования программы управления или имеют место недопустимые отклонения от этих требований, управляющие воздействия должны направляться соответственно на сохранение фактического состояния управляемого процесса или на изменение (корректирование) этого состояния. Система управления качеством продукции (услуги) должна предусматривать комплекс взаимоувязанных организационных, технических, экономических и социальных мероприятий по обеспечению целей управления качеством продукции, основной из которых является обеспечение конкурентоспособности фирмы. Система управления качеством охватывает коллективы людей, технические устройства и потоки информации. Системный подход к вопросам управления производством (предприятием) требует рассматривать систему управления качеством как неотъемлемую, а не автономную часть управления предприятиями. Поэтому управление качеством продукции (услуги) на уровне предприятия не может быть организационно изолировано от производственного менеджмента. В условиях кризиса на современном этапе потребность на рынке возрастает на более дешевую продукцию, поэтому система управ-

ления качеством должна гибко реагировать на реальный рыночный спрос. В связи с этим, для обеспечения конкурентоспособности, обосновывая целесообразность производства продукции, фирме необходимо ориентироваться на потребительские ценности и, прежде всего на качество и цену продукции. Успех любой фирмы в значительной мере определяется качеством и стоимостью продукции (услуг). Для того чтобы добиться успеха в своей деятельности, фирма должна обеспечить конкурентоспособные качество и цены своих товаров. Более дешевая продукция, как правило, более низкого качества. Стремясь снизить цену производителю необходимо учитывать, что уровень качества продукции должен соответствовать требованиям нормативно-технической документации (НТД). Более низкая цена продукции при одинаковом уровне качества обеспечивает фирме повышение конкурентоспособности.

Системный подход к управлению качеством в настоящее время предусматривает функционирование системы качества, направленное на реализацию политики в области качества посредством осуществления основных управленческих функций на различных стадиях жизненного цикла объекта управления в этой системе. Важнейшей составляющей данного подхода является устойчивость функционирования системы управления качеством.

Устойчивость – это обобщающее понятие, которое складывается из большой группы факторов, непосредственно на нее влияющих. Потеря устойчивости в общем случае может произойти из-за изменения параметров системы (в точке бифуркации), из-за наличия не предусмотренных при создании системы воздействий внешней среды, либо из-за нарушения связей в системе, когда меняется ее структура.

Согласно всем вышеперечисленным методам и конкретным подходам предприятием необходимо управлять целостно, то есть системно, но с учетом конкретной ситуации. Системный подход обуславливает создание на каждом предприятии гибкой системы менеджмента, которая включает определенный состав подсистем.

Система управления качеством, как и другие системы управления, имеет объект и субъект. Немаловажное значение в развитии теории системного подхода к управлению качеством имеет трактовка этих понятий. Абстрагируемся от воздействия факторов внешней среды на деятельность предприятия в целом и системы управления качеством в частности, исключим также внутреннее воздействие на систему управления качеством со стороны других подсистем в рамках системы управления предприятием. Общая модель системы управления качеством в таком случае может быть представлена рис.1

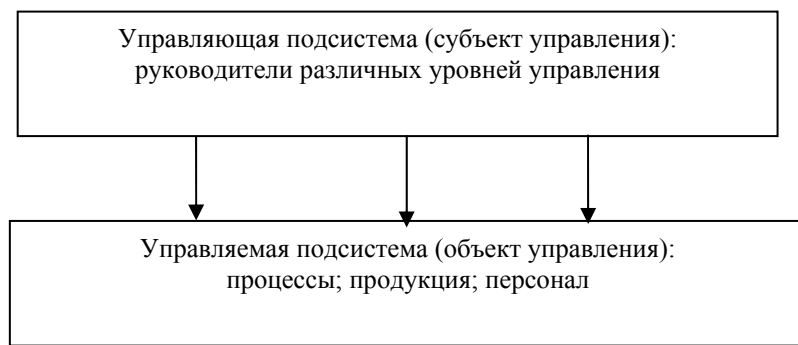


Рис.1 Общая модель системы управления качеством на предприятии

Приведенная модель, по нашему мнению, отражает основные составляющие системы управления качеством, а именно, управляющую и управляемую подсистемы (субъект и объект управления). Субъектом управления являются руководители различных уровней, осуществляющие управление качеством на соответствующем уровне. Объектами управления выступают процессы, преобразующие исходные ресурсы в конечные результаты деятельности (производственный процесс, технологические процессы и др.); продукция как конечный результат деятельности предприятия; персонал в лице, как отдельных исполнителей, так и отдельных структурных подразделений, реализующих определенные функции в системе управления качеством.

Взаимодействие между субъектом и объектом управления в системе управления качеством осуществляется, с одной стороны, в ходе реализации управляющего воздействия субъекта на объект управления путем принятия определенных управленческих решений в области качества, с другой стороны, посредством механизма обратной связи, благодаря которому субъект управления получает информацию о реализации принятых управленческих решений, а также о функционировании объекта, о его соответствии задаваемым параметрам.

Таким образом, управляющая и управляемая подсистемы представляют собой составные части системы, взаимодействующие друг с другом и взаимовлияющие друг на друга, что обеспечивает единство в рамках системы управления качеством.

На основании проведенных исследований предложена следующая модель процесса системного подхода к управлению качеством продукции в рыночных условиях.

На первом этапе, на основании анализа результатов мониторинга рынка, руководство принимает решение о целесообразности производства конкретной продукции. Уровень качества на этом этапе означает степень соответствия этой продукции потребительской ценности и внутренним технологическим условиям организации. Учитывая рыночный

спрос, фирма может планировать выпуск продукции разного уровня качества (соответственно разный ценовой ассортимент). При этом необходимо учитывать совокупный спрос, т. е. суммарный спрос на весь ассортимент продукции, производимой фирмой. Суммарный спрос обуславливает загруженность производственной системы.

Если технико-технологические условия организации соответствуют требуемому уровню качества подготавливаемой к выпуску продукции — формируется процесс производства продукции. При этом необходимо определять минимальный объём производства (точку безубыточности) соответственно для продукции каждого уровня качества. Если существующие технические условия не соответствуют требованиям по обеспечению заданного уровня качества новой продукции – производится технологическая подготовка и соответствующая реструктуризация производства.

После этого организовывается процесс производства. Для планирования агрегированного выпуска продукции требуется принять решение о том, как эксплуатировать систему в зависимости от изменения рыночного спроса на выпускаемый фирмой ассортимент продукции. Переменными величинами при принятии решения являются объём производства и численность персонала на соответствующий период времени. В процессе производства осуществляется контроль качества продукции.

Управление процессом качества включает в себя измерение выхода (на соответствующих этапах производственного процесса), сопоставление его с установленными стандартами (требованиями НТД), принятие при необходимости корректирующих мер. Если выявленные дефекты исправимы (с учётом экономической целесообразности) — производится их устранение. Основные элементы пригодности продукции (товара), определяемые технической характеристикой изделия, называют качеством конструкции. При усовершенствовании качества конструкции, как правило, возрастает стоимость продукции. Поэтому, поэтому для обеспечения конкурентоспособности фирмы, вопросы реструктуризации производства необходимо соотносить с рыночным спросом на конкретную продукцию (её уровень качества). На основании анализа информации, полученной в процессе управления качеством и с учётом рыночной конъюнктуры, разрабатываются мероприятия по повышению (корректировке) качества продукции и долгосрочные планы по качеству.

Таким образом, с учетом опыта развития системного подхода к управлению качеством в зарубежных промышленных странах для отечественных предприятий можно предложить к внедрению на предприятиях следующие основные направления развития в этой области:

- внедрение систем качества, соответствующих требованиям МС ИСО серии 9000;

- активное осуществление процесса сертификации внедренных систем качества, соответствующих МС ИСО серии 9000;
- сближение требований многочисленных отраслевых и региональных систем стандартизации и осуществление гармонизации разнообразных требований к системам управления качеством благодаря МС ИСО серии 9000;
- переход от сертифицированных систем качества к тотальному менеджменту качества.

В заключении следует отметить что, система управления качеством обеспечивает согласованную работу всех структур, действующих в организации, и включает эффективные технические и управленческие методы, обуславливающие наиболее практичные способы взаимодействия людей, машин, а также информации с целью удовлетворения запросов потребителей, к качеству продукции, а также экономии расходов на качество.

Система качества должна учитывать особенности предприятия, обеспечивая минимизацию затрат на разработку продукции и ее внедрение.

Список литературы:

1. Арутюнян Э.А., Белоусов В.Е., Крахт Л.Н. О задаче анализа состояний сложных систем с использованием экспертной информации - Вестник Воронежского госуд. технического университета, Том 6 № 8, 2010г. С.171-175
2. Баркалов С.А. Теория и практика управления качеством в социально-экономических системах [Текст]: Монография / С.А. Баркалов, В.Е. Белоусов, Л.Р. Маилян; пд ред. В.Н. Буркова . - Воронеж: Издательство "Научная книга", 2013. - 580 с.
3. Белоусов В.Е., Крахт Л.Н., Поцбнева И.В. Модель построения оптимальной структуры бизнес-процессов в системе организационного управления - ВЕСТНИК Воронежского госуд. технического университета Том 7 № 1, 2011г. С. 195-198
4. Золоторев В.Н., Мещеряков С.О., Менжулин А.А., Цевовальникова Н.А. Стратегическое планирование качества [Текст]: сборник научных трудов Международной молодежной научно-практической конференции(17-18 ноября 2015 г.)/редкол: Павлов Е.В.(отв.ред.);В 2-х томах, Т.1., Юго-Зап. Гос. ун-т., ЗАО «Университетская книга», Курск
5. Саати Т., Керис К. Аналитическое планирование. Организация систем: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.ил.- ISBN 5-256-00380-1

Зибров Геннадий Васильевич.

Доктор педагогических наук, профессор

Умывакин Василий Митрофанович

Доктор географических наук, старший научный сотрудник

Швец Алексей Владимирович.

мл. науч. сотр.

**МНОВОВАРИАНТНОЕ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ РИСКА
НЕВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

г. Воронеж, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.Жуковского и
Ю.А.Гагарина» (г. Воронеж), umyvakin@mail.ru

Аннотация: В статье предлагается методический аппарат многовариантного квалиметрического моделирования нелинейных частных и интегральной оценок риска невыполнения требований к качеству окружающей среды эколого-хозяйственных геообъектов в условиях интенсивной хозяйственной и иной деятельности.

Ключевые слова: эколого-хозяйственный геообъект, дерево качеств окружающей среды, квалиметрические модели оценки, программная реализация.

Gennady V. Zibrov

Doctor of Education, professor

Vasily M. Umyvakin

Doctor of Geography, Senior Scientific Researcher

Alexey V. Shvets

Junior Researcher

**MULTIVARIATE KVALIMETRICHESKOJ MODELING
INTEGRATED RISK ASSESSMENT FAILURE TO QUALITY
ENVIRONMENT**

Voronezh. Military Educational and Scientific Center of the Air Force «The
Air Force Academy named after Professor Zhukovsky and Yuri Gagarin
umyvakin@mail.ru

Abstract. In the article the methodical device kvalimetricheskogo multivariate modeling of nonlinear integral private and non-compliance to the environmental quality of the risk assessment process of ecological and

economic geoobjects under intense economic and other activities

Keywords: kologo-economic geoobjects, wood quality of the environment, their qualitative assessment model, software implementation.

В настоящее время для оценки и управления качеством окружающей среды (ОС) сложных эколого-хозяйственных геообъектов в основном применяются индексы (интегральные оценки) типа «средних величин»: средневзвешенная арифметическая и средневзвешенная геометрическая. Эти оценки обладают определенными недостатками [2-3]. В частности, они не имеют вероятностную интерпретацию, необходимую для формализации понятий «экологическая опасность» и «экологический риск». В Федеральном законе РФ от 02.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» экологический риск определяется как «вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для природной среды и вызванного негативным воздействием хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайными ситуациями природного и антропогенного характера».

Поэтому, требуется поиск вероятностно-квалиметрического подхода к построению интегральной оценки экологического состояния антропогенно-измененных территорий типа «риск невыполнения требований к качеству ОС геообъектов» (рисунок 1).

1. Разработка семантической модели задачи построения интегральной квалиметрической оценки ОС геообъектов
1.1. Формирование списка анализируемых геообъектов
1.2. Построение иерархической структуры («дерева») качеств ОС
1.3. Определение списка частных натуральных ПК геообъектов
1.4. Обоснование и описание шкал измерений ПК
2. Построение интегральной квалиметрической оценки ОС геообъектов
2.1. Построение матрицы исходных данных (таблицы типа «геообъект – ПК»)
2.2. Определение интервала изменения ПК
2.3. Задание пороговых (предельно допустимых) значений ПК
2.4. Построение частных абсолютных оценок качества ОС геообъектов и определение нормативных уровней качества ОС
2.5. Расчет частных относительных квалиметрических оценок ОС геообъектов
2.6. Определение весовых коэффициентов частных относительных квалиметрических оценок ОС геообъектов
2.7. Построение интегральной оценки риска невыполнения требований к качеству ОС геообъектов

Рис.1. Основные этапы автоматизированной технологии построения интегральной квалиметрической оценки ОС геообъектов

Пусть имеется список анализируемых геообъектов, качество ОС которых рассматривается как система с иерархической структурой и пред-

ставляется в виде «дерева» (иерархии) качеств природных компонентов [1]. Нижний уровень «дерева» качеств ОС содержит определенный набор натуральных частных показателей качества (ПК). Обозначим через y_j^i значение j -го частного ПК для i -го геообъекта, $j=1, 2, \dots, m; i=1, 2, \dots, N$. Методика построения интегральной квалиметрической оценки ОС геообъектов основана на использовании следующей нормативно-экспертной информации: $[y_j^{min}, y_j^{max}]$ – интервала изменения j -го ПК; y_j^* – предельно допустимого (порогового) значения j -го ПК для всех геообъектов; λ_j – весовых коэффициенты частных ПК, удовлетворяющих условию нормировки:

$$\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j=1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

Будем считать, что качество ОС по j -му ПК для i -го геообъекта соответствует нормативным экологическим требованиям, если выполняется условие $y_j^i \leq y_j^*, j=1, 2, \dots, m$.

Одним из ключевых этапов построения интегральной квалиметрической оценки ОС геообъектов является выбор способа перехода от значений y_j^i и y_j^* к двум безразмерным величинам: $\mu_j^i = \mu_j^i(y_j^i)$ – частной абсолютной оценке качества ОС по j -му ПК для i -го геообъекта и $\varepsilon_j = \varepsilon_j(y_j^*)$ – нормативному уровню качества ОС, соответствующему предельно допустимому значению y_j^* j -го ПК для всех геообъектов.

Преобразование ПК в частные абсолютные оценки качества ОС геообъектов может осуществляться различными способами, например:

$$\mu_j^i = y_j^{min} / y_j^i, \quad (2)$$

$$\mu_j^i = [(y_j^{max} - y_j^i) / (y_j^{max} - y_j^{min})]^\alpha, \quad (3)$$

где y_j^{min}, y_j^{max} – соответственно минимальное и максимальное значения j -го ПК.

При $\alpha=1$ имеем линейное преобразование, при $\alpha \neq 1$ – нелинейное (рис.2).



Рисунок 2 – Возможные варианты частной абсолютной оценки качества ОС геообъектов

Рис. 2

Введенные в рассмотрение величины μ_j и ε_j для j -го частного ПК геообъектов в дальнейшем «агрегируются» в j -й частной нелинейной относительной квалиметрической оценке d_j^i (рисунок 3) по следующей формуле:

$$d_j^i = \left[\frac{\varepsilon_j(1 - \mu_j^i)}{\mu_j^i(1 - \varepsilon_j)} \right]^\beta, \quad (4)$$

где β – показатель степени, определяющий степень нелинейности.

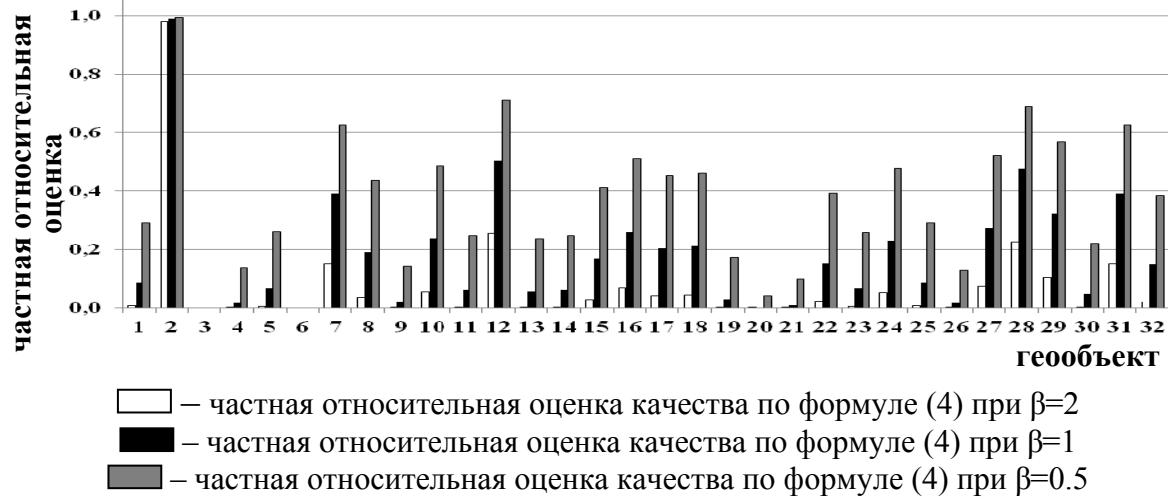


Рисунок 3 – Возможные варианты нелинейной частной относительной оценки риска недостижения требуемого качества ОС геообъектов

Рис. 3

Рассмотрим вероятностное обоснование формулы (4) при $\beta = 1$, следуя работам [2–3]. Пусть: A – событие, состоящее в том, что не выполнено требование к интегральному качеству ОС; B_j – событие, состоящее в том, что не выполнено требование к качеству ОС по j -му ПК для всех геообъектов; $\bar{B}_j$ – противоположное событие. Тогда $\mu_j = P(B_j | A)$ – вероятность некачественности ОС по j -му ПК всех геообъектов при условии, что требования к интегральному качеству ОС не выполнены; $\varepsilon_j = P(B_j)$ – вероятность некачественности ОС по j -му ПК всех геообъектов; $d_j = P(A | \bar{B}_j)$ – вероятность (риск) невыполнения требований к интегральному качеству ОС при условии, что требования к качеству ОС по j -му ПК выполнены.

Частные относительные квалиметрические оценки ОС геообъектов агрегируются в интегральную оценку типа «риск невыполнения требований к качеству ОС». При этом используется следующая формула [2-3]:

$$D = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j), \quad (5)$$

а с учетом неравноценности частных оценок d_j :

$$d = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j)^{\lambda_j} . \quad (6)$$

Величину D в формуле (5) можно интерпретировать как субъективную вероятность $P(A | \bar{B}_1 \bar{B}_2 \dots \bar{B}_m)$ недостижения требуемого интегрального качества ОС при условии выполнения требований к качеству ОС геообъектов по всем частным ПК [3].

Подчеркнем, что оценка d в формуле (6) является средней величиной по Коши [2], средневзвешенной «квазигеометрической» величиной в смысле ассоциативного среднего по А.Н. Колмогорову [2] и удовлетворяет системному принципу «ограниченной компенсации», т.е. условию невозможности улучшения значений некоторых частных ПК, за счет компенсации сколь угодно большого снижения качества ОС по другим частным показателям.

Можно показать [4], что имеют место следующие соотношения:

$$\left[1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j) \right] \geq \max_{j=1,2,\dots,m} d_j \geq \left[1 - \prod_{j=1}^m (1 - d_j)^{\lambda_j} \right] \geq \sum_{j=1}^m \lambda_j d_j \geq \prod_{j=1}^m d_j^{\lambda_j} \geq \min_{j=1,2,\dots,m} d_j .$$

Таким образом, средневзвешенное квазигеометрическое является оценкой «сверху» для средневзвешенного арифметического и средневзвешенного геометрического (рисунок 4) и является неаддитивным обобщенным критерием, имеющим системный смысл («целое не есть сумма частей его составляющих»).



Рис. 4. Различные варианты интегральной квалиметрической оценки типа «риск невыполнения требований к качеству ОС»

Для содержательной интерпретации результатов моделирования интегральной квалиметрической оценки ОС геообъектов предлагается использовать вербально-числовую шкалу Харрингтона [1] со следующими градациями: «очень низкий» (диапазон от 0.00 до 0.20); «низкий» (диапазон от 0.20 до 0.37); «средний» (диапазон от 0.37 до 0.63); «высокий» (диапазон от 0.63 до 0.80); «очень высокий» (диапазон от 0.80 до 1.00). Отметим, что точка 0.63 является «единичным» элементом в алгебре частных относительных квалиметрических оценок d_j [2].

На рисунке 5 приведена структурная схема основных модулей программы построения интегральной квалиметрической оценки ОС геообъектов. Модульность программы позволяет абстрагироваться от привязки UI части к вычислительной, так как автономность модулей позволяет выполнять модификацию их реализаций без нарушения функциональности.

Модуль File Worker обеспечивает работу с XML и Excel-файлами. Paired Comparisons – модуль, реализующий метод парных сравнений. Integral Assessment – модуль, предоставляющий функционал для построения квалиметрической интегральной оценки ОС геообъектов. Модуль Quality Indicator представляет класс QualityIndicator, описывающий дерево качеств ОС геообъектов. WPF Application – главный модуль. Shared Data – это «обменник данных», представляющий собой статический класс со статическими public свойствами и хранит данные, к которым имеют доступ все модули программы для обеспечения связности данных в рамках приложения.

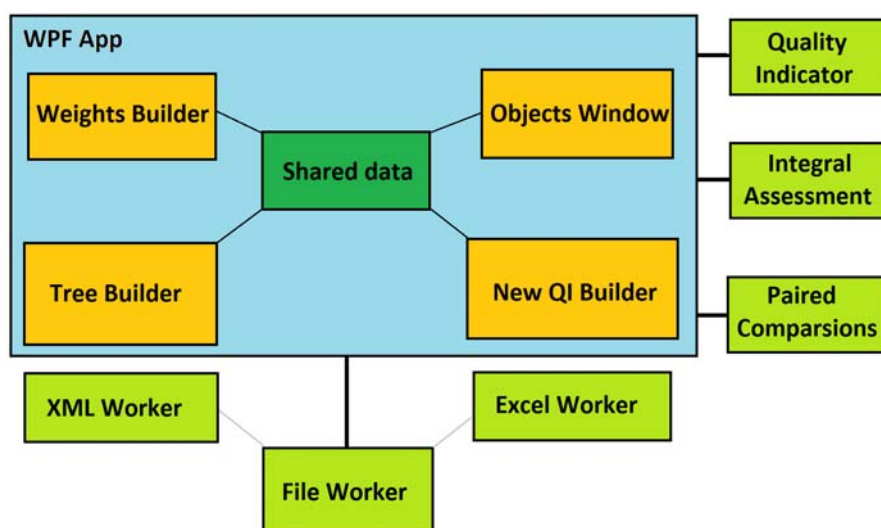


Рис. 5. Основные модули программы построения интегральных квалиметрических оценок ОС геообъектов

Tree Builder – графический интерфейс построения, загрузки, редактирования и сохранения дерева качеств ОС геообъектов. Weights Builder

– окно настройки весовых коэффициентов фрагмента дерева качеств. New QI Builder – модуль добавления (редактирования) нового (ранее добавленного) частного натурального ПК, представляющий собой форму для ввода наименования, единицы измерения, интервала изменения, предельно допустимого значения ПК. Objects Window – модуль для формирования матрицы исходных данных (таблицы типа «геообъект–ПК»). Для взаимосвязи с Microsoft Excel предусмотрен импорт / экспорт матрицы исходных данных.

Список литературы

1. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалиметрии. М.: Изд-во стандартов, 1973. 172 с.
2. Зибров Г.В., Умывакин В.М., Швец А.В. Квалиметрические модели вербально-числового анализа экологической опасности территорий природно-хозяйственных геосистем // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Системный анализ и информационные технологии. 2013. № 1. С. 112-118.
3. Каплинский А.И., Руссман И.Б., Умывакин В.М. Моделирование и алгоритмизация слабоформализованных задач выбора наилучших вариантов системы. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1991. 168с.
4. Михайлов В.В., Умывакин В.М., Швец А.В. Качественные оценки природно-хозяйственных геосистем в классе средневзвешенных величин // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. тр. XVII междунар. науч.-практ. конф.; СПб., 1-3 июля 2013 г. / С.-Петерб. гос. политехн. ун-т. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. Ч.1. С.123-128.

УДК 378.4

Бугакова Нина Юрьевна
Д-р пед. наук., профессор

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

г. Калининград, ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
bugakova@klgtu.ru

Аннотация. В основу интегральной модели подготовки кадров для рыбной отрасли заложены критерии качества инженерного образования и аккредитации образовательных программ в вузах. Данные критерии акцентируются на оценку и анализ удовлетворенности заинтересованных сторон. Основными методами исследования системы управления качест-

вом подготовки кадров для рыбной отрасли являются методы изучения документов, тестирования, экспертных оценок, социологических опросов, наблюдения, описания, моделирования.

Ключевые слова: интегральная модель подготовки, критерии качества инженерного образования, система управления качеством подготовки кадров.

UDC 378.4

Nina Yu. Bugakova

Doctor of pedagogical sciences, professor

METHODS OF RESEARCH OF THE CONTROL SYSTEM OF QUALITY OF THE HIGHER EDUCATION IN TECHNICAL UNIVERSITY

Kaliningrad, The Kaliningrad state technical university,
bugakova@klgtu.ru

Annotation. In a basis of integrated model of training for fish branch criteria of quality of engineering education and accreditation of educational programs in higher education institutions are put. These criteria are accented on an assessment and the analysis of satisfaction of interested parties. The main methods of research of a control system of quality of training of shots for fish branch are methods of studying of documents, testings, expert estimates, sociological polls, supervision, the description, modeling.

Keywords: integrated model of preparation, criteria of quality of engineering education, control system of quality of training of shots.

Высшее образование в настоящее время ориентировано не только на федеральные государственные стандарты, но и на профессиональные стандарты. ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» разработал интегральную модель подготовки кадров для рыбной отрасли, которая выражает функциональную, ролевую структуру взаимодействия «студент – вуз - работодатель» в процесс профессиональной независимой оценки качества обучения.

Анализ подходов к обеспечению качества подготовки убедил университет в эффективности опыта международной организации по стандартизации ISO, которая регламентирует стандартами процессы оценки соответствия системы менеджмента организации, требованиям профессиональных стандартов и качеству программ, на соответствие федеральным государственным образовательным стандартам высшего образования [3, С.164].

Таблица 1

Интегральная модель подготовки кадров для рыбной отрасли

Уровни:		Функции на уровнях:
1. Управление на уровне отрасли региона.	- Федеральное агентство по рыболовству; - Совет при Губернаторе; - Территориальный орган в регионе по рыбной отрасли.	1. Создание системы подготовки кадров для рыбной отрасли региона: определение стратегии развития; принятие профессиональных стандартов.
2. Управление на уровне вуза.	<u>ВУЗ:</u> - учебно-методическое объединение; - учебно-методический совет; - отдел системы менеджмента качества; - отдел сертификации.	2. Создание системы подготовки кадров в вузе: система квалификаций, адаптация ФГОС ВО к профессиональным стандартам; сертификация квалификаций; введение реестра.
3. Управление на уровне работодателя.	- совет директоров; - отделы кадров; - методические центры по оценке качества подготовки кадров.	3. Создание системы подготовки кадров на предприятиях рыбной отрасли: взаимодействие с вузами по разработке профессиональных стандартов; участие в сертификации, адаптации, разработке реестра.

В основу интегральной модели подготовки кадров для рыбной отрасли заложены критерии качества инженерного образования и аккредитации образовательных программ в вузах. Данные критерии акцентируются на оценку и анализ удовлетворенности заинтересованных сторон.

В таблице 1 представлена трехуровневая интегральная модель подготовки кадров для рыбной отрасли: управление на уровне отрасли региона, вуза, работодателя. Цели системы, ее структура и элементы, полномочия и ответственность участников, порядок их взаимодействия определяются Положением о системе оценки качества профессионального образования на трех уровнях. Состав советов сформирован из числа квалифицированных специалистов рыбной отрасли и профессорско-преподавательского состава вуза. Причем на уровне отрасли региона – это руководящий состав отрасли, региона, вуза.

В Положении о системе оценки качества профессионального образования определены на каждом уровне структурно-функциональные взаимосвязи, которые представлены в Таблице 1 на уровне отрасли – региона определяется стратегия развития отрасли, подготовки кадров на основе профессиональных стандартов и федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (далее – ФГОС ВО).

На уровне вуза строится система качественной подготовки кадров, включающая адаптации ФГОС ВО и профессиональных стандартов, совместно с работодателями определяется сертификация и реестр квалификаций, который утверждается в отрасли региона. Работодатель в лице руководителей, кадровых служб, методистов активно участвуют в сертификации подготовки кадров в соответствии с требованиями ФГОС ВО и профессиональными стандартами и признают выданные сертификаты качества.

При формировании критериев оценки качества ФГОС ВО и профессиональных стандартов акцент делается на важные для потребителей характеристики, на выявленные в процессе их анализа требования. Нами выделены 4 группы критериев: требования нормативно-правовых документов; содержание и условия реализации программ как оценка качества управления и организация программ как гарантия качества; результаты обучения выпускников (табл. 2).

Таблица 2

Критерии	Показатели
I группа: нормативно-правовые акты.	- Программа (стратегии, цели, содержание, структура); - Учебно-методическая документация; - Соответствие ФГОС ВО и профессиональных стандартов установленного образца.
II группа: содержание и условия реализации программ как оценка качества.	Качество результатов обучения: - востребованность выпускников в отрасли и в регионе; - уровень удовлетворенности качеством подготовки работодателя и самого выпускника; - уровень сформированности компетенций выпускника и студента, их соответствие профессиональным квалификациям. <u>Условия реализации программы:</u> - технологии и методики образовательной деятельности; - материально-технические и финансовые ресурсы программы; - информационные ресурсы; - информационная активность программы.
III группа: управление и организация программы.	- Оценка используемых в вузе контрольных и оценочных материалов с учетом требования ФГОС ВО и профессиональных стандартов; - Оценка результатов промежуточной аттестации; - уровень удовлетворенности качеством обучения студента; - наличие службы мониторинга востребованности выпускников, их трудоустройства и карьерного роста.
IV группа: результаты обучения выпускников.	- уровень сформированности компетенций и квалификация выпускника (оценка ГЭК); - оценка квалификация (ГЭК и работодатели); - востребованность выпускников; - анализ потребности отрасли, региона в кадрах рыбной отрасли; - средняя зарплата выпускника; - независимая оценка квалификаций, наличие сертификатов.

Основными методами исследования системы управления качеством подготовки кадров для рыбной отрасли являются методы изучения документов, тестирования, экспертных оценок, социологических опросов, наблюдения, описания, моделирования.

На каждом уровне интегральной модели подготовки кадров используются различные методы исследования.

Приведем примеры использования методов исследования в табличной форме (табл.3).

Таблица 3

Методы исследования системы управления качеством подготовки кадров для рыбной отрасли

Критерии	Методы исследования
I группа: нормативно-правовые акты.	Исследование документов на предмет их наличия и соответствия требованиям ФГОС ВО и профессиональным стандартам.
II группа: содержание и условия реализации программ как оценка качества.	<u>Качество результатов обучения:</u> - метод социологических исследований (анкетирование, наблюдение); - метод экспертных оценок (экспертный опрос, методика организации опроса, обработка результатов опроса, анализ, принятие решения); - метод тестирования (конструкция теста, его содержание, валидность).
III группа: управление и организация программ.	- метод описания (обобщение фактических материалов и формирование выводов по образовательным программам); - метод моделирования (разработка модели образовательной программы с учетом требований ФГОС ВО и профессиональных стандартов, ее применение); - метод экспериментирования (исследование условий реализации программы и установление причин, факторов качества подготовки).
IV группа: результаты обучения.	- метод тестирования; - метод экспертных оценок; - метод описания; - метод обобщения (анализ подготовки специалистов, аргументированное обсуждение результатов обучения членами ГЭК, профессорско-преподавательским составом, работодателями, определение способа решения проблемы подготовки кадров и востребованности специалистов в рыбной отрасли); - метод сравнения (соотношения требований ФГОС ВО и профессиональных стандартов, внесение изменений при необходимости).

Таким образом, методы исследования системы управления качеством высшего образования в техническом вузе сложны и многообразны. Для обеспечения качества подготовки специалистов для рыбной отрасли

необходимо четкое взаимодействие советов на уровне отрасли, региона, вуза, работодателя, их направленность на развитие отрасли, на результат.

Список литературы

1. Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/document/cons> (дата обращения: 10.04.2016)
2. Государственная программа Российской Федерации «Развитие образования на 2013-2020 года» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elementy.ru> (дата обращения: 10.04.2016).
3. Олешкова И.Н. Система признания качества дополнительного профессионального образования в академии Пастухова (г. Ярославль) // Сборник материалов X Международного форума: Новые технологии оценки качества образования. – М.: Гильдия экспертов в сфере профессионального образования, 2015. – С.164-168.
4. Серова А.В. Апробация модели профессионально-общественной аккредитации, разработанной в рамках ФЦППРО / Межрегиональная конференция: Общественное обсуждение модели профессиональной общественной аккредитации программ высшего профессионального образования [Электронный ресурс]. доступа: <http://hse.ru/data/2013> (дата обращения: 26.04.2016).

УДК 658.56

Толстов Юрий Алексеевич,
Канд. техн. наук, доцент

РОЛЬ КАФЕДРЫ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ВУЗЕ

г. Чебоксары, Волжский филиал МАДИ г. Чебоксары
utol@yandex.ru

Аннотация. Кафедра основное производственное подразделение непосредственного участвующее в подготовке специалистов в системе менеджмента качества вуза. Она обеспечивает вытягивающий эффект и взаимообучение при создании СМК на основе процессного подхода.

Ключевые слова: кафедра, система менеджмента качества, процесс.

Yury A. Tolstov,
PhD of technical Sciences, Associate Professor

THE ROLE OF THE DEPARTMENT IN THE MANAGEMENT SYSTEM QUALITY AT THE UNIVERSITY.

Cheboksary, Volzhskiy branch MADI
utol@yandex.ru

Abstract. The Department of main production unit directly involved in the training of specialists in the quality management system of the University. It provides a pulling effect and peer teaching when creating a QMS based on process approach.

Keywords: Department, quality management system, the process.

Проблема качества подготовки специалистов является центральной в вопросе их востребованности национальной экономикой и международного признания российских степеней и квалификаций. Она напрямую связана с содержанием образования и технологией реализации образовательных программ. Во всем мире развивается образование, направленное на формирование у специалистов в области техники и технологий не только определенных знаний и умений, но и особых компетенций, сфокусированных на способности применения их на практике, в реальном деле, при создании новой конкурентоспособной продукции. В ходе обучения студентам показывают связь предлагаемого учебного материала с их будущей деятельностью, перспективами технического, технологического, экономического и социального развития общества. Проблемно-ориентированные методы и проектно-организованные технологии обучения в образовании позволяют обеспечить его новое содержание, основанное на комплексе компетенций, включающих фундаментальные и технические знания, умения анализировать и решать проблемы с использованием междисциплинарного подхода, владение методами инновационного менеджмента, готовность к коммуникациям и командной работе.

Качество подготовки специалистов в высших учебных заведениях обеспечивается содержанием образовательных программ и качеством менеджмента в вузе.

Управление образованием, пока еще используемое в российских вузах, основывается на методе, предполагающем статистическую оценку достигнутых результатов. Сегодня общемировой тенденцией является переход на модели, соответствующие концепции всеобщего управления качеством TQM и требованиям международных стандартов качества ISO

9001:2000. В соответствии с концепцией TQM ВУЗ должен иметь четко и ясно сформулированную миссию и стратегические цели, которые вырабатываются в результате всесторонних исследований потребностей внешней среды в основных продуктах деятельности вуза. Стандарт ISO 9001:2000 - это «стандартизованная философия качества, задача которой - организовать мышление определенным образом». Однако требования стандарта должны быть адаптированы «к вузовской почве».

Требования стандарта ISO 9001:2000 не затрагивают напрямую деятельности ученых и преподавателей высшего учебного заведения, не касаются структуры и содержания научных исследований и образовательных программ, методологий и технологий, используемых в научном и учебном процессах, ограничено действуют в аудитории, где преподаватель пользуется предоставленной ему академической свободой реализовать свой научный и методический потенциал, педагогические способности учителя и воспитателя. Применение стандартов ISO 9001:2000 в ВУЗах основывается на подготовке специалистов к профессиональной деятельности как к регламентированному процессу.

Всеобщее управление качеством ориентируется на процессный подход к деятельности ВУЗов, при этом используется ряд эффективных методов и инструментов управления качеством. Подход к построению системы менеджмента качества (СМК), основанный на требованиях международных стандартов ISO 9001:2000 (переработанный в российский стандарт ГОСТ Р ИСО 9001: 2000), предполагает демонстрацию способности ВУЗа производить продукцию, которая удовлетворяет потребителя, на основе мониторинга запросов которые регулярно отслеживаются и изучаются.

Основной целью СМК ВУЗа в соответствии с требованиями стандарта ISO 9001:2001, должно стать повышение удовлетворенности потребителя - личности, общества и государства в образовательных услугах, подготовке специалистов. Однако необходимо избирательное использование требований стандарта ISO 9001:2000 в ВУЗах, имея в виду их учебную деятельность. На стандарт ISO 9001:2000 ориентируются ВУЗы, которые развивают свою предпринимательскую инновационную деятельность и стремятся завоевать на рынках предоставления образовательных услуг новые прочные позиции.

Основой СМК ВУЗа в соответствии с требованиями стандарта ISO 9001:2000 является:

- ориентация на потребителя;
- ведущая лидерская роль руководства в постановке целей и их достижении;
- системный подход к управлению;

- вовлеченность всех сотрудников и студентов в решение задач ВУЗа;

- процессный подход к организации всех видов деятельности;

- постоянное улучшение качества деятельности, на выходе которой безусловно высокое качество знаний выпускников.

Создание СМК - задача, которая требует нетрадиционных подходов к ее решению. Эту работу необходимо начинать с выпускающей кафедры как основного производственного подразделения непосредственного участвующего в подготовке специалистов, при полном одобрении руководством вуза. Подобный подход обеспечит «вытягивающий эффект», поскольку подавляющая часть преподавателей пока еще не имеют достаточного понимания сущности создания СМК, а при таком подходе идет взаимообучение.

Для разработки системы менеджмента качества подготовки разработана модель, в состав которой входит перечень профессиональных умений по данному виду профессиональной деятельности. Основой модели высшего профессионального образования по соответствующей специальности являются государственные образовательные стандарты, которые формируют потребительские свойства специалиста. С точки зрения современных требований потребителя, структура модели в соответствии со стандартом ISO 9001:2000 должна включать следующие группы процессов: процессы управления, бизнес-процессы подготовки специалиста, процессы управления продукцией, обслуживающие процессы, процессы измерения, в условиях постоянного улучшения самого учебного процесса.

Введем обозначения и терминологию согласно ISO:

1. Процесс - 4 года;

2. Цикл - 1 год;

3. Подпроцесс - основные и вспомогательные;

4. Операция - дисциплина;

5. Элемент операции - лекции, практические и семинарские занятия, курсовые работы, практикумы.

Для создания СМК согласно модели бизнес - процесс производства продукции - получение образовательной услуги, процесс подготовки бакалавра согласно стандарта, рассчитанный на 4 года разбит на ряд циклов, соответствующим годам обучения. В рамках годового цикла выделяем основные подпроцессы, которые выполняются непосредственно на выпускающей кафедре и вспомогательные подпроцессы, выполняемые на смежных кафедрах участвующих в подготовке специалистов.

Основной составляющей каждого подпроцесса является операция - дисциплина и ее элементы предоставляемые студенту в соответствующем годовом цикле в качестве образовательной услуги. Каждая дисциплина

лина имеет вход и выход. Вход в дисциплину - это рабочая программа соответствующая целям подготовки специалиста и требованиям ГОС, с указанием количества часов по всем видам занятий, которые необходимо провести в ходе ее изучения(лекции, практические и семинарские, курсовые работы). Поскольку каждый преподаватель ведущий занятия является потребителем продукции предыдущих дисциплин цикла и поставщиком для преподавателей последующих дисциплин, в связи с этим встает задача координации дисциплин и квалификаций через установление взаимодействия путем согласования рабочих программ и улучшения процессов управления – прямая задача деканата и заведующего кафедрой.

На выходе каждой операции осуществляется процесс измерения результативности, который проводится как соответствующая квалификация. Измерители процесса - степень усвоения дисциплины по показателям: посещаемость, экзамен, зачет, коллоквиум, тест, реферат и др. оценки.

Предшествующие дисциплины являются поставщиками интеллектуальных ресурсов на вход в операции текущего периода и далеко не всегда качество поставщика и ресурс на входе оказывают прямое влияние на ход учебной операции.

В связи с этим выпускающая кафедра вправе потребовать от смежных кафедр, исполнителей вспомогательных подпроцессов безусловного исполнения требований с текущей и окончательной оценкой результативности. Исходя из этого в полном соответствии с ISO, было бы целесообразно введение оценки результативности и эффективности не только на выходе смежной кафедры, но и на входе выпускающей кафедры, что позволит существенно повысить качество текущего учебного процесса по базовой кафедре с учетом несоответствия выявленного при оценке предшествующей дисциплины, так как это требует ISO (поставщик-организация – потребитель).

В обслуживающие подпроцессы, необходимые для исполнения операции входит ресурсное обеспечение, в составе которого:

1. информационное обеспечение: библиотечный фонд, периодические издания, учебно-методические комплексы, Интернет.
2. материально-техническое обеспечение: аудиторный фонд, ТСО.
3. человеческие ресурсы (количество и качественный уровень профессорско-преподавательского состава).

Результатом процесса является сформулированный ГОСом перечень обязательных знаний и навыков с квалификационной оценкой. Создавая СМК кафедры необходимо вернуться к методике проведения практик студентов, что будет в точном соответствии с требованиями процедуры валидации учебного процесса, а преддипломная практика и

последующая защита дипломной работы должна стать процедурой верификации всего процесса.

При этом измерителем результатов и эффективности может служить метод оценки (аудит) процесса предлагаемый и реализованной сообществом международным аудиторов ISO так называемый метод «черепахи», в том числе аудит программы учебных дисциплин и информационно-методического обеспечения образовательного процесса.

При изменении рыночной конъюнктуры и пожеланий потребителя осуществляются управляющие воздействия - планы корректирующих и предупреждающих мероприятий с целью последующего улучшения качества предоставляемой образовательной услуги путем внесения изменений в годовые учебные планы, Эта работа должна проводиться заведующим кафедрой в установленном в учебном заведении порядке (Устав вуза). Все составляющие процесса должны быть жестко документированы.

Рассматривая процесс подготовки специалиста сложно отразить весь жизненный цикл как этого требует ISO. В силу ограниченности возможностей по объему текста в данной работе рассматривается только часть жизненного цикла, касающаяся подпроцессов обучения. Мы полагаем, что жесткое документирование вузовского образования в СМК должно содержать как используемые, так не применяемые ранее виды документов, отражающие содержание образования. При разработке СМК кафедры и соответственно вуза необходима коррекция содержания Устава вуза как головного документа. В составе документов должно быть руководство по качеству.

В руководстве по качеству - основном документе системы описываются процессы и подпроцессы. Все составляющие процесса регламентируются документированными процедурами, а отдельные элементы СМК описываются в квалификационных требованиях профессорско-преподавательского состава. В руководстве по качеству при описании процесса и подпроцессов обычно даются ответы на вопросы, содержание которых должно соответствовать аудиту по методу «черепахи».

В документированных процедурах приводится детальное описание действий внутри процесса или подпроцесса с ответами на вопросы: «Кто?», «Что?», «Где?» и «Когда?».

В основании пирамиды документации СМК кафедры находятся так называемые записи по качеству, которые являются документированными свидетельствами регистрации выполнения заданий, производства действий, реализации подпроцессов и основных процессов. Документация СМК может быть представлена в любом виде и на любом носителе. Разработка документации не должна быть самоцелью, ее задача - добавлять ценность системе менеджмента качества. Основным принципом управ-

ления документацией и записями по качеству является принцип - нужный документ в нужное время (требования к хранителю и месту хранения). На основе документированных процедур описываются процесс, разграничиваются полномочия и ответственность, выявляются индикаторы эффективности процессов, разрабатываются формы для регистрации данных. Выстраивается развивающаяся система менеджмента качества ВУЗа, которая позволяет эффективно управлять процессами, операциями и элементами на всех уровнях. Для оценки степени готовности кафедры работать качественно в соответствии с требованиями стандарта ISO 9001:2001 необходим внутренний аудит.

Прежде всего это аудит документации. На следующем этапе проводится аудит процессов управления, в том числе процессов управления документацией, а также общей структуры СМК кафедры. Выявленный в ходе аудита потенциал для улучшений является основой программы корректирующих мероприятий, как по основным так и вспомогательным процессам.

На третьем этапе выполняется сертификационный аудит. Сертификация СМК, сама по себе, не может обеспечить повышение качества работы ВУЗа. Она фиксирует уровень развития на нынешнем этапе и показывает партнерам во внешней среде, что кафедра эффективно функционирует, обеспечивая стабильное и высокое качество научной продукции и оказываемых услуг. Первоначально это может быть внутренняя сертификация, как способ самооценки состояния работы по внедрению СМК на кафедре.

Ведение работы по проектированию СМК вуза значит демонстрировать суть ISO в процессном подходе. Роль ректората и его функциональных подразделений в соблюдении требований ISO сводится по сути своей к созданию ресурсного, интеллектуального, материального и финансового обеспечения, а также ведения вспомогательных подпроцессов, сопровождающих главную цель подготовку специалистов, то основная работа должна вестись по созданию СМК кафедры. Таким образом, кафедра будет вынуждена непрерывно развивать и совершенствовать свою систему менеджмента качества, стабильно производить качественную продукцию и оказывать качественные услуги и побеждать в конкурентной борьбе.

Список литературы:

1. А.И. Гретченко. Болонский процесс: интеграция России в Европейское и образовательное пространство. М.-Кнорусс, 2009, 432с.
2. ISO 9001-2000. Система менеджмента качества. Требования.
3. Федеральное агентство по образованию Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ». Руководство по качеству. Санкт-Петербург. Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2006

4.В.Г. Елиферов, В.В.Репин. Бизнес-процессы: регламентация и управление: Учебник. -М.:ИНФРА-М,2001.-319с.

УДК 65.011.56

Кудаков Александр Владимирович,
Директор Высшей инженерной школы

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ ПЕРСОНАЛОМ

Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого,
alexander.kudakov@spbstu.ru

Аннотация. В среде современной экономики все организации и предприятия должны уделять уделяют повышению конкурентоспособности через улучшение качества их продукции и/или услуг. Эти задачи необходимо решать комплексно, с использованием системного подхода. Наиболее распространенным методом является внедрение системы менеджмента качества и последующая сертификация этой системы на соответствие требованиям международного стандарта ИСО 9001. Одним из ключевых, определяющих ресурсов любого предприятия является персонал. В статье рассмотрены вопросы разработки системы мониторинга компетентности персонала.

Ключевые слова: система менеджмента качества, управление персоналом, система мониторинга компетентности персонала.

Aleksandr V. Kudakov,
Director of Higher Engineering school

SYSTEM ANALYSIS IN MANAGEMENT OF PERSONNEL

St. Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
alexander.kudakov@spbstu.ru

Abstract. In modern economic environment all organizations and enterprises must pay attention for increasing of competitiveness through improvement of quality of their products and/or services. These tasks should be solved in complex by using of the system approach. The most accepted method is the implementation of the Quality management system, along with the further certification on this system according to requirements of international standard ISO 9001. One of the key and crucial resource of an enterprise is its' person-

nel. Questions of the development of the system for monitoring of personnel' competency are considered in the article.

Keywords: Quality management system, management of personnel, service-system for monitoring of personnel' competency.

В последнее время системный анализ широко применяется в управлении качеством. Международный стандарт ISO 9001:2015 [1], использует процессный подход, который включает в себя цикл PlanDo-Check-Act (PDCA), и оценку рисков. Цикл PDCA позволяет организации предусмотреть, чтобы процессы были обеспечены ресурсами и управлялись надлежащим образом. Стандарт ISO 9001:2015 выделяет пять групп ресурсов (персонал, инфраструктура, среда выполнения процесса, ресурсы для мониторинга и измерений, база знаний организации), при этом персонал играет ключевую роль в обеспечении результативного функционирования системы менеджмента качества (СМК) предприятия. Требования к квалификации работников быстро меняются, поэтому необходимо постоянно осуществлять мониторинг компетентности персонала для того, чтобы выявлять потребности в дополнительном обучении, повышении квалификации, профессиональной переподготовке. Стандарт ISO 9001:2015 предписывает, что «персонал должен быть компетентным в соответствии с полученным образованием, подготовкой, навыками и опытом» [1]. Управление квалификацией персонала включает процессы подбора, оценки и, при необходимости, обучения сотрудников. Это гарантирует предприятию наличие кадров необходимого уровня профессионализма и компетентности, способных обеспечить своевременную и качественную работу организации. Важной задачей является мотивация сотрудников на создание продукции высокого качества через совершенствование процессов деятельности, развитие профессионализма и компетентности. Для эффективного управления персоналом необходимо сформировать систему мониторинга персонала как часть СМК предприятия. В системном анализе существует множество методов моделирования [2]. В качестве основы формирования системы мониторинга компетенций персонала предложено использовать экспертные системы. Целесообразно создание библиотеки компетенций для персонала предприятия на разных позициях.

В течение последних десятилетий теория экспертных систем интенсивно развивалась [3]. Х. Рейхгелт и Ф. Ван Гармелен (1986) показали, что некоторые классы экспертных систем перекрываются или включают друг друга. В. Кленси (1985) предложил разделять синтетические операции, результатом которых является изменение структуры (конструкции) системы, и аналитические операции, которые интерпретируют характе-

ристики и свойства системы, не изменяя ее как таковую. Задачи диагностики становятся вариантами задачи идентификации, которая, в свою очередь, является разновидностью задачи интерпретации [4].

На этапе формирования теоретических предпосылок оценки компетентности персонала введено понятие «диагностической» матрицы, определяющей связи между признаками и событиями, а также следующие ограничения:

- рассматриваются только диагностические задачи, т.е. может быть создана модель, описывающая объект в виде матрицы «признак-событие», которая может взаимодействовать с входным вектором признаков или событий;
- язык, с помощью которого описывается модель, взят нечеткий, и для этого языка может быть создана нечеткая логика вывода;
- участником процесса диагностики являются пользователь и эксперт, который создал перечень признаков и событий и установил между ними связь (это и есть база знаний).

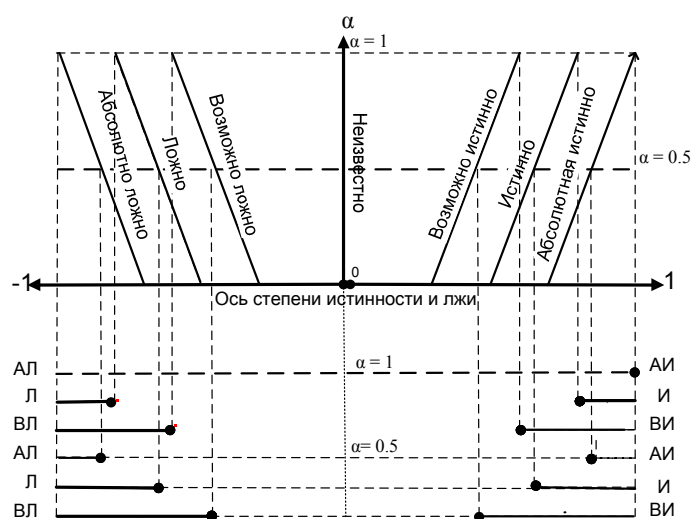
Разработаны основные принципы автоматизированного алгоритма диагностики, которые состоят в следующем:

1. Строится модель диагностируемого объекта по типу отношения «признак-событие» в лингвистических значениях истинности (ЛЗИ).

Степень связей между признаком и событием устанавливает эксперт (или группа экспертов) с последующей обработкой.

2. К диагностической таблице можно обращаться в виде входного вектора признаков с целью получения ответа на вопрос: «Какое событие более всего соответствует входному вектору признаков?»

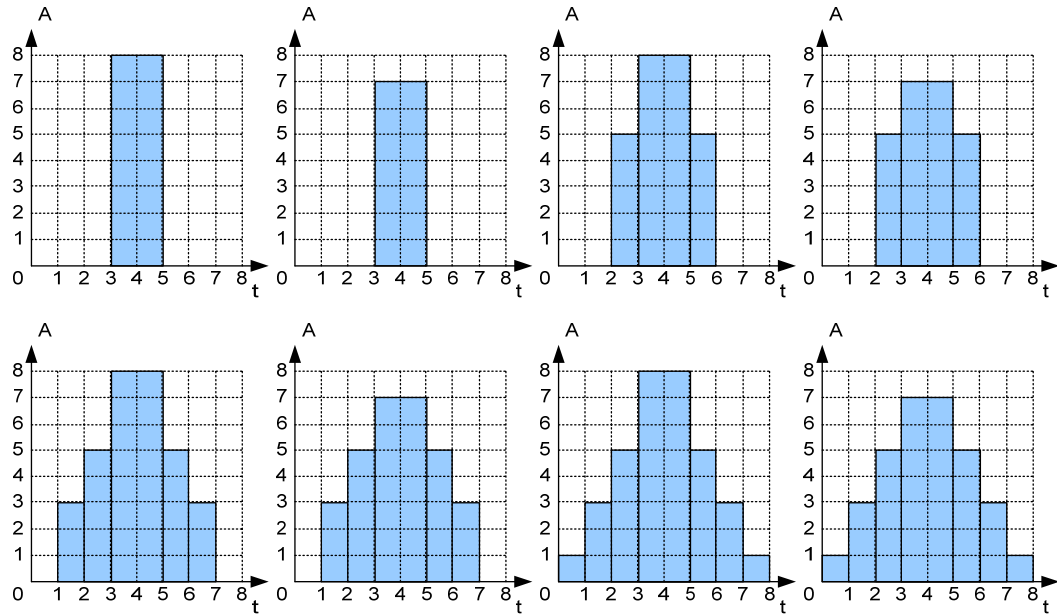
3. Для выработки заключения необходимо ЛЗИ преобразовать в числовые значения истинности (ЧЗИ).



Рис/ 1. Модель диагностируемого объекта

На рис. 1 изображены числовые значения истинности и лжи при $\alpha=1.0$ и $\alpha=0.5$. Точками указаны точки «истинности-ложности», а в виде линий – размытость истинности-ложности. Из графика видно, что чем меньше α , тем ближе точка «истинности-ложности» приближается к точке неопределенности и увеличивается интервал размытости. Чем выше α , тем меньше в выходном векторе событий с высокой степенью достоверности, а при некоторых значениях α их может и не быть. Такой механизм позволяет находить однозначное решение.

Для лучшего понимания диагностических матриц предложена модель, изображенная на рисунке 2.



Рис/ 6. Модель для диагностики

Предположим, что определены восемь импульсов, максимальная амплитуда $A = 8$, а время исчисляется 8 дискретами. Требуется решить задачу, в которой определяется, к какому стандартному импульсу ближе всего относится произвольный входной сигнал. Для составления диагностической матрицы представим сигналы $C_i, i = [1, \dots, 5]$ и признаки $\Pi_j, j = [1, \dots, 5]$ в виде схемы, показанной на рис.3.

C_1				8	8			
C_2				7	7			
C_3			5	8	8			
C_4			5	7	7	5		
C_5		3	5	8	8	5		
C_6		3	5	7	7	5	3	
C_7	1	3	5	8	8	5	3	1
C_8	1	3	5	7	7	5	3	1

Π_1				8	8			
Π_2				7	7			
Π_3			5			5		
Π_4		3					3	
Π_5	1							1

Рис/ 7. Сигналы и признаки

По горизонтали расположены такты времени, по вертикали – номера сигналов и признаков, на месте пересечения указано значение амплитуды, тогда диагностическая матрица примет следующий вид:

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
П ₁	АИ	АЛ	АИ	АЛ	АИ	АЛ	АИ	АЛ
П ₂	АЛ	АИ	АЛ	АИ	АЛ	АИ	АЛ	АИ
П ₃	АЛ	АЛ	АИ	АИ	АИ	АИ	АИ	АИ
П ₄	АЛ	АЛ	АЛ	АЛ	АИ	АИ	АИ	АИ
П ₅	АЛ	АЛ	АЛ	АЛ	АЛ	АЛ	АИ	АИ

Рис. 4. Диагностическая матрица с ЛЗИ

Предположим (см. рис. 5), что $АИ = +1$, $АЛ = -1$, $И = +0.7$, $Л = -0.7$, $ВИ = +0.3$, $ВЛ = -0.3$, где **АИ** означает «абсолютно истинно», **И** – «истинно» **ВИ** – «возможно истинно», а **Л** означает соответствующие ложные значения.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
П ₁	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1
П ₂	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
П ₃	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
П ₄	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
П ₅	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1

Рис. 5. Диагностическая матрица с ЧЗИ

Если мы на означенную диагностическую матрицу подадим входной вектор признаков $П_{вх} = [АЛ \ АИ \ АИ \ АЛ \ АЛ]$, переведем его в ЧЗИ $П_{вх} = [-1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1]$, а затем проведем операции умножения и суммирования, получим максимум у события **C₄**.

Составление множества диагностических матриц позволяет привлекать экспертов узких специальностей, а объединение матриц в иерархическую структуру позволяет более точно решать многокритериальные задачи. В самом простом случае формулируются тестовые задания в закрытой форме, которые предполагают N-вариантов ответов, из которых только один является правильным.

Предложена еще одна модель, в которой оценивается не только степень знания испытуемого, но и степень его незнания. Для реализации такой модели составляются тестовые задания, варианты ответов в которых формулируются следующим образом:

1. Вариант, определяющий наиболее полную степень знания. Например, такому варианту ответа присваиваем балл равный **+1**.

2. Вариант (или варианты), определяющие среднюю $(+0.7)$ или низкую степень знания $(+0.3)$.

3. Вариант (или варианты), определяющие низкую (-0.3) или среднюю степень незнания (-0.7) .

4. Вариант, определяющий полное незнание предмета (-1) .

Формирование таких тестовых заданий, и, прежде всего, создание дистракторов, - трудоемкий процесс. Однако применение этого метода позволяет достаточно полно оценить степень знания или незнания испытуемого. Проведенные исследования показали возможность применения диагностических матриц в задаче оценки знаний персонала.

Разработана и апробирована модель автоматизированной системы тестирования знаний на основе сервисно-ориентированной архитектуры [5], предусматривающая возможность интеграции в нее новых модулей. Это позволит выбирать различные стратегии подсчета итогового балла в зависимости от потребностей, которые могут быть реализованы с помощью web-сервисов. В агенте оценки качества тестов предлагается реализовать нечеткую оценку качества тестов. Оценка качества тестов проводится на основе нечетких понятий (ЛЗИ): «очень плохой», «плохой», «средний», «хороший», «очень хороший». Числовые значения истинности задаются экспертом.

Поскольку система разрабатывается для оценки компетентности персонала как часть СМК предприятия, предполагается, что экспертами, авторами тестов являются представители работодателя, специалисты в предметной области. Однако следует заметить, что данная система ориентирована не только на получение внутренней оценки.

В настоящее время регулирование вопросов сертификации квалификации работников осуществляется в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» в рамках создания систем добровольной сертификации по отдельным профессиям (областям профессиональной деятельности) и в отдельных сферах деятельности на основании отраслевого законодательства. В связи с повышением требований к квалификации работников и постоянным обновлением компетенций работников возникает необходимость совершенствования подходов к оценке квалификации. Полученные в рамках непрерывного образования, в том числе на производстве, компетенции работников требуют подтверждения, которое имело бы универсальное признание. В целях организации работы по оценке квалификации в определенном виде профессиональной деятельности создаются советы по профессиональным квалификациям на базе отраслевого (межотраслевого) объединения работодателей или ассоциации, представляющих профессиональные сообщества. Решением Национального совета создаваемые советы наделяются полномочиями по

отбору юридических лиц (центров оценки квалификации) для проведения оценки квалификации. Центры оценки квалификации проводят оценку квалификации в форме профессионального экзамена и оформляют ее результаты.

Разработанная система мониторинга компетентности персонала может быть рекомендована для использования в центрах независимой оценки компетентности персонала. В данном случае осуществляется внешняя оценка соответствия квалификации сотрудника тем требованиям, которые установлены к компетенциям сотрудников, занятых в выполнении определенного вида деятельности.

Список литературы

1. Международный стандарт ISO 9001:2015 «Система менеджмента качества. Требования».
2. Волкова В.Н., Черненькая Л.В., Магер В.Е. Классификация моделей в системном анализе // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия «Информатика. Телекоммуникации, Управление», 2013. Т. 3, № 174, с. 33–43.
3. Дж. Джарратано, Г. Райли. Экспертные системы: принципы разработки и программирование. – Издательский дом «Вильямс», 2007. – 1152 с.
4. Речинский А.В. Интеллектуальные технологии и представление знаний. Автоматизация творческого процесса: учебное пособие / А.В. Речинский, А.М. Яшин. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 128 с.
5. Кудakov А.В. Система мониторинга компетентности персонала предприятия // Международный научно-исследовательский журнал, 2016, № 4, часть 2, с. 113-117. – Режим доступа: <http://research-journal.org>.

УДК 519.24

Климова Ирина Викторовна,
Аспирант

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА СТРАТЕГИЧЕСКОГО БИЗНЕС-ПЛАНИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ КОГНИТИВНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

г. Таганрог, Южный федеральный университет ИУЭС,
thibeault.irina@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена решению актуальной задачи комплексных исследований качества стратегического бизнеса в системе на основе моделирования корпоративного управления промышленных предприятий. С учетом мировых трендов корпоративной отчетности

"стандартизации" и "математизации" управленческих решений рассматривается качественная специфика российской модели корпоративного управления с использованием инструментов когнитивного моделирования. Представлены математические модели и методы агентской проблемы корпоративного управления для российских компаний, рассмотрена специфика информационной открытости компаний, выявлены факторы диссонанса. Все это позволяет систематизировать взаимосвязанные факторы рискогенности, влияющие на качество управления российских компаний.

Ключевые слова: стратегическое бизнес-планирование, качество, факторы рискогенности, корпоративный сектор промышленности, когнитивное моделирование.

Irina V. Klimova,
Postgraduate

INTEGRATED RESEARCH QUALITY OF STRATEGIC BUSINESS PLANNING BASED ON MODERN TECHNOLOGY COGNITIVE MATHEMATICAL MODELING

Taganrog city, South Federal University EUTS,
thibeault.irina@gmail.com

Abstract. The article represents the actual problem of complex business strategic quality research system based on the simulation of corporate management in industrial enterprises. Based on the global trends of corporate reporting "standardization" and "mathematization" management decisions considered qualitative specifics of Russian corporate governance model using the tools of cognitive modeling. Mathematical models and methods of agency problem of corporate governance for Russian companies discussed the specifics of information openness of companies, factors identified dissonance. This allows you to organize risk- taking interrelated factors that affect the quality in Russian companies.

Key words: strategic business planning, quality and risk- taking factors, the industry corporate, cognitive modeling.

В современном мире корпоративный сектор промышленности в бизнесе имеет большой удельный вес. И хотя из примерно 60 млн. фирм, зарегистрированных в мире, лишь 10% - корпорации, однако они производят более половины мирового ВВП. В России, в которой 2/3 предприятий - малые и средние, а из 1/3 крупных около 30 предприятий являются предприятиями корпоративного сектора, значение корпоративного сектора также велико. Этот сектор обеспечивает рабочие места, своевремен-

ную уплату налогов в государственный бюджет страны, на его долю приходится большой удельный вес инвестиционных вложений [1], но при этом в настоящее время наблюдается снижение общего уровня инвестиционных вложений в корпоративный сектор. Это обусловлено как внешними факторами, так и внутренними причинами состояния российской экономики. Одной из важных причин, оказывающих влияние на величину инвестиционных вложений, является прозрачность, величина и сумма планируемых затрат для инвесторов, формирующаяся под воздействием различных условий. Инвестиционная привлекательность зависит, в том числе, от эффективности системы корпоративного управления промышленных предприятий. Эффективность системы корпоративного управления зависит, в свою очередь, от качества стратегического бизнес-планирования, которое должно учитывать многие факторы быстротеменяющейся рискогенности внешней среды хозяйствования. Для обеспечения должного качества управления корпоративным сектором промышленности необходим соответствующий инструмент предварительного моделирования процессов бизнес-планирования, структурирования информации и систематизация данных для принятия оперативных решений, необходимо прогнозирование возможных тенденций развития корпоративного сектора.

Глобальные тренды корпоративного управления, связанные с усилением роли различных стейкхолдеров, изменяют не только ландшафт взаимодействий основных участников корпоративных отношений – акционеров, членов совета директоров, топ-менеджеров, но также влияют на процессы принятия и реализации стратегической деятельности фирмы на основе разнообразных инструментов управления корпоративными рисками, учитывающих значимость организационной бизнес-модели компании, ее влияния на экологию и общество в целом. Усложнение корпоративной отчетности по объему, по структурным разделам, и по современным информационным технологиям распространения, призвано зафиксировать системный переход на "ESG –парадигму" управления корпорацией (enviromental, social and corporate governance), способную отразить целостность картины устойчивого развития компании, не только в ее финансовом, но и нефинансовом, социальном, экологическом и др. аспектах, тем самым фокусируясь на изменении целевых параметров и конкурентных факторов развития компании.

Мировой переход к интегрированным формам корпоративной отчетности дает мощный толчок процессам конвергенции национальных моделей корпоративного управления, а также необходимости "тонкой настройки" системных параметров внутренних и внешних механизмов корпоративного управления. В тоже время различия в механизмах реализации корпоративных моделей на национальном, региональном и еди-

ничном уровнях через "сетку" единых факторов интегрированной корпоративной отчетности, как правило, нивелируются. Процессы информатизации корпоративной деятельности с каждым годом возрастают, а с учетом требований G3.1 (устойчивого развития) и международных стандартов интегрированной корпоративной отчетности объемы отчетов компании увеличились на порядок. Если 10 лет назад годовой отчет средней по размеру компании составлял 70–80 страниц, то в сегодня годовой отчет "весит" 400–500 страниц информации, которую читают 1 % инвесторов, а понимают, не более 0,05 % [2]. Колоссальные объемы не интегрированной корпоративной информации "обесцениваются" и для стейкхолдеров, акционеров и для управленцев. Для не интегрированной корпоративной отчетности характерно [3]: ретроспективный взгляд на деятельность и развитие компании (эффект "заднего зеркала" автомобиля при его движении вперед); информационная избыточность количественной и финансовой информации ("переизбыток" рождает когнитивный диссонанс при обработке такой информации); отсутствие взаимосвязи разделов корпоративного отчета компании в ее финансовом, управленческом, экологическом и социальном аспектах; различная степень достоверности и значимости корпоративной отчетности для различных стейкхолдеров компании (отсутствие "сегментирования" корпоративной отчетности для разных групп стейкхолдеров – акционеры, будущие инвесторы, контролирующие органы, члены совета директоров и т.д.); не интегрированность каналов доступа к корпоративной отчетности (для внутренних управленческих решений, онлайн, презентации для инвесторов, отчеты для контролирующих органов и др. стейкхолдеров); отсутствие персонализации и важности корпоративной информации с одной стороны – для компании, а с другой – для ее стейкхолдеров; низкая оперативность технологий подготовки и составления неинтегрированной корпоративной отчетности, низкий уровень визуализации, узкий круг доступа и т.д.

К слабо раскрываемой отчетной информации в российских компаниях относятся: конкретная информация о состоянии бизнеса и перспективах компаний, подтверждающая реализацию стратегии (целевые и прогнозные показатели, комментарии к динамике показателей и др.); информация об устойчивости бизнеса (бизнес-модель, взаимодействие с заинтересованными сторонами и др.); информация о взаимосвязи результатов деятельности компаний и вознаграждении топ-менеджмента. Механизмы действия отечественных корпораций сформировались в основном под воздействием англо-американской модели корпоративного управления, ориентированной на максимальную информационную открытость компаний, распыленность акционерного капитала, развитый рынок корпоративного контроля, привлечение независимых директоров, преимущественную защиту прав миноритарных акционеров и т.д.

Для упорядочения большого количества данных и анализа сложных прикладных проблем корпоративного управления исследования в данной работе следуют принципам системного анализа [5] и опираются на когнитивный подход к моделированию сложных систем.

Методы когнитивного моделирования для сложных систем начали разрабатываться в Инженерно технологической академии Южного федерального университета. Основным результатом этих работ стала когнитивная методология исследования сложных систем, опробованная на многих социально-экономических и других объектах [6,7,8]. В рамках этих исследований под когнитивной методологией исследования сложных систем понимается когнитивная организация деятельности исследователя (эксперта, лица, принимающего решение), состоящая в определении цели, объекта, предмета исследования, выборе средств и методов для наилучшего решения комплекса системных задач, существенных для понимания и объяснения сложной системы, научного предвидения возможных путей ее развития, управления сложной системой или адаптации к ней и к окружающей среде.

Проведение когнитивного анализа осуществляется следующими категориями-этапами: процесс; содержание; результат; использование когнитивной модели. Процессуальные вопросы при проведении когнитивного анализа заключаются в следующем: формулировка цели построения когнитивной модели; определение факторов-концептов влияния; анализ и отбор концептов; оценка силы взаимосвязи концептов; верификация когнитивной модели; математическая обработка когнитивной карты; анализ и интерпретация полученных результатов; выработка рекомендаций. Когнитивная модель [5,6] отражает взаимовлияния между факторами, различающихся по своей интенсивности, которая может изменяться с течением времени.

В данном исследовании отправной точкой было обоснование разделимости стратегических альтернатив развития корпоративного управления по совместимости факторов влияния. Этот подход иллюстрируется когнитивной моделью в форме когнитивной карты, в которой в качестве факторов, влияющих на принятие стратегического решения о выборе точек роста, формирования и изменения существующей модели корпоративного управления, рассматриваются организационные, социокультурные, социально-психологические и экономические переменные с гетерогенными свойствами.

Для формирования более полного списка факторов (концептов когнитивной карты) были использованы данные из работ специалистов в области корпоративного управления в РФ в период 2000-2015 гг., статистические данные, опросы экспертов. Было выделено 10 основных фак-

торов, влияющих на качество корпоративного управления, а именно: высокие транзакционные издержки взаимодействия участников корпоративного управления, высокая коррупция, сокрытие существенной информации, низкая прозрачность раскрытия управленческой информации и низкие стандарты, низкий приток внешних инвестиций, сложность взаимодействия бухгалтерского и управленческого учета (емкость документации) при внедрении новых технологических процессов, сложность технологических процессов для внедрения на внутрероссийском рынке, согласно международным стандартам в связи недостатком инвестиций, внедрение международных стандартов бухгалтерской отчетности (US GAAP/IAS), уровень внешнего аудита (ведущие компании, конкурсный характер привлечения, уровень внутреннего контроля и единые стандарты риск-менеджмента, система стратегического индикативного корпоративного планирования).

На рис.1 представлен фрагмент когнитивной карты, отражающей взаимосвязь факторов-концептов, влияющих на качество корпоративного управления и иллюстрирующей дисбаланс в структуре корпоративного управления.

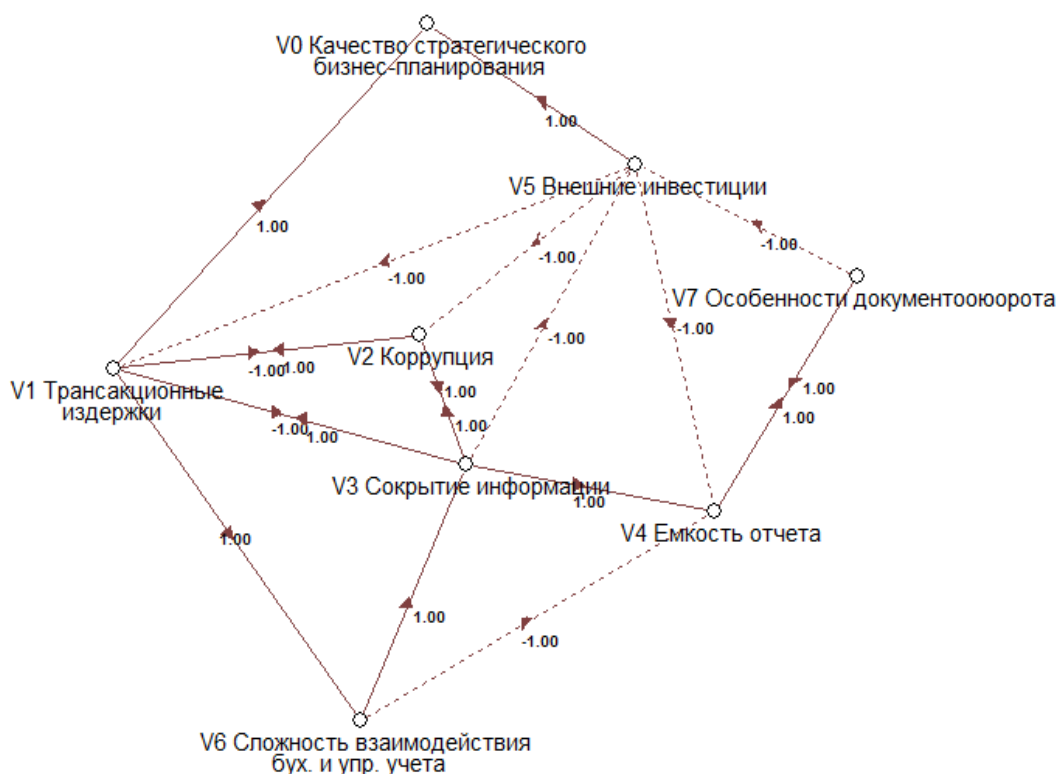


Рис. 1. Фрагмент когнитивной карты.

Однако для полного анализа причинно–следственных связей в корпоративном механизме необходима информация о взаимных влияниях концептов диссинонса и консонанса. При этом особый интерес для анализа системы качества корпоративного управления представляют интегральные показатели консонанса и воздействия. Наибольшему влиянию со стороны внешней среды подвержены концепты: V_1 – высокие транзакционные издержки и V_5 – низкий приток внешних инвестиций.

Необходимость положительного воздействия на эти концепты дает хорошие возможности и направления управленческих действий для повышения качества корпоративного управления.

Исследование структуры корпоративного механизма можно продолжить, если рассмотреть когнитивную карту системных показателей «на срезе», выделив узловые точки, т.е. классы концептов, которые значительно влияют на всю систему качества корпоративного управления. Проведенное когнитивное моделирование [6,7] корпоративного сектора, включавшего анализ путей и циклов когнитивной карты, устойчивости, связности, сценарного анализа путем импульсного моделирования на когнитивной карте позволило прийти к следующим выводам.

Фактор неэффективности менеджмента качества в компаниях свидетельствует скорее об использовании "формальной" практики внедрения стандартов качества в систему корпоративного управления. Высокие транзакционные издержки взаимодействия участников корпоративного управления во многом связаны как с особенностями российской модели корпоративного управления, так и с действием менеджерского корпуса, организующего взаимодействие между стекхолдерами, акционерами, руководством компании и членами Совета директоров. Фактор сокрытия существенной информации от Совета директоров свидетельствует о значительном уровне оппортунизма Топ–менеджеров и более выгодных позиций в конкуренции за внутренним контролем над компанией. В определенной степени это отсутствие четкого разделения функций контроля и управления акционерной собственностью. Сокрытие существенной информации для российских компаний наиболее актуально в части вознаграждения топ–менеджеров и членов совета директоров, отражаясь на низкую организацию мониторинга и контроля в перераспределении ресурсов. Все это способствует ухудшению качественных параметров корпоративного управления.

Методы когнитивного моделирования могут активно применяться и в рамках тренда "стандартизации" корпоративной отчетности для обоснования долгосрочной стратегии устойчивого развития компаний и в рамках тренда.

Список литературы

1. Развадовская Ю.В., Шевченко И.К. Структурный анализ технологических укладов в процессе развития промышленного сектора экономики: генезис, закономерности и тенденции// Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2012. - № 8 (133). – С.- 58-65.
2. Irina V. Klimova, M Onishuk: “The Legal Technology Mistake and Mistake in Qualifying: Cause and Effect “//Mediterranean Journal of Social Sciences CSER Publishing, Rome-Italy // Vol 6 No 6 ISSN 2039-9340 (print COPUS), November 2015 p.290-294
3. Тиболт И.В. Комплексные инструменты стратегического бизнес-планирования в системе корпоративного управления хозяйствующий субъектов в промышленности// Социально-экономические и гуманитарно-философские проблемы современной науки: современная реальность социума: коллективная монография Москва-Уфа-Ростов-на – Дону: 2015. – 156 с. ББК 72, УДК 001.3-021.142, ISBN 978-5-88469-712-6.
4. Тиболт И.В. Российское корпоративное моделирование на основе формирования когнитивных карт// Роль образования в формировании экономической, социальной и правовой культуры: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. - СПб.: Издательство СПбУУЭ, 2014. - 693 с. ББК 74.58, УДК 378, Р 68, ISBN 978-5-94047-709-9
5. Ланкин В.Е., Волкова В.Н., Денисов А.А., Козлов В.Н. Современные проблемы системного анализа, теории управления и принятия решений / Системный анализ в проектировании и управлении. Труды VII Междунар. науч.-техн. конф. –СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003.
6. Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Гинис Л.А. Когнитивный анализ и моделирование устойчивого развития социально-экономических систем. – Ростов н/Дону: Изд-во РГУ, 2005. – 288с.
7. Горелова, Г.В., Захарова, Е.Н., Радченко С.А. Исследование слабо-структурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход. - Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2006. - 332с.
8. Thibeault I., Prichina Olga S., Goreliva Galina V //Cognitive Russian modeling in the system of corporate governance// Mediterranean Journal of Social Sciences, 6(2) ISSN 2039-9340 (print), ISSN 2039-2117(online) Рим, Италия, 2015 с.442-453.

Черненко Андрей Владимирович,
соискатель, инженер ИКНТ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого,
andrey@qmd.spbstu.ru

Аннотация. В условиях свободного рынка успешная деятельность предприятий невозможна без повышения требований, предъявляемых к качеству продукции. В статье показана необходимость создания системы менеджмента качества, рассмотрены принципы оценки и ранжирования структурных подразделений организации на базе совершенствования известных методик мониторинга и применения методов математической статистики. Обоснован выбор методов, сформулированы рекомендации для проведения мониторинга эффективности деятельности организаций и их подразделений с позиции влияния на конкурентоспособность предприятия.

Ключевые слова: управление качеством, мониторинг деятельности, методы ранжирования.

Andrei V. Chernenkii,
applicant, engineer of the Institute for Computer Sciences

SYSTEM ANALYSIS IN QUALITY MANAGEMENT OF ORGANIZATIONS' ACTIVITIES

St. Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
andrey@qmd.spbstu.ru

Abstract. In modern economic environment the successive activity of enterprises is impossible if requirements for production quality are not rising. The necessity for Quality management system is demonstrated if the article, principles of assessment and ranking of structural departments of an organization are considered, based on the perfection of known techniques for monitoring and methods of mathematical statistics. The selection of methods have been justified, and recommendations on realization of the monitoring of or-

ganizations' activities effectiveness with the emphases on enterprises competitiveness are formulated.

Keywords: Quality management, monitoring of organizations' activities, methods of ranking.

Экономическая независимость России, повышение конкурентоспособности отечественной промышленности невозможны без решения проблем качества во всех сферах производства. В соответствии с системным подходом конкурентоспособность достигается за счет оптимизации баланса достигаемых результатов и используемых ресурсов. Оптимизация использования ресурсов на уровне организации возможна только на основе оценки качества деятельности структурных подразделений, применения методов системного анализа и менеджмента качества, аргументированной мотивации и других инструментов HR-менеджмента. От слаженности взаимодействия всех процессов деятельности, ответственность за которые распределена между подразделениями организации, зависит обеспечение качества продукции и/или услуг, производимых организацией.

Задача оценки качества деятельности структурных подразделений организаций и предприятий является сложной и многоплановой. Для ее решения необходимо объективно и по возможности полно получать количественные оценки качества деятельности, на основе которых становится возможным ранжирование (построение рейтинга) подразделений.

Важнейшим условием, обеспечивающим объективность оценок качества, является определение, сбор и систематизация совокупностей частных показателей, характеризующих эффективность деятельности подразделений и организации в целом. Считается, что накопление возможно большего числа данных о работе организации обеспечивает объективность выводов об эффективности деятельности. При составлении перечней частных показателей применяются методы традиционной квалиметрии, построенной на использовании системы отработанных приемов, когда получение конечных выводов сводится к свертыванию частных показателей в интегральные критерии путем их суммирования с заданными весовыми коэффициентами [1]. Однако использование максимума регистрируемых данных не гарантирует правильность результата. Требуется серьезный научный подход с использованием математического аппарата, целесообразно применение многомерного статистического анализа.

Необходимо разработать методику, позволяющую анализировать деятельность подразделений, и определить правила, ставящие каждому набору параметров в соответствие скалярную величину. Сравним методы оценки совокупного показателя деятельности подразделения на основе аддитивной свертки и на основе метода анализа иерархий Т. Саати.

Применение аддитивной свертки показателей подразделения позволяет построить несложную, но эффективную модель расчета [2], представленную на рис. 1.

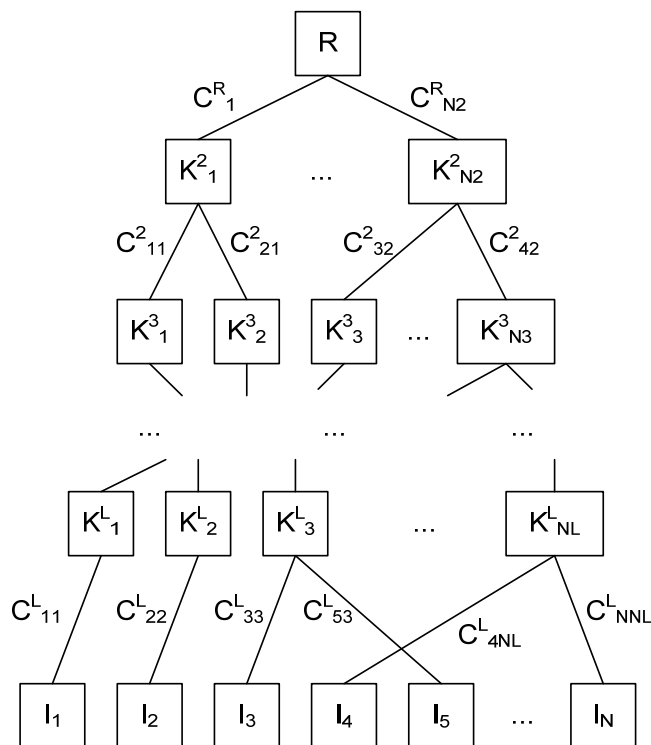


Рис. 1. Иерархическое представление аддитивной модели оценки

На нижнем уровне иерархии представлены N показателей I_i , по которым происходит оценка деятельности подразделения. На уровнях $2 - L$ расположены промежуточные совокупные показатели, используемые при расчете итогового показателя, рейтинга R . Число критериев K^l_i на каждом уровне может быть различным, связи в структуре графически отображают использование критерия текущего уровня в аддитивном расчете совокупного критерия на вышележащем уровне. Каждой связи назначен вес C^{lj} , где $l \in [2, L]$ показывает уровень связи в иерархии. Итоговый совокупный показатель деятельности подразделения (рейтинг) R представляет собой скаляр и рассчитывается аналогично промежуточным совокупным показателям. Данная модель расчета успешно применяется для определения совокупного показателя деятельности (рейтинга) подразделения [3, 4].

Иерархическая модель является простой и способной решать задачу оценки исследуемого объекта, однако обладает рядом недостатков. Во-первых, в данной модели может допускаться суммирование показателей, не имеющее физического смысла. Во-вторых, весовые коэффициенты, используемые при суммировании, не позволяют задавать полной картины отношений важности суммируемых показателей. Нет определенной

методики выбора весовых коэффициентов, доступной для ЛПР. В качестве альтернативной модели, позволяющей провести оценку деятельности подразделения и лишенной описанных недостатков, предлагается использовать метод анализа иерархий Т. Саати, позволяющий производить выбор на конечном множестве альтернатив. Метод анализа иерархий (МАИ) предполагает декомпозицию проблемы выбора на простые составляющие и обработку суждений ЛПР. Определяется относительная значимость исследуемых альтернатив для всех критериев в иерархии, что выражается количественно в виде векторов приоритетов. Характеру поставленной задачи соответствует модификация МАИ, в которой каждый критерий нижнего уровня (показатель деятельности) связан с рассматриваемыми альтернативами (исходными данными, характеризующими деятельность подразделений). В качестве метода сравнения альтернатив используется парное сравнение. Иерархия включает цель, расположенную в ее вершине (глобальный критерий), промежуточные уровни (совокупные критерии) и альтернативы (исходные данные), формирующие нижний иерархический уровень.

На рис. 2 приведен общий вид иерархии в модели, где E_{ij} – элементы иерархии, A_i – альтернативы.

Для установления относительной важности элементов иерархии в МАИ предусмотрена шкала отношений, которая позволяет ЛПР ставить в соответствие степеням предпочтения одного сравниваемого объекта перед другим некоторые заданные числа.

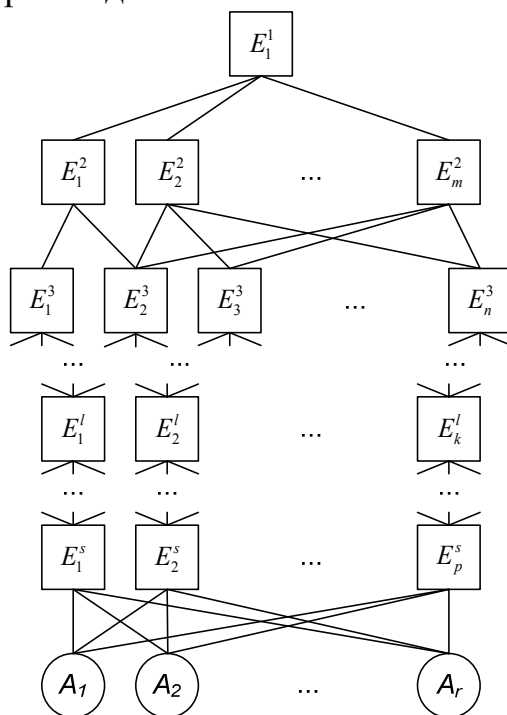


Рис. 2. Модель расчета с использованием МАИ

В пределе шкала имеет две оценки: 1 – объекты равнозначны; 2 – предпочтение одного объекта над другим. Если элемент E_1 доминирует над элементом E_2 , то клетка матрицы, соответствующая строке E_1 и столбцу E_2 , заполняется целым числом, а клетка, соответствующая строке E_2 и столбцу E_1 , заполняется обратным к нему числом. Если элементы E_1 и E_2 равнопредпочтительны, то в обе позиции матрицы ставятся единицы.

Пусть $E_1, E_2, \dots, E_n$ — множество из n элементов (альтернатив) и $v_1, v_2, \dots, v_n$ — соответственно их веса, или интенсивности. Матрица парных сравнений E принимает следующий вид:

$$E = \begin{matrix} & \begin{matrix} E_1 & E_2 & \dots & E_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} E_1 \\ E_2 \\ \vdots \\ E_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \frac{v_1}{v_1} & \frac{v_1}{v_2} & \dots & \frac{v_1}{v_n} \\ \frac{v_2}{v_1} & \frac{v_2}{v_2} & \dots & \frac{v_2}{v_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{v_n}{v_1} & \frac{v_n}{v_2} & \dots & \frac{v_n}{v_n} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Ранжирование элементов, анализируемых с использованием матрицы парных сравнений E , осуществляется на основании главных собственных векторов, получаемых в результате обработки матриц. Вычисление главного собственного вектора W положительной квадратной матрицы E проводится на основании равенства $EW = \lambda_{\max} W$, где $\lambda_{\max}$ — максимальное собственное значение матрицы E . Иерархический синтез используется для взвешивания собственных векторов матриц парных сравнений альтернатив весами элементов, имеющих в иерархии, а также для вычисления суммы по всем соответствующим взвешенным компонентам собственных векторов нижележащего уровня иерархии. Результатом данного процесса является получение итогового вектора приоритетов, позволяющего определить уровень итоговых оценок подразделений.

На основе данной модели разработана методика составления паспорта подразделения, позволяющая оценить эффективность работы подразделения. Структура и состав показателей паспорта подразделения представлены на рис. 3.

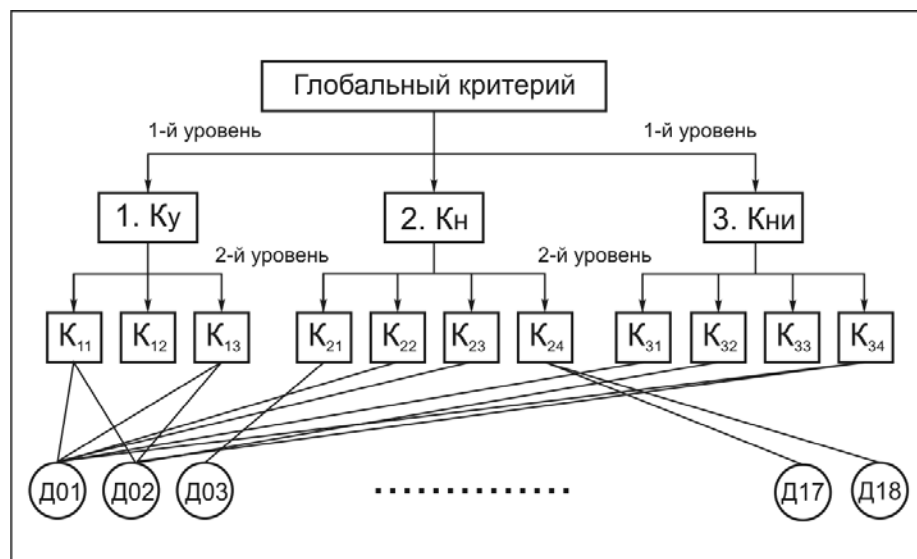


Рис. 3. Структура и состав показателей паспорта подразделения

Сначала рассчитываются локальные показатели второго уровня K_{ik} , где $i = 1 \dots n$ – это i -ая цель на 1-ом уровне, k – номер локального показателя 2-го уровня. Расчет показателей проводится путем соотнесения результатов деятельности (исходные данные) и материально-интеллектуальной базы подразделения. Затем с помощью метода анализа иерархий Т. Саати определяются показатели первого уровня и глобальный критерий. В предложенной иерархии показатели нижнего уровня K_{ik} связаны со всеми альтернативами (исходными данными) из множества альтернатив. Для определения относительной важности элементов иерархии используется шкала отношений. Матрицы приоритетов (парных сравнений) составляются таким образом, чтобы определить предпочтительность элементов второго уровня K_{ik} относительно элементов первого уровня:

$$K_i = \begin{matrix} & \begin{matrix} K_{i1} & K_{i2} & \dots & K_{in} \end{matrix} \\ \begin{matrix} K_{i1} \\ K_{i2} \\ \vdots \\ K_{in} \end{matrix} & \begin{matrix} \frac{z_{i1}}{z_{i1}} & \frac{z_{i1}}{z_{i2}} & \dots & \frac{z_{i1}}{z_{in}} \\ \frac{z_{i2}}{z_{i1}} & \frac{z_{i2}}{z_{i2}} & \dots & \frac{z_{i2}}{z_{in}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{z_{in}}{z_{i1}} & \frac{z_{in}}{z_{i2}} & \dots & \frac{z_{in}}{z_{in}} \end{matrix} \end{matrix}$$

где z_{ik} – степень значимости K_{ik} элемента иерархии. Аналогичные операции проводятся для расчета глобального критерия. Вычисление векторов приоритетов проводится от нижних уровней к верхним с учетом связей между элементами. Результатом вычислений является итоговый вектор предпочтений альтернатив относительно глобального критерия. Каждый элемент данного вектора представляет собой оценку соответствия деятельности подразделения поставленным целям. Таким образом можно провести ранжирования подразделений.

Апробация методики проведена для подразделений вузов. Паспорт подразделения вуза отражает активность подразделения по трем направлениям деятельности: 1) учебное направление (K_u): оценивается учебная активность (контингент студентов, оснащенность учебно-лабораторной базы, подготовка учебных пособий и учебников); 2) научное направление (K_n): оценивается научная активность (подготовка научных статей, монографий, патентов, защиты кандидатских и докторских диссертаций); 3) научно-исследовательское направление (K_{ni}): оценивается научно-исследовательская активность (эффективность использования оборудования, производственных площадей, научного потенциала). На рисунке 4 приведены результаты расчета паспорта институтов СПбПУ по данным 2014-2015 года.

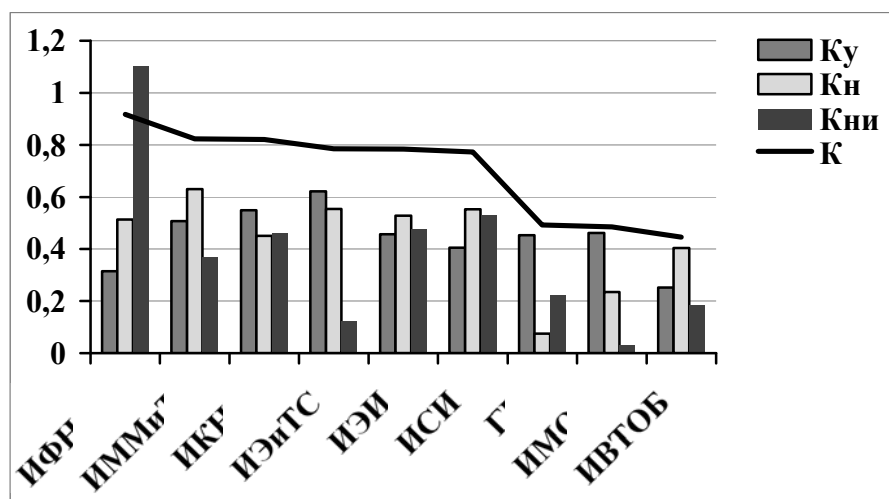


Рис.. Результаты расчета паспорта подразделений СПбПУ

На основе проведенного анализа можно определить, насколько результативной является деятельность подразделения по каждому направлению. Для получения комплексной оценки методика может быть дополнена расчетом эффективности деятельности подразделений [5].

Данная методика может быть распространена и на научные организации [6]. По аналогии с образовательными организациями при оценке результативности научно-исследовательской деятельности предлагается выделить четыре группы показателей: библиометрические (число публикаций в международных журналах, индекс цитирования и индекс Хирша, публикационная активность ученых, соавторство с зарубежными коллегами, наличие патентов и др.), инновационные (деятельность организации и ее подразделений в области создания новых образцов техники, новых материалов и технологий, новых разработок в сфере деятельности организации), кадровые (остепененность, членство в академиях, участие в подготовке научных кадров и др.) и экономические (структура финансирования и объемы выполненных НИР, грантов, хоздоговорных работ; структура и объемы затрат на исследования и разработки, включая исследования по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий; состав и удельный вес высокотехнологичного оборудования в объеме основных средств и др.).

Разработанную методику целесообразно использовать для обеспечения системного подхода при оценке качества деятельности организации, что позволит принимать решения на базе всестороннего анализа с учетом различных сторон деятельности организации и ее подразделений, обоснованно расставить приоритеты в менеджменте качества, организовать процессы самосовершенствования. В результате организация получает механизм управления конкурентоспособностью.

Список литературы

1. Volkova Violetta N., Kozlov Vladimir N., Mager Vladimir E., Chernenkaia Liudmila V. Classification of models in the Theory of systems (на англ.) // Материалы V международной научно-практической конференции «21 век: фундаментальная наука и технологии». Том 2 (“21 century: fundamental science and technology V”. Vol.2, spc Academic). – North Charleston, SC, USA: Create Space, 2014. – pp. 167-171.
2. Речинский А.В. и др. Комплексная методика оценки качества деятельности подразделений Санкт-Петербургского государственного политехнического университета // Современные технологии управления, №12 (24), декабрь 2012. – Режим доступа к журналу: <http://sovman.ru>
3. Черненький А.В. Принципы оценки и ранжирования структурных подразделений вуза // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 116 (02). – С. 1327-1339. Эл. ресурс: <http://ej.kubagro.ru/2016/02>
4. Кузнецов В.В., Магер В.Е., Стеганцов А.В., Черненькая Л.В. Экспертная информационная система для расчета рейтинга подразделений как составляющая системы менеджмента качества СПбПУ // Сборник на-

учных трудов XIX международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении», ч.2. – СПб.: Изд-во Поли-техн. ун-та, 2015. – С. 273-284.

5. Речинский А.В. и др. Разработка методики расчета показателей эффективности деятельности университета и его структурных подразделений // Современные технологии управления, № 6 (54), июнь 2015. – Режим доступа к журналу: <http://sovman.ru>
6. Черненький А.В. Управление конкурентоспособностью организаций на основе совершенствования мониторинга систем менеджмента качества // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета, 2016, № 2 (98). – С. 142-146.

УДК 303.732.4(076)

Малиновская Галина Александровна¹,

Канд. техн. наук, доцент,

Прохорова Евгения Сергеевна²,

Канд. техн. наук, доцент,

Тюсова Марианна Константиновна³,

Канд. ссциолог. наук, доцент

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ

Н. Новгород, ФГБОУ ВПО Нижегородский институт управления -
филиал РАНХиГС, ¹

malinowga@gmail.com, ²proev@list.ru, ³tusova.61@mail.ru

Аннотация. В статье приводится набор показателей для оценки системы безопасности страны и описана методика расчёта показателя геополитического окружения государства.

Ключевые слова: оценка состояния системы, показатели национальной безопасности, состояние геополитического окружения.

Galina A. Malinovskaya,

Ph.D, associate professor,

Evgeniya S. Prokhorova,

Ph.D, associate professor,

Marianna K. Tusova,

Ph.D, associate professor

QUANTITATIVE INDICATORS OF SECURITY OF THE COUNTRY

Abstract. The article presents a set of indicators to assess the system of security of the country and describes the methodology of calculation of indicators of the geopolitical environment of the state.

Keywords: assessment of the system status , national security indicators , the state of the geopolitical environment.

Поддержание необходимого уровня национальной безопасности является одним из условий устойчивого развития страны, её стабильности. Оценка состояния системы национальной безопасности требует, чтобы процесс формирования набора показателей, вполне характеризующих то или иное её состояние, отвечал принципам системного подхода [4]. Системный подход к оценке уровня национальной безопасности требует выделения основных показателей, относящихся ко всем сферам жизнедеятельности личности, общества и государства [3].

Выделим основные показатели, характеризующие состояние системы безопасности нашей страны.

1. *Показатели уровня преступности в государстве* (увеличение/уменьшение числа преступлений; доля преступлений различной направленности в общем числе преступлений; изменение сроков, получаемых за подобные преступления).

2. *Показатель террористической угрозы государству* выводится на основе информации о числе предотвращённых и проведённых террористических актов.

3. *Показатель международной безопасности страны*, представляет собой степень (уровень) влияния государства на изменение благополучного существования других стран мира, базируется на основных хорошо измеримых факторах мирового влияния - таких, как численность населения; валовое годовое потребление энергии; ВВП; валовой годовой объём внешней торговли; военный потенциал страны; информационные и технологические ресурсы.

4. *Показатели уровня национальной обороны* (значения данного показателя получают путём сравнения прошлого и настоящего (или желаемого и реального уровня состояния армии государства), с помощью данных о численности армии, образовании военнослужащих в срочной армии, здоровье военнослужащих, заработной плате офицерского состава, числа преступлений в армии, техническом оснащении, численности войск первой готовности).

5. Показатель общественной активности граждан (численность партий и общественных организаций различной направленности).

6. Показатель степени атомизации общества [1] (наличие или отсутствие объединяющей идеи, уровень разобщённости общества).

7. Показатель информационной безопасности (уровень расходов на образование и науку в процентах от ВВП; уровень информатизации органов государственной власти и местного самоуправления; уровень информационной безопасности информационных систем государственного и муниципального управления, а также объектов обороны и объектов стратегической важности [3]; уровень противодействия поражающей способности информационного оружия других стран мира [2]).

8. Показатель уровня военно-технического и мобилизационного потенциала страны (количество и качество боевой техники имеющейся в вооружённых силах, количество людских и материальных ресурсов, которые государство может привлечь для мобилизационного развертывания вооружённых сил и полноценного обеспечения нужд фронта и тыла, в процессе перевода экономики страны с мирного на военное положение [8]).

9. Показатель состояния геополитического окружения государства.

Остановимся детально на последнем показателе национальной безопасности - показателе состояния геополитического окружения государства и проведём его расчёт.

Таблица 1.

Страны	Россия (1)	Германия (2)	Польша (3)	*** ***	Иран (n-2)	Индия (n-1)	Китай (n)
Россия (1)	*	2	1	*** ***	3	3	1
Германия (2)	2	*	0	*** ***	6	7	4
Польша (3)	1	1	*	*** ***	5	6	5
*****	*****	*****	*****	*** ***	*****	*****	*****
Иран (n-2)	3	3	5	*** ***	*	1	2
Индия (n-1)	3	3	6	*** ***	1	*	1
Китай (n)	1	1	5	*** ***	2	1	*

В таблице 1 представлен фрагмент матрицы R , значения элементов r_{ij} которой показывают минимальное число стран, которые необходимо пройти, для того, что бы попасть из страны i в страну j .

Значение каждого из элементов a_{ij} матрицы A (см. табл. 2) представляют собой число конфликтов, происходивших между странами i и j на протяжении периода времени совместного существования данных государств.

Таблица 2.

№ Страны	1	2	3	***	n-2	n-1	N
1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	****	A_{1n-2}	a_{1n-1}	a_{1n}
2	A_{21}	a_{22}	a_{23}	****	A_{2n-2}	a_{2n-1}	a_{2n}
3	A_{31}	a_{32}	a_{33}	****	A_{3n-2}	a_{3n-1}	a_{3n}
****	***	****	****	****	****	****	****
n-2	a_{n-21}	a_{n-22}	a_{n-23}	****	a_{n-2n-2}	a_{n-2n-1}	a_{n-2n}
n-1	a_{n-11}	a_{n-12}	a_{n-13}	****	a_{n-1n-2}	a_{n-1n-1}	a_{n-1n}
N	a_{n1}	a_{n1}	a_{n1}	****	a_{n1}	a_{n1}	a_{n1}

Если проанализировать исторические хроники последнего тысячелетия, то можно сделать вывод о том, что количество конфликтов, происшедших между парой государств обратно пропорционально расстоянию между ними:

$$a_{ij} \sim \frac{1}{r_{ij} \alpha}.$$

Под конфликтами между странами подразумеваются конфликты различного рода (традиционные войны с применением оружия и военной техники, гражданские войны, торгово-экономические войны (текстильный конфликт между США и Китаем), информационные войны [2], [6]).

Можно оценить вероятности возникновения конфликтов между парами государств различной удалённости друг от друга.

Таблица 3

	Внутри страны	Соседние страны	2-й уровень окружения	**	n-й уровень окружения
Среднее число конфликтов между странами	l_0	l_1	l_2	**	l_n
Вероятность возникновения конфликтов	P_1	P_2	P_3	**	P_n

$l_k = \frac{m_k}{c_k}$ - среднее число конфликтов, происшедших между странами k -ой группы, где m_k - количество конфликтов между странами, принадлежащими k -ой группе, c_k - количество стран, входящих в k -ую группу.

$P_k = \frac{m_k}{\sum_{k=1}^{\infty} m_k}$ - вероятность возникновения конфликтов между странами k -ой группы.

Анализ показывает, что наибольшая вероятность возникновения конфликтов между странами существует для соседних стран. Это происходит, поскольку именно между соседними странами существует наибольшее число претензий и притязаний друг к другу (территориальных, ресурсных и т.д.) [5].

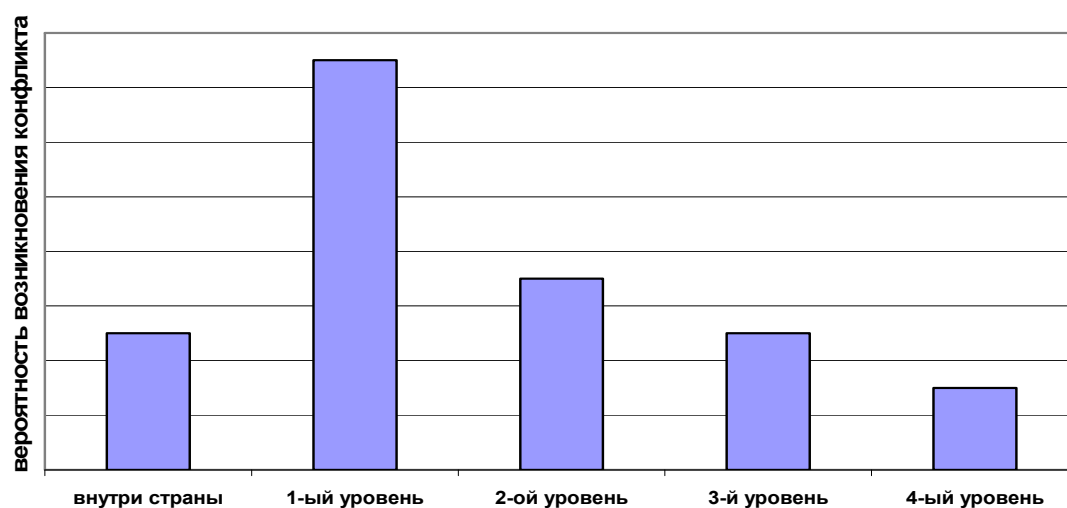


Рис. 1. Вероятности возникновения конфликтов между странами

В связи с этим очень важным для России в настоящее время является предотвращение возможных конфликтов с близлежащими государствами, возникшими после развала СССР. Конфликты в Грузии и на Украине подтверждают этот вывод. Хотя ещё недавно конфликты между двумя странами, такими, как например, Россия и Украина, вследствие близости культур, уклада жизни, языка, религии могли показаться на первый взгляд маловероятными.

Угроза конфликта между соседними странами может увеличиваться за счёт информационной войны [2], развёрнутой третьим государством на территории соседней страны и преследующего свои цели, как это было, например, после распада Югославии (дискредитация Сербии со стороны США). Это же происходит и сейчас по отношению к России в близлежащих государствах.

Надо отметить, что в настоящее время в связи с глобализацией современного мира, помимо географической близости государств, необходимо рассматривать близость по целому ряду параметров, таких, например, как ресурсные.

Начавшийся в XX веке процесс глобализации [5] привёл к возникновению цепного характера конфликтов (первая и вторая мировые войны начались с локальных конфликтов). Причём конфликты по мере продвижения их от эпицентра не затухают, поскольку, как было показано выше, вероятность возникновения конфликтов между двумя соседними государствами наибольшая.

Список литературы

1. Малиновская Г.А., Прохорова Е.С., Тюсова М.К. Атомизация общества как признак поражения в информационной войне // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XVII Международной научно-практической конференции, Ч.1.- СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2013. - С. 73-78.

2. Малиновская Г.А., Прохорова Е.С., Тюсова М.К. Системный анализ поражающей способности информационного оружия // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XIX Международной научно-практической конференции, 1-3 июля 2015 года. Ч.1. - СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2015. - С. 130-136.

3. Малиновская Г.А., Прохорова Е.С., Тюсова М.К. Системный подход к проблеме информационной безопасности организации // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XV Международной научно-практической конференции, Ч.2. - СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2011. - С.162-165.

4. Малиновская Г.А., Надеев А.Т., Тюсова М.К. Системный подход к исследованию социально-политических процессов // Системный анализ в проектировании и управлении: труды X Международной научно-практической кон-

ференции. Ч.1. - СПб: Изд-во Политехнического университета, 2006. - С.139-140.

5. Марасов М.Г. Военные аспекты обеспечения национальной безопасности России в условиях расширения НАТО на Восток: диссертация кандидата политических наук. - Н.Новгород, 1999. - 231 с.

6. Надеев А.Т., Малиновская Г.А. Виртуализация сознания и информационные войны // Системный анализ и моделирование социально-экономических и технологических процессов: сборник статей. Вып.4. - Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2004. - С.38-46.

7. Надеев А.Т. Войны в информационных пространствах. Тенденции и перспективы / Материалы V Всероссийского научно-богословского симпозиума «Мир в третьем тысячелетии. Диалог мировоззрений». - Н.Новгород: Изд-во ВВАГС. - С. 74-76.

8.<http://encyclopedia.mil.ru/encyclopedia/dictionary/details.htm?id=13571@morfDictionary> (военный энциклопедический словарь на сайте МО РФ)

УДК 330.43

Исаев Илья Валерьевич,

Аспирант,

Рогачев Алексей Фруминович,

д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Математическое моделирование и информатика»

ОРГАНИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ СППР В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

г. Волгоград, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
аграрный университет»,
isav7779@gmail.com

Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области по проекту №15-46-02566 «Математическое моделирование и совершенствование института налоговых механизмов для обеспечения экологической безопасности Волгоградского региона с учетом межотраслевых экстерналий».

Аннотация. В статье изложено исследование проблемы организации хранения данных для системы поддержки принятия решений (СППР) в области эколого-экономической безопасности. В рамках исследования определены основные требования к хранилищу данных. Для реализации хранения данных предложена технология облачного хране-

ния информации. Проведен анализ наиболее крупных облачных сервисов. На основании полученных данных, для обеспечения хранения данных СППР в области эколого-экономической безопасности выбран облачный сервис Amazon RDS. Охарактеризован алгоритм создания БД. По результатам исследования сделан вывод, что предложенные инструментальные средства на основе облачных технологий позволяют обеспечить мобильный и безопасный доступ к данным эколого-экономических систем.

Ключевые слова: эколого-экономическая безопасность, облачные технологии, хранилище данных, облачный сервис, система поддержки принятия решений.

Ilya V. Isaev,
graduate student,

Alexey F. Rogachev,

Ph.D., professor, head the department of "Math modeling and informatics"

ORGANIZATION OF STORAGE FOR DSS OF ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC SECURITY

Volgograd, Volgograd state agrarian university,
isav7779@gmail.com

This article was prepared with the financial support of the Russian Federal Property Fund and the Administration of the Volgograd area designed by №15-46-02566 «Mathematical modeling and improving the tax arrangements of the Institute to ensure the environmental safety of the Volgograd region, taking into account the inter-sectoral externalities».

Abstract. The article describes a study the problems of organizing the storage of data for decision support system (DSS) in the field of environmental and economic security. The study identified the main requirements for the data store. To implement the proposed data storage cloud data storage technology. The analysis of the largest cloud services. According to the analysis of DSS for storage of data in the field of environmental and economic security of selected cloud service Amazon RDS. Described algorithm for creating the database. The study concluded that the proposed tools based on cloud technologies allow for a mobile and secure access to the data of ecological and economic systems.

Keywords: ecological and economic security, cloud computing, data storage, cloud service, a decision support system.

В процессе проектирования системы поддержки принятия решений (СППР) в области эколого-экономической безопасности одной из наиболее актуальных и сложных задач является организация хранения данных о состоянии различных эколого-экономических систем.

Для хранилища данных СППР в области эколого-экономической безопасности выделяются следующие ключевые требования: доступность, мобильность и безопасность, т.к. хранящаяся в базе данных (БД) информация должна быть доступна на всей территории Российской Федерации, что позволит накапливать большие массивы данных для осуществления глубокого анализа эколого-экономической безопасности регионов РФ.

Наиболее перспективной технологией, соответствующей указанным требованиям, является облачное хранение данных. Технология облачного хранения данных представляет собой модель онлайн-хранилища, в котором все данные хранятся на различных серверах, размещенных в сети. Все данные хранятся и преобразуются в так называемом «облаке», представляющем собой абстрактный виртуальный сервер. Физически эти серверы могут быть расположены территориально удаленно друг от друга географически. С позиции клиента, для него наглядно, что все действия осуществляются в одном месте - «облаке».

Технология облачного хранения данных обладает следующими достоинствами:

- Доступность и мобильность – получение доступа к информации возможно из любой точки мира, где есть Интернет.

- Безотказность.

- Сокращение финансовых затрат на организацию хранения данных.

- Оперативное наращивание мощностей.

С целью реализации облачного хранения данных для СППР в области эколого-экономической безопасности мною были проанализированы сервисы таких компаний как Amazon, Google, HP, Microsoft и Rackspace.

Для анализа определены следующие базовые критерии: временная доступность сервиса, масштабируемость, ошибки чтения и записи данных, стоимость. Рассмотрим результаты анализа по каждому из критериев более подробно:

- 1) Временная доступность сервиса.

Согласно аналитических данных компании Nasuni, Amazon и Google демонстрируют 100% доступность в период тестирования, облако Microsoft – 99.996%, прочие провайдеры - ниже 99.99% (Рис. 1).

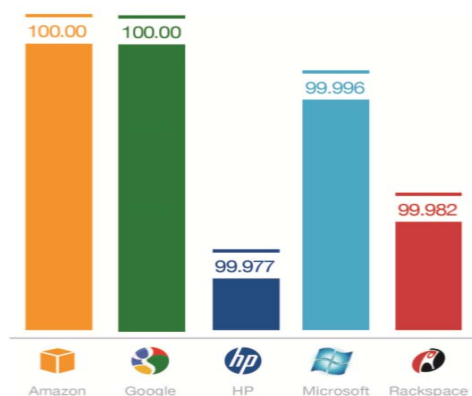


Рис. 1. Временная доступность облачного сервиса

2) Масштабируемость.

Отличные возможности масштабирования имеют облачные хранилища Amazon, Microsoft и Google. Облака от HP и Rackspace показали наихудшие результаты масштабирования при загрузке большого числа объектов в облако.

3) Ошибки записи данных.

При тестировании записи 100 миллионов объектов Amazon, Google и Microsoft продемонстрировали полное отсутствие ошибок. Ошибки при записи данных HP - 0.000017% и Rackspace - 0.000001%.

4) Стоимость.

Сравнивая двух лидеров проводимого тестирования Amazon и Microsoft Azure как в реальном применении, так и в тестовых возможностях выигрывает Amazon.

Таким образом, на основании результатов проведенного анализа для реализации облачного хранения данных в СППР рекомендуется к использованию облачный сервис Amazon Relational Database Service (Amazon RDS), представляющий собой распределённую реляционную базу данных от Amazon.com, а именно облачный сервис, который обеспечивает пользователей реляционными базами данных для использования в приложениях.

Процесс создания облачного хранилища для БД «Экостат» представляет собой следующий алгоритм:

1. Регистрация на сайте - aws.amazon.com;
2. Запуск экземпляра RDS. Создание виртуального сервера, на который установлена нужная реляционная СУБД. Создание экземпляра RDS выполняется из консоли RDS Dashboard.
3. Выбор подходящей СУБД (Рис. 2).

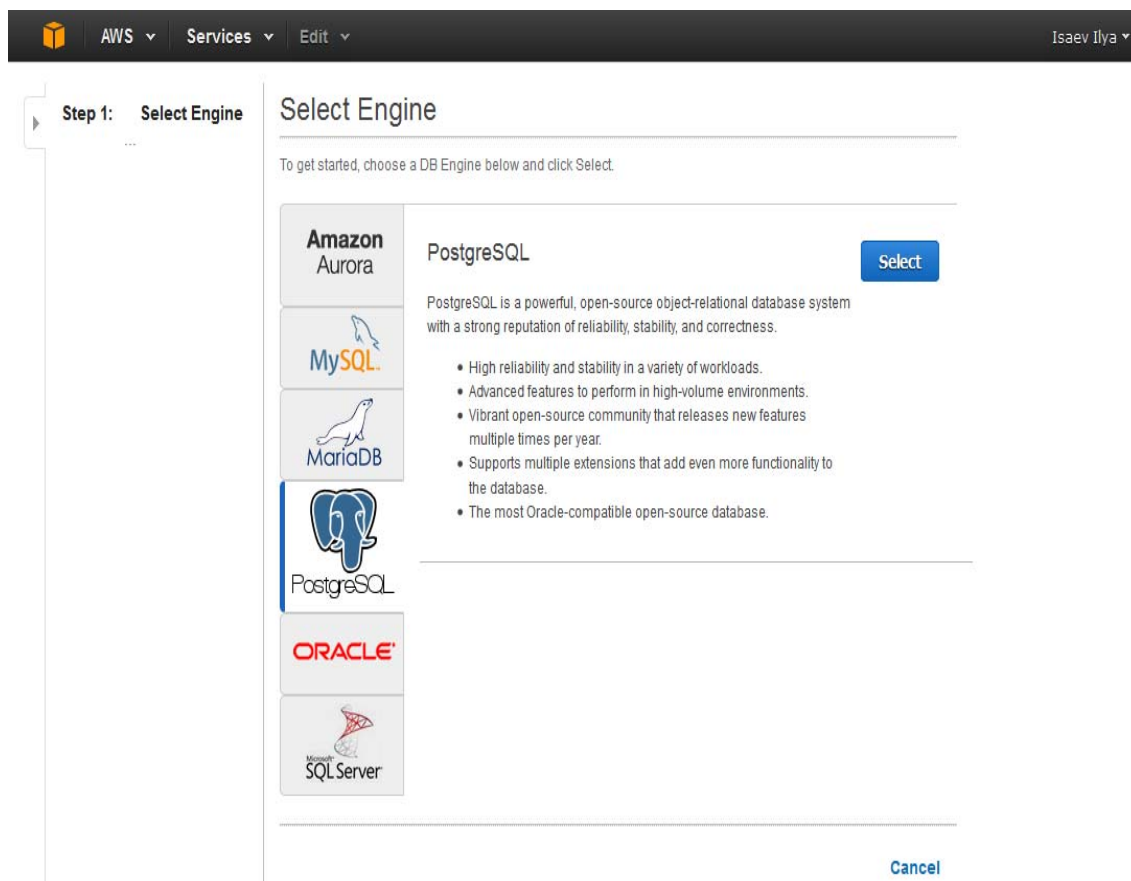


Рис. 2. Выбор СУБД экземпляра Amazon RDS

4. Задание системных настроек СУБД. На данном этапе детализируется выбранная СУБД: вводятся идентификаторы, определяются лицензия и версия, указывается необходимое дисковое пространство и пароли для доступа к СУБД.

5. Конфигурирование экземпляра Amazon RDS. Определяются характеристики самой базы данных: определяется пользовательское название, и вводятся иные параметры, специфичные для выбранной модели СУБД.

В результате описанных действий запускается экземпляр RDS-сервера, который отражается в главном списке консоли. Особенностью сервиса RDS является то, что пользователь не имеет представления, в какой операционной системе работает требуемая СУБД, и не беспокоится о её сопровождении - пользователю предоставляется только непосредственный интерфейс к СУБД. Практически все функции RDS доступны через специальный программный интерфейс. Основные операции с базой данных производятся через «Консоль управления» (рис. 3).

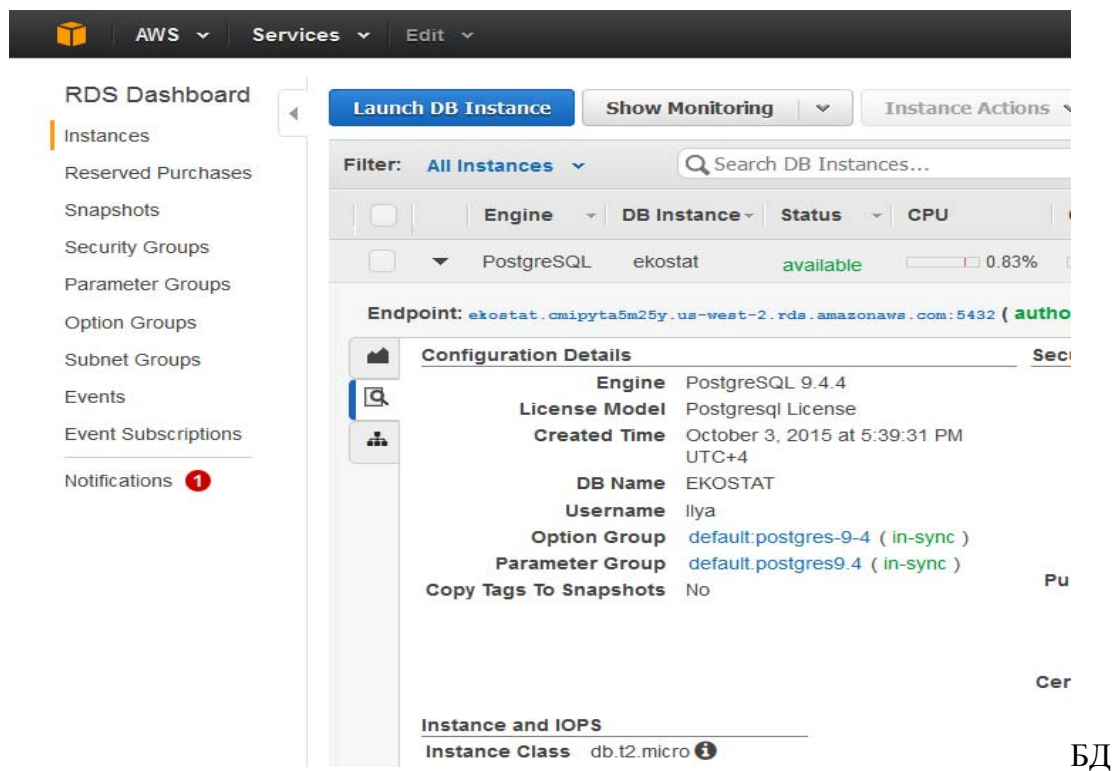


Рис. 3. Консоль управления

После того как СУБД в RDS запущена, взаимодействие с ней обеспечивается посредством любого клиента, например, EMS SQL Manager for PostgreSQL (Рис. 4).

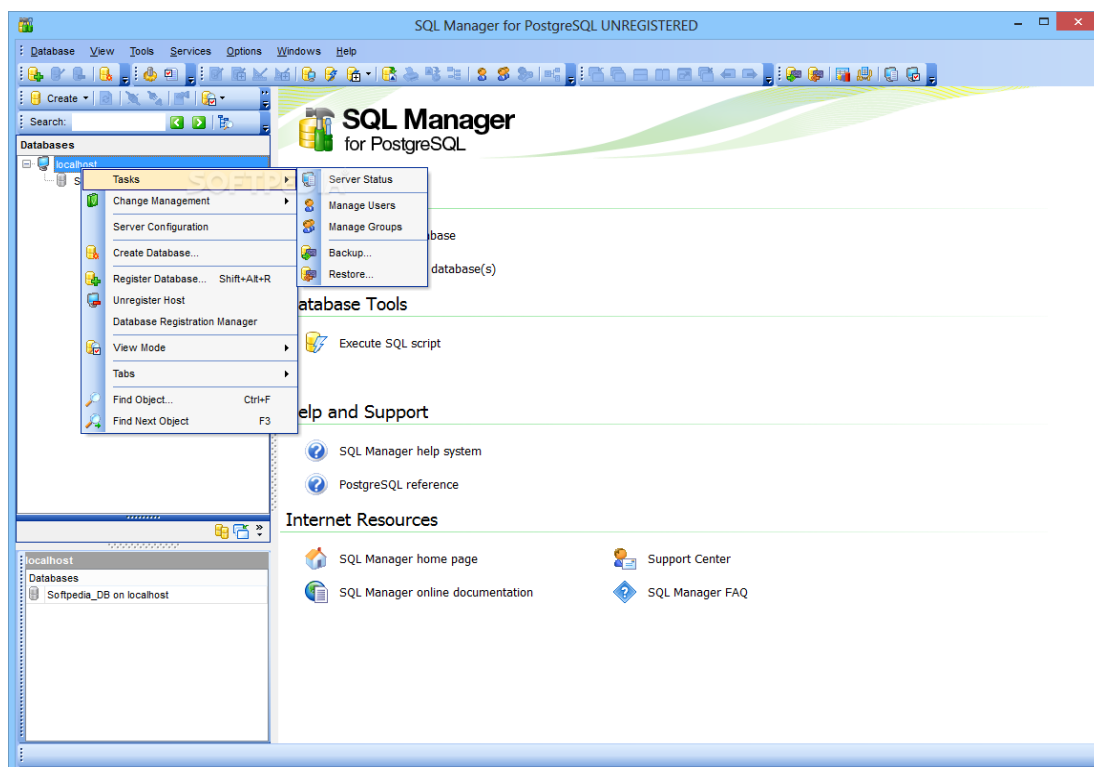


Рис. 4. Клиент EMS SQL Manager for PostgreSQL для управления СУБД

Результатом выполнения вышеуказанного алгоритма является облачное хранилище данных, обеспечивающее хранение данных для ССПР в области эколого-экономической безопасности. Благодаря реализации данной БД в облачном хранилище достигается мобильный доступ к информации и обеспечивается ее сохранность, что позволит накапливать большие массивы данных для осуществления глубокого анализа эколого-экономической безопасности регионов РФ.

Список литературы

1. Исаев И.В. Информационные аспекты процессного подхода к обеспечению безопасности эколого-экономических систем [Текст] / А.Ф. Рогачев, Н.Н. Скитер, И.В. Исаев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 4 (32). С. 271-275.
2. Исаев И.В. Проблемы создания СППР для обеспечения региональной эколого-экономической безопасности / Исаев И.В., Рогачев А.Ф. / Наука и молодежь: новые идеи и решения. Материалы IX Международной научно-практической конференции молодых исследователей, посвященной 70-летию Победы в Великой Отечественной войне, г. Волгоград, апрель 2015г. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ, 2015 г.
3. Исаев И.В. Проблемы ранжирования функциональных характеристик интерфейса системы поддержки принятия решений в сфере эколого-экономического менеджмента / И.В. Исаев, А.Ф. Рогачев // Фундаментальные исследования. 2015. № 9-3. С. 560-564.
4. Исаев И.В. Безопасность облачных вычислений / Исаев И.В. / Наука и молодежь: новые идеи и решения: Материалы VII Международной научно-практической конференции молодых исследователей, посвященной 70-летию Победы в Сталинградской битве, г. Волгоград, май 2013 г. Часть I. – Волгоград: ФГБОУ ВПО Волгоградский ГАУ ИПК «Нива», 2013. – 328 с.
5. Красс М.С. Моделирование эколого-экономических систем: Учебное пособие / М.С. Красс. - 2-е изд. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 272 с.
6. Наталуха И. А. Моделирование разработки экологических инноваций / Наталуха И. А. // Управление экономическими системами: электронный научный журнал, №18 – 2009.
7. Skiter N. Modeling Ecological Security of a State / Skiter N., Rogachev A. Mazaeva T. // Mediterian of Social Science. Vol. 6 No. 3 S. 6 June 2015. P.192-195

УДК 338.46:338.22:330:53

Кустов Олег Михайлович,
Директор

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ ВЛИЯНИЯ ИННО- ВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЭКО- НОМИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский филиал ФГУП «ЭПМ» ФМБА
России СКТБ Биофизприбор,
modusponens@mail.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена многоплановостью проблемы комплексного оценивания влияния инвестиционной и инновационной деятельности в медицине, фармацевтике и смежных областях на экономическую безопасность здравоохранения. Применение системного подхода позволило: определить значимость экономической безопасности здравоохранения для обеспечения общественного здоровья; выявить угрозы экономической безопасности здравоохранения; определить источники исходных данных и сформировать показатели для оценивания инвестиционно-инновационной деятельностью в здравоохранении. Предложено проводить межстрановые сравнения с использованием показателей международной системы счетов здравоохранения; анализировать динамику коэффициента обновления/старения основных фондов организаций, деятельность которых связана со здравоохранением и предоставлением социальных услуг.

Ключевые слова: инновационно-инвестиционная деятельность, международная система счетов здравоохранения, системный подход, экономическая безопасность здравоохранения.

Oleg M. Kustov,
Director

SYSTEM APPROACH TO ESTIMATING THE INFLUENCE OF IN- NOVATIVE-INVESTMENT ACTIVITIES ON THE ECONOMIC SE- CURITY OF HEALTH CARE

St. Petersburg, SKTB Biofizpribor, St. Petersburg Branch of the Federal State
Unitary Enterprise "EPM", FMBA, Russia,
modusponens@mail.ru

Abstract. The relevance of the study results from multifaceted challenges in a complex estimation of the influence that investments and innovations in medicine, pharmacy and related fields exert upon the economic security of the health care. The use of a system approach gave an opportunity to determine the value of economic security for public health; to identify threats to the economic security of health care; to identify the sources of input data and generate metrics for evaluation of investment and innovation activities in health care. It was proposed to carry out cross-country comparisons using the indicators of international health accounting system; to analyze the dynamics of the update/aging coefficient for fixed assets in organizations whose activities are related to health and social services.

Keywords: innovation and investment, international system of health accounts, system approach, economic security of health care.

Актуальность выработки системного подхода к оцениванию инновационно-инвестиционной деятельности в здравоохранении

Долгосрочные стратегии развития медицинской науки, медицинской и фармацевтической промышленности [0, 0] предусматривают развитие фундаментальных исследований в медицине, биологии, химии и смежных областях с целью развития медицинских технологий и фармацевтической продукции до уровня, позволяющего обеспечить инновационное развитие и экономическую безопасность здравоохранения. Принятие управленческих решений о приоритетном развитии отдельных направлений медицинской и фармацевтической науки и промышленности в условиях ограниченных денежных ресурсов требует учета множества взаимозависимых условий и взаимосвязанных факторов, оказывающих влияние на результативность решения задач стратегического развития.

Несмотря на то, что набор целевых показателей, позволяющих оценить степень инновационного развития медицинской и фармацевтической промышленности, определен [0], практически не разработаны вопросы комплексного оценивания влияния инвестиционной и инновационной деятельности в медицине, фармацевтике и смежных областях на экономическую безопасность здравоохранения. Учитывая многоплановость сформулированной проблемы, можно с уверенностью утверждать, что системный подход является методологической основой ее решения.

Проблематика статьи заключается в определении с позиций системного анализа методологических основ оценивания влияния инновационно-инвестиционной деятельности в здравоохранении на обеспечение безопасности общественного здоровья во взаимосвязи с другими факторами экономической безопасности здравоохранения.

Цель исследования – разработка концептуальных подходов к доказательному оцениванию характеристик результативности инновационно-инвестиционной деятельности в здравоохранении.

Методологической основой исследования является системный подход и его аспекты, использованные для характеристики системы здравоохранения и обеспечивающих ее систем, в том числе:

элементный аспект – для определения состава указанных систем;

структурный аспект – для описания взаимосвязи между инвестиционной, инновационной деятельностью, их влиянием на экономическую безопасность здравоохранения;

функциональный аспект – для выявления тех функциональных задач рассматриваемых систем, решение которых обеспечивает экономическую безопасность здравоохранения;

процессный аспект – для описания инновационных процессов, определяющих экономическую безопасность здравоохранения;

коммуникативный аспект – для исследования связей системы здравоохранения с обеспечивающими ее системами и безопасностью общественного здоровья;

исторический аспект – для изучения жизненного цикла инноваций в здравоохранении;

целевой аспект – для определения целей и задач инновационного развития и функционирования системы здравоохранения;

управленческий аспект – для выявления роли управленческих воздействий на инновационные процессы системе здравоохранения;

информационный аспект – для характеристики процессов сбора и обработки информации о состоянии экономической безопасности здравоохранения.

Результаты исследования.

Применение системного подхода позволило:

- определить значимость экономической безопасности здравоохранения для обеспечения общественного здоровья;

- выявить угрозы экономической безопасности здравоохранения, обусловленные недостаточно результативной инвестиционно-инновационной деятельностью в здравоохранении;

- сформировать показатели для оценивания инвестиционно-инновационной деятельностью в здравоохранении и определить источники исходных данных и методики их вычисления.

Значимость экономической безопасности здравоохранения для обеспечения общественного здоровья. Под экономической безопасностью системы здравоохранения нами понимается состояние финансового, кадрового, технологического потенциала системы и ее производственной инфраструктуры, гарантирующее качество и доступность меди-

цинской помощи населению (в соответствии с текущими потребностями) и обеспечивающее инновационное развитие системы и распространение передовых медицинских технологий (в соответствии с будущими потребностями).

Термин «здоровье» определен в Уставе Всемирной организации здравоохранения как состояние физического, душевного и социального благополучия [0]. С системных позиций понятие здоровья может быть отнесено к индивидуумам (биосоциальной системе), населению (социально-популяционной системе) и обществу (социально-экономической системе). Поэтому общественное здоровье можно определять как жизнеспособность общества, как социально-экономической системы, и его способность к устойчивому развитию.

Общественное здоровье используется, во-первых, как ресурс для самовоспроизводства, во-вторых, для получения других общественных благ и социальных результатов. Обеспечение экономической безопасности системы здравоохранения является важным механизмом обеспечения общественного здоровья.

Угрозы экономической безопасности здравоохранения, обусловленные недостаточно результативной инвестиционно-инновационной деятельностью в здравоохранении, заключаются в следующем:

- старение основных фондов организаций здравоохранения и неэффективность инвестиций в производственную инфраструктуру здравоохранения;
- отсутствие условий для создания и диффузии инноваций в медицинской деятельности;
- недостаточная интенсивность создания и диффузии инноваций в финансировании и организации системы здравоохранения;
- неоптимальность финансирования текущей деятельности подсистем здравоохранения и программных мероприятий,

Организационно-экономические методы обеспечения экономической безопасности здравоохранения могут быть использованы наиболее эффективно для парирования угроз, связанных с неоптимальной и неконкурентной организацией денежных потоков в системе здравоохранения, отсутствием целенаправленного распространения инноваций и обновления основных фондов.

Источники исходных данных, показатели для оценивания инвестиционно-инновационной деятельностью в здравоохранении и методики их вычисления.

Количественные оценки влияния инвестиционно-инновационной деятельности в здравоохранении на уровень его экономической безопасности могут быть построены по официальным данным социально-экономической и медицинской статистики. Методологические и методи-

ческие основы такого анализа рассматриваются, например, в работах [0, 0, 0].

Использование международной системы счетов здравоохранения [0] позволяет доказательно оценивать влияние перечисленных выше угроз на экономическую безопасность здравоохранения на основе международных сопоставлений. В частности предлагается использовать показатели, характеризующие интенсивность обновления основных фондов организаций, предоставляющих медицинские услуги и уровень распространения инноваций в сфере здравоохранения. Действующие формы федерального статистического наблюдения позволяют получить данные для проведения сравнений, несмотря на то, что Россия до настоящего времени не осуществляет статистический учет по международной системе счетов здравоохранения.

При проведении международных сравнений целесообразно анализировать существующие системы финансирования здравоохранения, структура которых определяется следующими элементами: совокупностью институциональных единиц, обеспечивающих поступление денежных средств; финансовых агентов, администрирующих денежные потоки, а также отношениями между финансовыми агентами и институциональными единицами. Необходимо учитывать различные виды доходов системы здравоохранения, а также устанавливать границы статистических наблюдений по времени наблюдения и по принадлежности активов к производителям услуг здравоохранения. Например, актив учитывается после получения прав собственности производителем услуг здравоохранения, а не с момента производства соответствующего капитального продукта [0].

Для первичной оценки эффективности инвестиций в развитие инфраструктуры здравоохранения целесообразно рассматривать интенсивность обновления основных фондов организаций здравоохранения, при этом необходимо опираться на классификацию видов и показатели валового накопления капитала [0].

К сожалению, действующий и вступающий в силу в 2017 году общероссийский классификатор основных фондов [0]. не вполне соответствует разделам международной классификации. Например, не представляется возможным определить раздел «медицинское оборудование», частично пересекающийся с несколькими разделами классификатора. Укрупненные разделы классификатора использованы в форме федерального статистического наблюдения № 11 «Сведения о наличии и движении основных фондов (средств) и других нефинансовых активов» [0]. В то же время, в форме №62 [0] приводятся данные об увеличении стоимости основных средств, в том числе – медицинского оборудования, медицинского инструментария и прочих основных средств.

Таким образом, при сложившейся системе статистического учета для оценки угроз экономической безопасности здравоохранения на основе международных сопоставлений необходимо использовать данные из различных форм статистических наблюдений. При этом типичной является ситуация, при которой первичные данные, собираемые Росстатом, содержат целевые сведения об организациях здравоохранения, а официальные обобщенные аналитические данные, представленные в открытом доступе, недостаточно детализированы. Например, данные приводятся для организаций, относящихся к укрупненному разделу видов экономической деятельности «здравоохранение и предоставление социальных услуг».

Свидетельством недостаточной эффективности инвестиций в развитие инфраструктуры здравоохранения являются результаты анализа динамики обновления основных фондов организаций, деятельность которых связана со здравоохранением и предоставлением социальных услуг. В последние годы наблюдаются существенные снижения коэффициента обновления основных фондов (отношения объема инвестиций в основной капитал к объему основного капитала): 2012 г. – 6,1%; 2013 г. – 5,8%; 2014 г. – 3,8%.

Количественным показателем инвестиционно-инновационной деятельности в системе счетов здравоохранения [0] является объем ресурсов, использованных для научных исследований и инноваций. Показатель измеряется в форме затрат на исследования и разработки. Эти затраты, как правило, не используются для текущего потребления услуг здравоохранения, но влияют на будущее потребление. Результатом исследования и разработок являются продукты интеллектуальной собственности. Собственник продукта может продать его или использовать в своей деятельности при производстве услуг здравоохранения. Затраты на исследования и разработки можно относить к текущему потреблению, только в том случае, если их результаты непосредственно используются для повышения эффективности услуг здравоохранения. Эти затраты могут быть отнесены к инвестициям в том случае, если результаты исследований и разработок представляют собой активы, например, патенты.

Новизна полученных результатов заключается в следующих положениях.

Для доказательного оценивания влияния инвестиционно-инновационной деятельности на экономическую безопасность здравоохранения предлагается проводить межстрановые сравнения с привлечением показателей международной системы счетов здравоохранения, в частности – показателей, характеризующих интенсивность обновления основных фондов организаций, предоставляющих медицинские услуги и уровень распространения инноваций в сфере здравоохранения.

Для первичной оценки эффективности инвестиций в развитие инфраструктуры здравоохранения предлагается анализировать динамику коэффициента обновления/старения основных фондов организаций, деятельность которых связана со здравоохранением и предоставлением социальных услуг.

При использовании показателей международной системы счетов для оценивания влияния инвестиционно-инновационной деятельности в здравоохранении на его экономическую безопасность необходима корректировка используемых Росстатом методик сводки и группировки данных, фиксируемых в действующих формах федерального статистического наблюдения.

Список литературы

1. Верзилин Д.Н., Горнак С.Ю., Максимова Т.Г. Мониторинг региональной обусловленности отдельных показателей здорового образа жизни и здоровья населения // Социология и право. 2015. №1.

2. Верзилин Д.Н., Максимова Т.Г. Статистические основы мониторинга инновационной безопасности России // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2014. № 4(64). С.120-124.

3. Общероссийский классификатор основных фондов. ОК 013-2014 (СНС 2008). (принят и введен в действие Приказом Росстандарта от 12.12.2014 N 2018-ст в ред. Приказа Росстандарта от 10.11.2015 N 1746-ст). URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=184368;fld=134;from=189131-8;rnd=203280.27301021572202444;;ts=02032806528690368868411> (Дата обращения 30.03.2016).

4. Приказ Росстата от 3 июля 2015 г. № 296 «Об утверждении статистического инструментария для организации федерального статистического наблюдения за наличием и движением основных фондов (средств) и других нефинансовых активов». URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=182497&fld=134&dst=100012&from=169624-24&rnd=208093.33543001278303564&#1> (Дата обращения 30.03.2016).

5. Приказ Росстата от 30 декабря 2015 г. N 672 «Об утверждении статистического инструментария для организации министерством здравоохранения Российской Федерации федерального статистического наблюдения в сфере здравоохранения». URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=192245;fld=134;dst=1000000001,0;rnd=0.3906777296215296#1> (Дата обращения 30.03.2016).

6. Сигов В.И., Верзилин Д.Н., Верзилин С.Д. Программно-целевое управление социальной безопасностью: концептуальный подход к оцениванию результативностью // Журнал правовых и экономических исследований. 2015. №4. С.162-168.

7. Стратегия развития медицинской науки в Российской Федерации на период до 2025 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 28 декабря

2012 г. № 2580-р. – М.: Собрание законодательства Российской Федерации, 14.01.2013, №2, ст.111, 2013. – 18 с.

8. Устав Всемирной организации здравоохранения. – http://www.who.int/governance/eb/who_constitution_ru.pdf. (Дата обращения 30.03.2016).

9. Федеральная целевая программа Российской Федерации «Развитие фармацевтической и медицинской промышленности на период 2020 года и дальнейшую перспективу»: утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 17.02.2011 N 91 (ред. от 15.08.2012 N 826, от 24.10.2012 N 1095, от 06.11.2014 N 1165) – М.: Собрание законодательства Российской Федерации, 05.05.2014, №18 (часть I), ст. 2152, 2014. – 48 с.

10. Черешнев В.А., Верзилин Д.Н., Максимова Т.Г., Верзилин С.Д. Экологизация и социальноэкономическое развитие регионов: оценка региональной дифференциации // Экономика региона. 2013. №1 (33). С.33-46.

11. OECD, Directorate for Employment, Labour and Social Affairs (2012), Implementing the Capital Account in SHA 2011 URL: <https://www.oecd.org/els/health-systems/CapitalUnderSHA2011.pdf> (Дата обращения 30.03.2016).

12. OECD, Eurostat, WHO (2011), A System of Health Accounts, OECD Publishing.doi: 10.1787/9789264116016-en (Дата обращения 30.03.2016).

УДК 004.056.55

Сергеев Александр Сергеевич

канд. техн. наук, доцент, докторант

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КРИП- ТОАНАЛИЗА БЛОЧНОГО СТАНДАРТА ШИФРОВАНИЯ AES

г. Ростов-на-Дону, Донской государственный технический университет,
sergeev00765@mail.ru

Аннотация. Рассматривается возможность применения биоинспирированных методов для реализации криптоанализа блочного стандарта шифрования AES. Приводится описание стандарта шифрования, описание метода криптоанализа на основе параллельной версии алгоритма, приведены оценки минимального числа процессоров для реализации алгоритма, а также экспериментальные результаты.

Ключевые слова: Криптоанализ, генетические алгоритмы, раунд шифрования, информационно-логическая граф-схема, матрица следования, матрица независимости.

Aleksandr S. Sergeev,

Candidate of Science in Engineering, Postdoctoral student

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF METHODS OF EVOLUTIONARY OPTIMIZATION FOR REALIZATION OF CRYPTOANALYSIS OF THE AES BLOCK STANDARD OF ENCIPHERING

Rostov-on-Don, Don State Technical University,
sergeev00765@mail.ru

Abstract. The possibility of application of the bioinspired methods for realization of cryptanalysis of the block standard of enciphering of AES is considered. The description of the standard of enciphering, the description of a method of cryptanalysis on the basis of the parallel version of algorithm are provided, estimates of the minimum number of processors for realization of algorithm, and also experimental results are given.

Keywords: Cryptanalysis, genetic algorithms, a round of encryption, information-logical graph-scheme, the matrix sequence, matrix independence.

В настоящее время при разработке компьютерных технологий, обеспечивающих информационную безопасность и защиту информации, широкое применение находят криптографические методы защиты. Для решения задач криптоанализа, относящихся к классу NP-полных, в последние годы применяются алгоритмы, основанные на природных системах (методы моделирования отжига, генетические алгоритмы (ГА), эволюционные методы, алгоритмы роевого интеллекта и т.д.). В течение последних лет были предложены разнообразные схемы эволюционных вычислений, в т. ч. генетический алгоритм, генетическое программирование, эволюционные стратегии, эволюционное программирование.

Ранее в [1] рассматривались задачи криптоанализа и приведены результаты криптоанализа классических симметричных криптографических алгоритмов с использованием методов эволюционной оптимизации и генетического поиска для симметричных шифров перестановок, а также для реализации шифров простой и многоалфавитной замены, в [2] приведены результаты криптоанализа с использованием технологий муравьиных и пчелиных алгоритмов для классических симметричных и асимметричных криптосистем.

Таким образом, возникает вопрос о возможности применения биоинспирированных методов для криптоанализа современных блочных алгоритмов шифрования, т.к. переход к блочному шифрованию открывает дополнительные возможности для повышения стойкости криптоалго-

ритмов. Следует отметить, что отличительной особенностью применения биоинспирированных методов криптоанализа (в частности, ГА) является возможность использования самого алгоритма шифрования (или расшифрования) в качестве целевой функции для оценки пригодности ключа, определенного с помощью генетических операций. Поэтому можно утверждать, что при использовании ГА процесс определения секретного ключа (например, при криптоанализе 2 типа) зависит не столько от сложности шифрующих преобразований, сколько от самого биоинспирированного метода, который должен обеспечивать достаточное разнообразие генерации ключей. В этой связи задача исследования возможности применения биоинспирированных алгоритмов для криптоанализа блочных криптосистем является, несомненно, актуальной.

Реализация криптоанализа блочных методов с использованием ГА на примере представителя блочных шифров – стандарта DES наряду с экспериментальными результатами была представлена в [3,4]. Применение генетических методов для организации криптоанализа стандарта шифрования ГОСТ 28147-89 описано в [5]. В данной работе мы рассмотрим возможный подход для реализации криптоанализа блочного алгоритма AES.

Отметим, что описание алгоритма приводится, например, в [6,7,8]. Основные термины и обозначения, используемые далее, введены в [7,8]. В [6] приводится понятие массива состояний (промежуточных результатов преобразований, матрицы state), представления ключа шифрования в виде массива, а также таблица зависимости числа раундов от длины блока и длины ключа.

Как отмечено в [8], для шифрования в алгоритме AES применяются следующие процедуры преобразования данных:

1. ExpandKey — Вычисление раундных ключей для всех раундов.
2. SubBytes — Подстановка байтов с помощью таблицы подстановок;
3. ShiftRows — Циклический сдвиг строк в матрице состояний (форме) на различные величины;
4. MixColumns — Смешивание данных внутри каждого столбца матрицы состояний;
5. AddRoundKey — Сложение ключа раунда с матрицей состояний state.

Структурная схема алгоритма шифрования приведена в [9], структурная схема раунда алгоритма приведена в [8]. Как следует из данных схем, перед первым раундом выполняются операции ExpandKey (вычисление раундных ключей для всех раундов) и AddRoundKey (суммирование по модулю 2 с начальным ключом шифра). В соответствии с [7,8] каждый раунд алгоритма шифрования включает преобразования 2-5, т.е.

SubBytes, ShiftRows, MixColumns, AddRoundKey. Подробное описание преобразований раунда шифрования приведено в [7-9].

Следует заметить, что важным свойством как блочных методов, так и ГА, является их внутренний параллелизм, основные модели параллельных ГА (глобальный параллельный ГА, островная модель, клеточный ГА) приведены в [1]. Для разработки криптоанализа алгоритма AES с помощью эволюционного подхода рассмотрим, как и ранее в [4,5], вначале процесс параллельной реализации составляющих его этапов. Описание 5 режимов работы алгоритма, которые предусмотрены для алгоритмов блочного шифрования, приводится в [8]. Далее будем рассматривать режим ECB (Electronic Codebook), который предусматривает шифрование каждого блока независимо от других. Таким образом, одинаковые блоки открытого текста преобразуются в одинаковые блоки зашифрованного текста.

В данном режиме в соответствии с описанием алгоритма на глобальном уровне можно выделить следующие параллельно выполняемые этапы:

- параллельная обработка 128-битовых блоков данных;
- реализация процедуры генерации раундных ключей параллельно с реализацией раундов.

На локальном уровне (при реализации каждого раунда алгоритма шифрования) можно отметить следующие независимые операции:

- параллельное выполнение операции *AddRoundKey* (параллельная реализация операции прибавления 32-битных слов ключа для каждого столбца матрицы состояний);
- параллельное выполнение операции *SubBytes* (параллельная реализация замены байтов с помощью S-блока);
- параллельное выполнение операции *ShiftRows* (параллельный циклический сдвиг строк матрицы состояний);
- параллельное выполнение операции *MixColumns* (параллельное умножение матрицы 4 порядка на каждый столбец матрицы состояний).

Таким образом, с учетом данных преобразований структурную схему алгоритма можно представить в виде, показанном на рис. 1. Для сокращения размерности схемы 16 элементов матрицы состояний при выполнении операции SubBytes обрабатываются в блоках 9-16, операция MixColumns выполняется в блоках 21-24, операции формирования раундовых ключей для 2 и последующих раундов выполняются в одном блоке 3.

Как отмечено в [7], два раунда обеспечивают полное рассеивание и перемешивание информации. Достигается это за счет использования функций ShiftRows и MixColumns. Операция SubBytes придает шифрованию стойкость против дифференциального криптоанализа, а операция

AddRoundKey обеспечивает необходимую секретную случайность. Тем не менее, вопрос об использовании биоинспирированных методов для криптоанализа остается открытым и приобретает несомненную актуальность.

Для дальнейшего определения множества независимых операторов, допускающих параллельное выполнение, используются методы, описанные в [10].

Для данной структурной схемы, показанной на рис. 1, составим информационно-логическую граф-схему, отобразив в ней связи по управлению (двойная линия) и по информации (одинарная линия) (рис. 2). Для данного графа вводится в рассмотрение матрица следования S . В соответствии с [10] элемент $S_{ij}=*$, если существует связь по управлению и $S_{ij}=1$, если существует связь по информации.

Как отмечено в [10], решение задачи распараллеливания заключается в направленном введении дополнительных, ранее не существовавших связей между операторами. В [10] рассматриваются некоторые из них.

В соответствии с алгоритмом, описанным в [10], матрица следования S дополняется транзитивными связями при обозначении всех элементов $S_{ij}=1$, а также формируется симметричная матрица следования S' , для которой $S_{ij}=S_{ji}=1$.

После этого формируется матрица логической несовместимости L с задающими связями, а также матрица L' с транзитивными связями.

После дизъюнктивного сложения матриц S' и L' получим матрицу независимости M , по нулевым элементам которой в строке (пробелам) можно указать множество тех операторов, каждый из которых может быть выполнен параллельно с оператором, соответствующим номеру строки. Данная матрица M показана в табл. 1 (а,б).

Таким образом, в общем случае применение ГА возможно для организации криптоаналитической атаки 2 типа, т.е. при наличии известного текста и шифртекста требуется определить секретный 128-битовый ключ (либо 192- или 256-битовый) с целью дешифрования других сообщений, зашифрованных тем же ключом. То есть реализация ГА заключается в генерации популяции секретных ключей и оценкой их оптимальности с последующим применением стандартного набора генетических операций. После формирования начальной популяции ключей производится оценка их пригодности, т.е. проверка, насколько полученный с их помощью шифртекст совпадает с заданным. После оценки производится селекция индивидуумов популяции для проведения множества генетических операций и получения множества потомков, далее полученная расширенная популяция подвергается дальнейшему оцениванию. Процесс заканчивается либо когда прекращается эволюционирование популяции,

либо когда исчерпан заданный временной ресурс (пройдено заданное количество генераций).

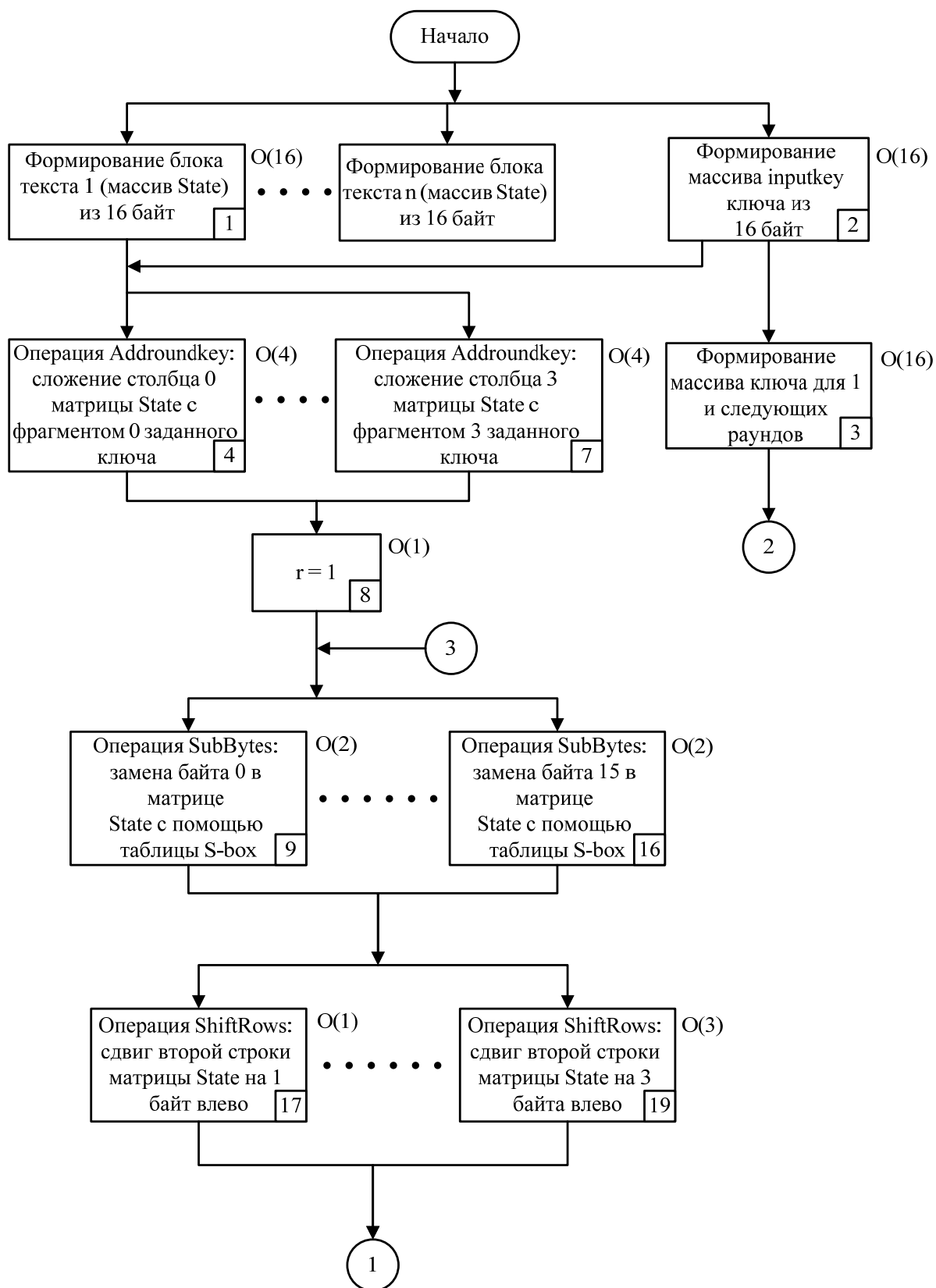


Рис. 1. Структурная схема алгоритма

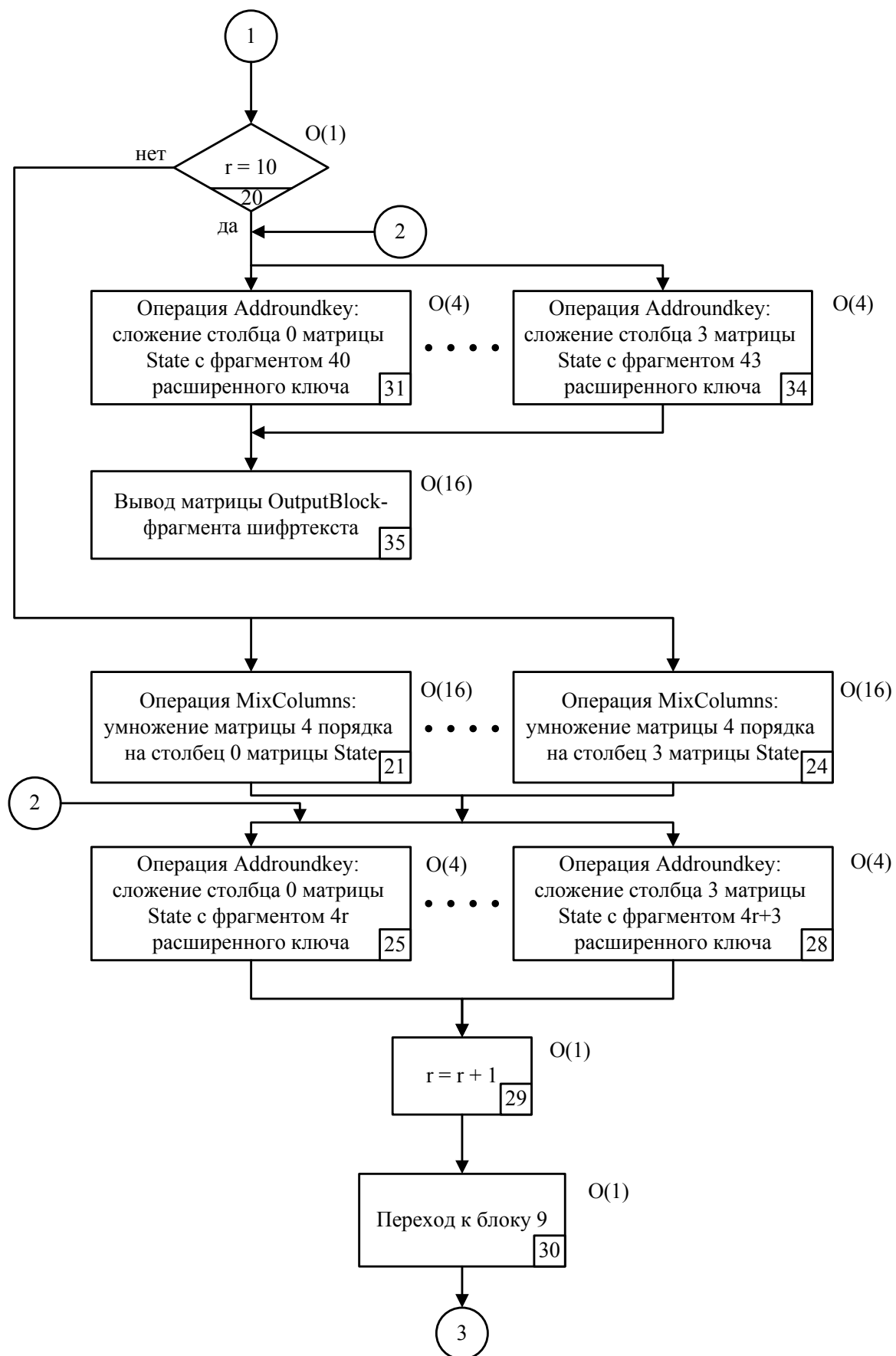


Рис. 1 (продолжение)

Очевидно, что минимизация значения T времени работы ГА приводит к повышению быстродействия и эффективности ГА.

Как и ранее в [4, 5], для решения данной проблемы воспользуемся методами, изложенными в [10]. Веса операторов, показывающие время их выполнения и определенные в соответствии с основными правилами анализа программ, описанными в [11], приведены на рис. 1 в соответствии с обозначениями, принятыми в [11].

На рис. 2. они промасштабированы путем деления на 2. Легко убедиться, что критический путь в графе на рис. 2 равен $T_{кр}=26$, его образует, например, последовательность операторов 2-3-32-35.

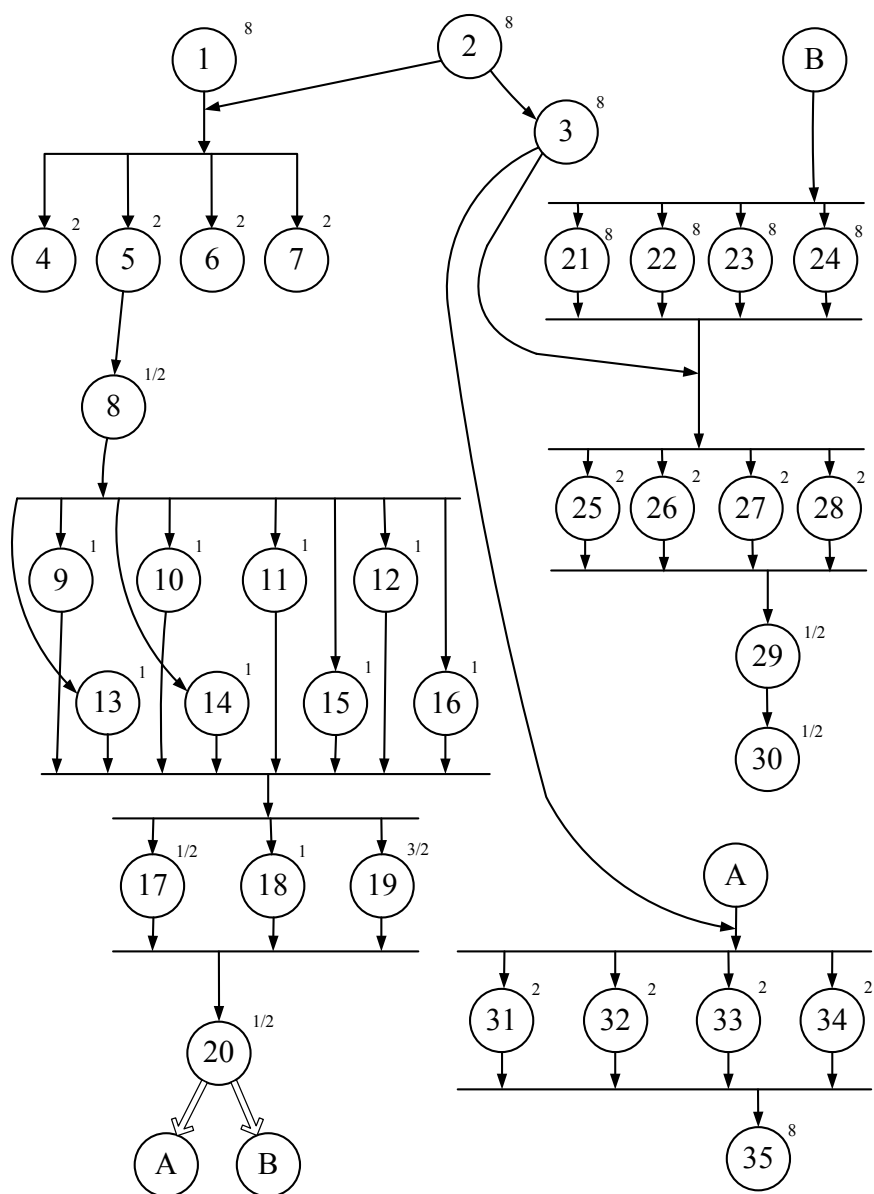


Рис. 2. Информационно-логическая схема криптоанализа

Табл. 1 (а).

Матрица независимости М (показаны столбцы 1-19)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3		1																	
4	1	1						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1		1	1	1	1	1									1	1	1
10	1	1		1	1	1	1	1									1	1	1
11	1	1		1	1	1	1	1									1	1	1
12	1	1		1	1	1	1	1									1	1	1
13	1	1		1	1	1	1	1									1	1	1
14	1	1		1	1	1	1	1									1	1	1
15	1	1		1	1	1	1	1									1	1	1
16	1	1		1	1	1	1	1									1	1	1
17	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
18	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
19	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
20	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

возможна за счет возможного распараллеливания процесса оценки элементов популяции как на глобальном уровне (параллельная обработка P элементов популяции на n процессорах), так и на локальном (параллельная реализация процесса оценки одного элемента популяции). Таким образом, для повышения эффективности реализации ГА на локальном уровне необходимо определение минимального числа процессоров однородной вычислительной системы при заданных оценках времени выполнения операторов, составляющих граф-схему на рис. 1.

На первоначальном этапе при рассмотрении однородных вычислительных систем, где каждый процессор выполняет оператор i за одинаковое время t_i , необходимо определение скалярных весов вершин в информационно-логическом графе, отражающих время выполнения операторов, составляющих структурную схему на рис. 1.

Табл. 1 (б).

Матрица независимости М (показаны столбцы 20-35)

	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1
32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1
33	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1
34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1
35	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Далее примем заданное время $T_{\text{зад}}=T_{\text{кр}}$. Для представленного на рис. 2 информационно-логического графа и матрицы следования найдем ранние τ_{pi} и поздние сроки τ_{pi} окончания выполнения операторов с помощью алгоритмов, представленных в [10].

Ранние сроки:

$$\begin{aligned} \tau_{p1}=8, \quad \tau_{p2}=8, \quad \tau_{p3}=16, \quad \tau_{p4}=\tau_{p5}=\tau_{p6}=\tau_{p7}=10, \quad \tau_{p8}=10,5, \\ \tau_{p9}=\tau_{p10}=\tau_{p11}=\tau_{p12}=\tau_{p13}=\tau_{p14}=\tau_{p15}=\tau_{p16}=11,5, \quad \tau_{p17}=12, \quad \tau_{p18}=12,5, \quad \tau_{p19}=13, \\ \tau_{p20}=13,5, \quad \tau_{p21}=\tau_{p22}=\tau_{p23}=\tau_{p24}=21,5, \quad \tau_{p25}=\tau_{p26}=\tau_{p27}=\tau_{p28}=23,5, \quad \tau_{p29}=24, \quad \tau_{p30}=24,5, \\ \tau_{p31}=\tau_{p32}=\tau_{p33}=\tau_{p34}=18, \quad \tau_{p35}=26. \end{aligned}$$

Поздние сроки:

$$\begin{aligned} \tau_{п35}=26, \quad \tau_{п34}=\tau_{п33}=\tau_{п32}=\tau_{п31}=18, \quad \tau_{п30}=26, \quad \tau_{п29}=25,5, \quad \tau_{п28}=\tau_{п27}=\tau_{п26}=\tau_{п25}=25, \\ \tau_{п24}=\tau_{п23}=\tau_{п22}=\tau_{п21}=23, \quad \tau_{п20}=15, \quad \tau_{п19}=\tau_{п18}=\tau_{п17}=14,5, \\ \tau_{п16}=\tau_{п15}=\tau_{п14}=\tau_{п13}=\tau_{п12}=\tau_{п11}=\tau_{п10}=\tau_{п9}=13, \quad \tau_{п8}=12, \quad \tau_{п7}=\tau_{п6}=\tau_{п5}=\tau_{п4}=11,5, \quad \tau_{п3}=16, \\ \tau_{п2}=8, \quad \tau_{п1}=9,5. \end{aligned}$$

В соответствии с методикой, описанной в [10], в матрице независимости найдем внутренние устойчивые множества, представляющие множества взаимно независимых операторов (ВНО). Это множества (1,2), (1,3), (3,4,5,6,7), (3,8), (3,9,10,11,12,13,14,15,16), (3,17,18,19), (3,20), (3,21,22,23,24), (25,26,27,28), (31,32,33,34).

Используя данные значения τ_{pi} и τ_{pi} , найдем оценку минимального числа процессоров для выполнения алгоритма за время $T_{\text{кр}}$ в соответствии с визуальной методикой, описанной в [10], т.е. производя построение диаграмм ранних и поздних сроков окончания выполнения операторов и находя такое распределение временных границ операторов для всех ВНО, при котором число используемых процессоров (функция n) минимально. Для отмеченных выше множеств ВНО значения функции $n(i,j)$ следующие: $n(1,2)=2$; $n(1,3)=1$; $n(3,4,5,6,7)=5$; $n(3,8)=2$; $n(3,9,10,11,12,13,14,15,16)=5$; $n(3,17,18,19)=2$; $n(3,20)=2$; $n(3,21,22,23,24)=5$; $n(25,26,27,28)=4$; $n(31,32,33,34)=4$.

Таким образом, максимальное значение $n=5$ имеет место для ВНО (3,4,5,6,7), ВНО(3,21,22,23,24) и ВНО(3,9,10,11,12,13,14,15,16).

Для того, чтобы доказать, что эта оценка числа процессоров является минимальной, воспользуемся методикой, описанной в [10]. В матрице независимости M определим множество ВНО, содержащее r элементов, для которого $r>n$. Это множество (3,9,10,11,12,13,14,15,16). Между вершинами этого множества проведем $r-n=4$ фиктивных связей так, что-

бы выполнялось соотношение $T_{кр} \leq T_{зад}$. В качестве допустимых связей можно выбрать, например, связи $9 \rightarrow 13$, $10 \rightarrow 14$, $11 \rightarrow 15$, $12 \rightarrow 16$, так как они не увеличивают длину критического пути.

Легко убедиться, что поскольку новая матрица независимости M' не содержит полных множеств ВНО, число элементов в которых превышает 5, то $n=5$ – решение задачи.

Таким образом, на основе фиктивных связей, проведенных в информационно-логическом графе и определяющих порядок выполнения операторов, можно представить следующий план выполнения операторов при заданном времени $T_{кр}=26$ для 2 случаев последовательности выполнения логически несовместимых операторов (когда номер раунда $r=10$ и $r \neq 10$), показанный на рис. 3,4.

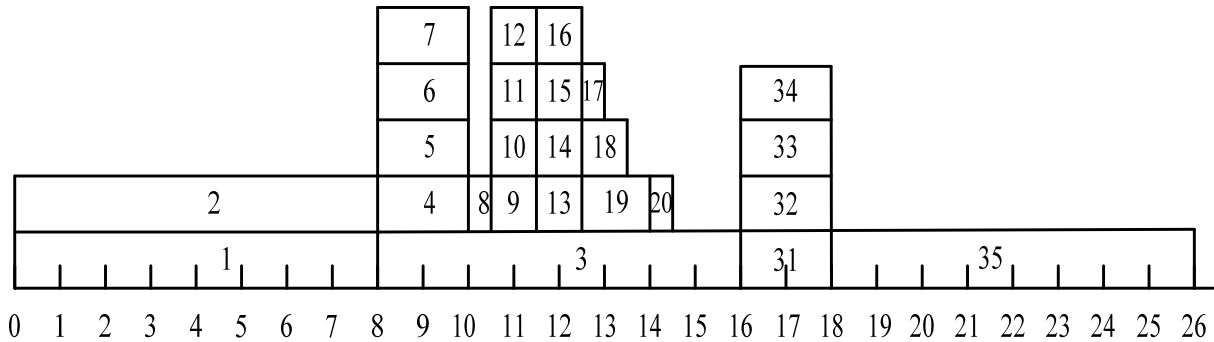


Рис. 3. План выполнения операторов при номере раунда $r=10$

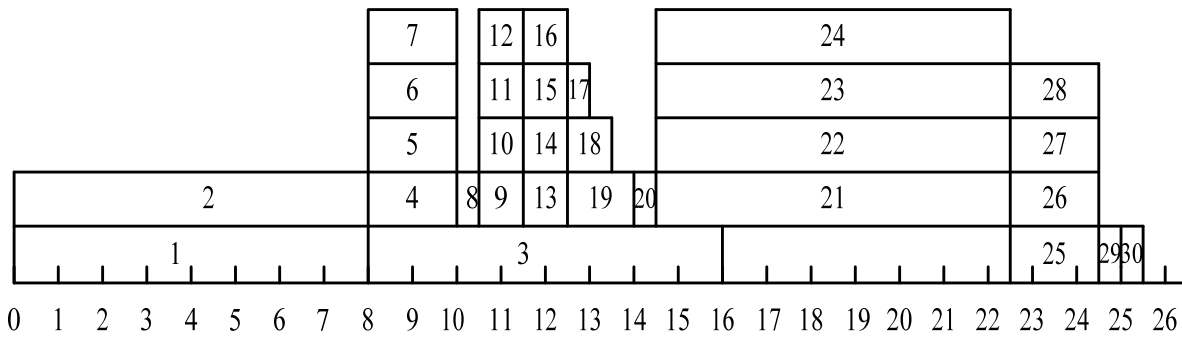


Рис. 4. План выполнения операторов при номере раунда $r \neq 10$

Экспериментальная реализация описанного выше алгоритма криптоанализа осуществлялась следующим образом. На исходном этапе исходный текст подвергался шифрованию с помощью алгоритма AES для получения шифртекста. Далее производилось разбиение полученного шифртекста на блоки, для каждого блока осуществлялась реализация ге-

нетического алгоритма криптоанализа, при этом использовались одно- и двухточечный кроссинговер, а также мутация и инверсия с нормой 5%. После генерации популяции ключей и реализации генетических операций проводилось оценивание элементов популяции путем подсчета количества оптимальных символов в расшифрованном тексте (т.е. символов, совпадающих с символами исходного текста). При проведении экспериментов количество таких символов составляло порядка 25%-31%. Эксперименты с подсчетом оптимальных символов при оценивании множества ключей популяции производились достаточно большое число раз, после чего осуществлялось наложение оптимальных символов, полученных при использовании различных элементов популяции ключей. В этом случае при достаточно большом количестве запусков и большом количестве вариантов ключей, полученных при реализации генетических операций, возможно получение исходного текста.

В качестве примера приведем исходный текст:

*Вороне где-
то бо/г послал кусочек/ сыру; На ель во/рона взгромоздясь, Позавт
ракать /было совсем уж с/обралась, Да при/задумалась,
а сы/р во рту держала*

Для первого блока (первой строки) приведем таблицу генераций получения строк исходного текста в машинных 16-ричных кодах при 10 значениях ключей, полученных при проведении генетических операций (табл. 2). Коды, соответствующие оптимальным символам в полученных строках, отмечены жирным курсивом.

Табл. 2. Полученные строки исходного текста для 10 значений ключей. Оптимальные символы показаны жирным курсивом.

	В	о	р	о	н	е	_	г	д	е	-	т	о	_	б	о
	C2	EE	F0	EE	ED	E5	5F	E3	E4	E5	2D	F2	EE	5F	E1	EE
1	C2	AF	4E	EE	0E	58	1C	EB	60	9B	E0	F2	EE	E5	55	F0
2	62	13	34	8C	ED	82	C9	E3	67	6B	43	F2	C9	D0	E1	21
3	C2	C9	3F	90	ED	BE	3C	8D	3F	E5	AD	7D	EE	67	02	C2
4	CE	EE	EA	4E	77	30	B9	D2	73	C3	5A	F2	EE	5F	34	E4
5	B5	DD	62	DC	72	8B	5F	F6	88	BD	2D	F2	CF	5F	09	AB
6	C2	AF	4E	EE	0E	58	1C	EB	60	9B	E0	F2	EE	E5	55	F0
7	D7	94	A6	BD	ED	1A	43	E7	48	98	2D	F2	D0	75	B4	EE
8	C2	15	72	EE	33	C5	43	27	E4	37	95	1C	EE	F5	0F	9D
9	F9	8D	F0	5F	60	3C	21	35	91	86	72	F2	3F	5F	E1	E2
10	C2	96	3B	74	3E	E5	9B	E3	24	E0	2E	CA	CA	5F	9D	58

Таким образом, отметим в заключение, что полученные на данном этапе и ранее при криптоанализе блочных методов результаты позволяют сформулировать следующие выводы:

- основной отличительной особенностью применения биоинспирированных методов криптоанализа (в том числе ГА) является возможность использования самого алгоритма шифрования (или расшифрования) в качестве целевой функции для оценки пригодности ключа, определенного с помощью генетических операций; вследствие этого при использовании биоинспирированных методов криптоанализа процесс определения секретного ключа зависит не столько от сложности шифрующих преобразований, сколько от самого биоинспирированного метода, который должен обеспечивать достаточное разнообразие генерации ключей;

- при использовании биоинспирированных методов криптоанализа обеспечивается возможность получения некоторого множества квазиоптимальных вариантов ключей, при применении которых для криптоанализа возможно получение некоторого множества вариантов исходного текста; при сопоставлении данных вариантов возможно определение оптимальных символов расшифрованного текста, из которых далее путем комбинирования возможно получение оптимального (или квазиоптимального) исходного текста.

Список литературы

1. Чернышев Ю.О., Сергеев А.С., Дубров Е.О., Крупенин А.В., Третьяков О.П. Криптографические методы и генетические алгоритмы решения задач криптоанализа: монография. Краснодар: ФВАС, 2013, 138 с.
2. Чернышев Ю.О., Сергеев А.С., Дубров Е.О., Крупенин А.В., Капустин С.А., Рязанов А.Н. Биоинспирированные алгоритмы решения задач криптоанализа классических и асимметричных криптосистем: монография. Краснодар: КВВУ, 2015, 132 с.
3. Чернышев Ю.О., Сергеев А.С., Рязанов А.Н., Москалев В.М. Разработка метода криптоанализа блочных шифров в системах защиты информации на основе параллельного генетического поиска // Сборник докладов XVII Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям. Т. 1. – С-Пб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015, с. 408-411.
4. Чернышев Ю.О., Сергеев А.С., Венцов Н.Н., Рязанов А.Н. Исследование возможности применения генетических алгоритмов для реализации криптоанализа блочных криптосистем // Вестник Донского государственного технического университета. – 2015. - № 3(82). - с. 65-72.
5. Чернышев Ю.О., Сергеев А.С., Капустин С.А., Рязанов А.Н. Исследование возможности применения методов эволюционной оптимизации для реализации криптоанализа блочных методов шифрования // Изв. СПбГЭТУ "ЛЭТИ". – 2015. - № 10. - с. 32-40

6. Бабенко Л.К., Ищукова Е. А. Современные алгоритмы блочного шифрования и методы их анализа / Л.К. Бабенко, Е.А. Ищукова. – М.: Гелиос АРВ, 2006. - 376 с.

7. Материалы сайта:

<http://bit.nmu.org.ua/ua/student/metod/cryptology/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F%209.pdf> – Практическая криптология.

8. Материалы сайта: <http://pcs.susu.ru/projects/3/aes.pdf> - Алгоритм блочного симметричного шифрования Advanced Encryption Standard (AES).

9. Материалы сайта: <http://www.scanti.ru/bulleten.php?v=211&p=21> – AES128 – реализация шифрования и дешифрования на языке «С»

10. Сергеев А.С. Параллельное программирование / А.С. Сергеев. - Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ, 2002. – 77 с.

11. Ахо Альфред В., Джон Ульман Джеффри Д. Структуры данных и алгоритмы. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003, - 384 с.

УДК 378.1

Белоусова Алла Генриховна¹,
Канд. пед. наук, ст. преподаватель
Десятириков Феликс Андреевич²,
магистрант,
Каширских Сергей Геннадьевич²,
магистрант,
Назаренко Максим Олегович²,
магистрант

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ РЕЧЕВОГО НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

г. Воронеж, ¹МБОУ «Гимназия им. Н.Г.Басова при ВГУ»,

²Воронежский государственный архитектурно-строительный университет кафедра АТПиП, mohnatov.vasya@mail.ru

Аннотация. В работе показано, что при открытом речевом воздействии на слушателя может быть оказано несанкционированное воздействие со скрытыми от слушателя целями. Слушатель может не понимать смысла сказанного, но эмоциональная реакция его находится под контролем и управляется речевым воздействием.

Ключевые слова: несанкционированное воздействие, фонетика, акустика, теория познания.

Alla G. Belousova,
PhD, senior Lecture,
Felix A. Desyatirikova,
student in the master's program
Sergey G. Kashirskikh,
student in the master's program
Maxim O. Nazarenko,
student in the master's program

SYSTEM ANALYSIS VOICE OF TAMPERING

Voronezh, Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering,
mohnatov.vasya@mail.ru

Abstract. It is shown that the open speech the effect on the listener can be provided to unauthorized exposure hidden from the listener objectives. The listener may not understand the meaning of what was said, but the emotional reaction is controlled and operated by voice effects.

Key words: unauthorized exposure, phonetics, acoustics, the theory of knowledge.

Человек в процессе общения (получения акустической информации) является объектом информационного воздействия. В результате этого воздействия у человека формируется его собственное представление о содержании информации, получаемой им. Процесс формирования такой информационной модели содержит, на наш взгляд, два уровня восприятия информации – сознательный (когда на основании осознанного анализа содержания информации человек формирует образы объектов и процессов, о которых ему говорят) и бессознательный (когда информационное воздействие вызывает в человеке ассоциативную цепь создания настроения, и этот процесс никак слушателем не контролируется и не управляется). Ввиду того, что в современном мире человек находится под воздействием огромного потока информации, актуальной является возможность определять, оказывается ли на человека несанкционированное (со скрытыми от него целями) воздействие.

Целью исследования является – установить, возможно ли, оказывать на слушателя акустическое информационное воздействие, с целью

скрытно от слушателя сформировать у него заданное настроение и поведенческие реакции, принудить принять заданное решение.

В данной работе поставлена задача – показать возможности фонетического строя речевого сигнала в формировании настроения слушателя на подсознательном уровне, не зависимо от субъективного восприятия смысла услышанного.

В исследовании разработана методика выводящая процесс познания смысла в область бессознательных ассоциативных транзакций «звук-цвет-настроение».

Для анализа процессов создания настроения слушателя под воздействием информационного акустического воздействия нам показалось интересным выбрать тот вид воздействия, который гарантировал бы отсутствие сознательного компонента усвоения информации. Таким воздействием является иностранный язык неизвестный слушателю. Мы выбрали английский язык и проанализировали насколько точно настроение, возникающее у слушателя, соответствует действительному содержанию определенного поэтического произведения.

Объектом исследования выбраны речевые сигналы, соответствующие текстам произведений – «My heart's in the Highlands» Роберта Бернса и переводу «В горах мое сердце» С.Я.Маршака.

Предметом исследования являлась возможность передачи эмоционального состояния слушателю, не понимающему смысла речевого сигнала.

Схема анализа была следующая [1]:

1. Количественно определен состав воздействия, т.е. количество различных фонетических звуков.
2. Проведена процедура выделения избыточной (над нормальной) частоты присутствия звуков и далее работали только со звуками, превышающими нормальную частоту.
3. По известным таблицам построены цветовые диаграммы звуков.
4. Интерпретированы цветовые диаграммы, связав их с эмоциональными данными.

Выводы и перспективы исследования.

В работе показано, что при открытом акустическом воздействии на слушателя с помощью естественного языка можно оказывать несанкционированное (скрытое по целям) воздействие на слушателя. Результатом такого воздействия может быть формирование у слушателя нужного эмоционального состояния, а значит, и поведенческих реакций и реше-

ний. Важно, что в ходе такого воздействия совсем необязательным является осознанное восприятие информации (например, слушатель может не знать языка, на котором оказывается воздействие на него).

Перспективными в этой области являются исследования влияния фонетического состава языка на психо-эмоциональные характеристики носителя и слушателя, что, возможно, актуальным является для изучения поведенческих реакций. Кроме того, представленная методика позволяет реализовать компьютерный анализ любого цвето-звукового воздействия на человека (в том числе реклама на естественном языке, сопровождение компьютерных игр, речь участника переговорного процесса и др.) на предмет присутствия в нем несанкционированного психо-информационного воздействия на естественном языке.

Программный продукт, который должен использоваться для обнаружения несанкционированного речевого воздействия должен содержать следующие модули:

- *программа очистки* от шума речевых сигналов в реальном времени;
- *программа перевода* акустического сигнала в цифровой;
- *программа нормализации сигнала* (выделение сигнала, превышающего «нормальный» уровень частотности звуков для данного естественного языка);
- *программа сопоставления* нормализованного сигнала данным, характеризующим конкретные эмоции человека;
- *программа, суммирующая* набор «эмоциональных» характеристик до уровня формирования «общего эмоционального состояния».

Выполнение *двух первых программ* является чисто техническими процедурами, которые поддерживаются готовыми разработками на рынке IT-продуктов.

Следующая программа должна опираться на известные табличные данные нормальной частотности звуков в речи (см. [2]) и должна лишь сопоставить текущие данные – табличным, а далее, выделить разностный сигнал.

Предпоследняя программа представляет собой операцию сопоставления данных типа «звук-цвет», «цвет-эмоция», конечно заранее внесенных в базу данных из известных таблиц (см. [3]).

А для выполнения *последней из списка* программы мы предлагаем в качестве операции выделения основной эмоциональной нагрузки речевого воздействия (т.е., суммирования эмоций) – перевод эмоциональной характеристики в цветовую, а затем, на основе смешения цветов (каждый

из которых имеет соответствующий вес) - формирование общего цветового фона восприятия речевого сигнала. Следующим выполняется обратное действие – перевод цвета (см. [3]) в соответствующую эмоцию, которая и будет доминировать у человека.

Таким образом можно получить данные о формировании эмоционального состояния слушателя, как объекта речевого воздействия. Использовать эти данные можно с различными целями.

Список литература:

1. Стрельникова М.А., Десятириков Ф.А., Рожкова О.Л. Методика статистического анализа фонетики естественного языка для обнаружения несанкционированного воздействия/ Мат. XVI МНМК «Информатика: проблемы, методология, технологии», 11-12.-2.2016. - ФГБОУ ВО ВГУ, 2016. – Ч.5.-с.234-240.

2. О. Н. Ляшевская, С. А. Шаров, Частотный словарь современного русского языка (на материалах Национального корпуса русского языка). - М.: Азбуковник, 2009. - 1090 с.

3. Журавлев А. П. Звук и смысл: Кн. для внеклас. чтения учащихся ст. классов.— 2-е изд., испр. и доп.— М.: Просвещение, 1991.— 160 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Козлов В. Н., Волкова В. Н.

СТАНОВЛЕНИЕ, РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННОЕ
СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ СИСТЕМ 5

Взятых В. Ф.

ШКОЛА ФЕДОРА ЕВГЕНЬЕВИЧА ТЕМНИКОВА.
ЦЕНТРОТЕХНИКА, ИНФОРМАТИКА, СИСТЕМОТЕХНИКА 26

V. Lankin, J.-E. Andreassen, A. Shashkin³

SOME PRINCIPLES AND CHARACTERISTICS OF THE DECENTRALIZATION PROCESSES IN ECONOMIC SYSTEM 42

R. Wessely.

MANAGEMENT BY OBJECTIVES IN THE SERVICE INDUSTRY APPLICATION OF THE SYSTEM ANALYSIS CONCEPT 51

Тарасенко Ф. П.

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ
СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЦЕЛЯХ УПРАВЛЕНИЯ ИМИ 59

Горелова Г. В.

ДКОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ И ОБОСНОВАНИЮ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ
СИСТЕМАХ 67

Данчул А. Н.

МОДЕЛИ И МЕТАМОДЕЛИ ОПИСАНИЯ
АРХИТЕКТУРЫ СЛОЖНОЙ АКТИВНОЙ СИСТЕМЫ 72

Долятовский Л. В., Долятовский В. Анастасиевич

СИСТЕМНЫЕ КРИТЕРИИ САМООРГАНИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ
СИСТЕМ 83

Костюковский А. Г., Костюковский И. А.

УСТОЙЧИВОСТЬ ИЕРАРХИИ КОМАНДЫ 89

Волкова В. Н., Черный Ю. Ю.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ
В ОТКРЫТЫХ СИСТЕМАХ. Переосмысливая Л. Фон Бергаланфи ... 94

Скопин А. Ю.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ИССЛЕДОВАНИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ
ОТНОШЕНИЙ И РАЗРАБОТКЕ ВНЕШНЕЙ ПОЛИТИКИ
ГОСУДАРСТВА 108

Гриненко С. В.

ГЕНДЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД 114

Секция 1.

ОБЩЕТЕРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА 119

Фирсов А. Н.

О ТИПОЛОГИИ МОДЕЛЕЙ 119

Козлов В. Н.

СИНТЕЗ ЛОКАЛЬНО ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ
С ЗАДАННЫМ УБЫВАНИЕМ ФУНКЦИИ ЛЯПУНОВА 125

Игнатьев М. Б., Катермина Т. С.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХАОСОМ 129

Сорокин А. Б.

ОТ СИСТЕМНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ К КОНЦЕПТУАЛЬНОМУ
МОДЕЛИРОВАНИЮ 137

Бондаренко Н. И.

ЯВЛЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МЕХАНИЗМА ЗАКОНА
САМОРАЗВИТИЯ 150

Буянов Б. Я., Верба В. А.,

МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ МОДЕЛИ СЛОЖНЫХ СОЦИО-
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ 155

Кукор Б. Л., Кузьмин Н. А.

КОММУНИКАТИВНЫЙ МЕХАНИЗМ СИСТЕМЫ
СТРАТЕГИЧЕСКОГО АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКОЙ 159

Исмиханов З. Н.

МЕТОДИКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ СТРУКТУРИЗАЦИИ ЗНАНИЙ
ЭКСПЕРТОВ О РАЗВИТИИ СИСТЕМЫ ВО ВНЕШНЕЙ СРЕДЕ 169

Рыбачук М. А.

ОЦЕНКА ПРОПОРЦИЙ СИСТЕМНОЙ СТРУКТУРЫ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА 174

Шляго Н. Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМАЛЬНОЙ И НЕФОРМАЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ
СВЯЗИ НА РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ 181

Кацко И. А., Величко П. Ю., Кацко С. А., Павлов С. Г.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД КАК ИДЕОЛОГИЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ ... 190

Гаршина В. В., Карлова А. В., Усов Е. Г.

ПРИМЕНЕНИЕ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧ ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 200

Шашихин В. Н.

АНТАГОНИСТИЧЕСКИЕ ИГРЫ С ИНТЕРВАЛЬНЫМИ
ФУНКЦИЯМИ ВЫИГРЫША 204

Козлов В. Н., Ефремов А. А.

УСТОЙЧИВОСТЬ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ С ПРОЕКЦИОННЫМИ
УПРАВЛЕНИЯМИ И СЖИМАЮЩИЕ РАЗНОСТНЫЕ ОПЕРАТОРЫ 209

Лыпарь Ю. И. КРИТЕРИЙ СТРУКТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ И СИНТЕЗ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА	212
Vasilyev K. UNCERTAINTY ANALYSIS: DERIVATION OF METHODOLOGY AND AUTOMATION WITH APPLICATION TO HYDRAULIC MODELLING RESULTS	222
Сорокина Н. В. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОЗМУЩЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ ПО ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ТРУБЕ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ	233
Кузнецова Л. В. Фирсов А. Н. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ЧАСТИЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТВЕРДОГО ТЕЛА В ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ	236
Дюфур М. С. , Игнатъев М. Б., Катермина Т. С., Коновалов М. А., Ненашев В. А., Примаков Д. А., Шепета А. П. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛИТОСФЕРНОЙ ПОГОДЫ	242
Секция 2	
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В ИССЛЕДОВАНИИ И ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	251
Симаков И. П., Холодных П. В. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ СИСТЕМ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ	251
Панкратова Н. Д. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	266
Баиловкина В. В., Бойков Л. В., Станкевич Л. А. АРХИТЕКТУРА ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ АВТОНОМНЫХ РОБОТОВ	273
Васильянов Г. С, Баринев Д. С. Болсуновская М. В. СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИКИ	283
Григорюк Е. Н., Булкин В. В. ПРОМЫШЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ	291
Холодных П. В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ В ВИДЕ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ	299

Холодных П. В. НОВЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ЛОГИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ	310
Ярошенко А. В. АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗАЦИИ БОРЬБЫ ЗА ЖИВУЧЕСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ПРИМЕРЕ КОРАБЛЯ	323
Акимов В. И., Полуказов А. В., Жданова А. В. ВЫБОР И РЕАЛИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ	333
Акимов В. И., Полуказов А. В., Попов А. С. СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО АЦП ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ "УМНЫХ" ДАТЧИКОВ СИСТЕМ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ .	339
Арефьев И. Б., Коровяковский Е. К. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ТИПА «ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ» МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ	344
Саруханян А. И., Сараджинвили С. Э. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ГРУППИРОВКОЙ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ.	351
Похилько А. Ф., Цыганков Д. Э., Козинцев О. В., ПОСТРОЕНИЕ 3D-ОБРАЗА СБОРОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ НА БАЗЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО ОБОБЩЕНИЯ БАЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ	356
Нагорный В. С., Войнов И. Б., Колодяжный Д. Ю. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕ- СКИХ УСТРОЙСТВАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТОПЛИВО	361
Нагорный В. С., Колодяжный Д. Ю., ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ВЯЗКОСТЬ ТОПЛИВА	368
Тренина Е. В., Колесниченко С. В. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОПОСТАВИМОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИК	379
Керимов М. А. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ФОТОВИДЕОФИКСАЦИИ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ПРАВОНАРУШЕНИЙ В ДОРОЖНОМ ДВИЖЕНИИ	384
Секция 3 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ И БЕЗОПАСНОСТЬЮ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	389
Золоторев В. Н., Цевовальникова Н. А., Менжулин А. А. К ВОПРОСУ О СИСТЕМНОМ ПОДХОДЕ К УПРАВЛЕНИЮ	

КАЧЕСТВОМ	389
<i>Зибров Г. В. Умывакин В. М., Швец А.В.</i>	
МНОГОВАРИАНТНОЕ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ РИСКА НЕВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	396
<i>Бугакова Н. Ю.</i>	
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ	402
<i>Толстов Ю. А.</i>	
РОЛЬ КАФЕДРЫ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ВУЗЕ	407
<i>Кудаков А. В.</i>	
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ ПЕРСОНАЛОМ	414
<i>Климова И. В.</i>	
КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА СТРАТЕГИЧЕСКОГО БИЗНЕС-ПЛАНИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ КОГНИТИВНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	421
<i>Черненький А. В.</i>	
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ	428
<i>Малиновская Г. А., Прохорова Е. С., Тюсова М. К.</i>	
КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ	436
<i>Исаев И. В., Рогачев А. Ф.,</i>	
ОРГАНИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ СППР В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	442
<i>Кустов О. М.</i>	
СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ ВЛИЯНИЯ ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ	449
<i>Сергеев А. С.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КРИПТОАНАЛИЗА БЛОЧНОГО СТАНДАРТА ШИФРОВАНИЯ AES	457
<i>Белоусова А. Г. Десятириков Ф. А., Каширских С. Г.</i>	
<i>Назаренко М. О.</i>	
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ РЕЧЕВОГО НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	470

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И УПРАВЛЕНИИ

Сборник научных трудов
XVIII Международной научно-практической конференции
1–3 июля 2016 года

Часть 1

Сборник подготовили:
В. Н. Волкова, Л. В. Кузнецова, Л. М. Папина

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 – научная и производственная литература

Подписано в печать 23.06.2015. Формат 60х84/16.
Усл. печ. л. 30. Тираж 100. Заказ 107.

Отпечатано с готового оригинал-макета,
предоставленного организаторами конференции,
В Типографии Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-1