

Российская академия наук. Сибирское отделение
Государственная публичная научно-техническая библиотека
АООТ НПФ "Техэнергохимпром"
ООО "Химмашэкология"

Серия "Экология"

Издается с 1989 г.

Выпуск 44

В.М. Малахов, В.Н. Сенич

**ТЕПЛОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ**

Аналитический обзор

Новосибирск, 1997

ББК Ж606.42 + Ж69

Малахов В.М., Сенич В.Н. Тепловое загрязнение окружающей среды промышленными предприятиями = Heat environmental pollution by industrial enterprises: Аналит. обзор / СО РАН. ГПНТБ; АООТ НПФ "Техэнергохимпром"; ООО "Химмашэкология". - Новосибирск, 1997. - 69 с. - (Сер. "Экология". Вып. 44).

В обзоре обобщены данные мировой и отечественной литературы, результаты исследовательских и опытно-конструкторских работ АООТ НПФ "Техэнергохимпром" в области охраны окружающей среды от теплового загрязнения. Особое внимание уделено структуре тепловых выбросов химических предприятий. Рассмотрены методы и аппаратура для утилизации тепла различных по агрегатному состоянию отходов, упаривания промышленных стоков, термического обессоливания воды и рационального энерго- и водопотребления. Приведены технические характеристики разнообразного теплоутилизационного оборудования. Описаны ряд методов и оборудования для переработки отходов в целевые продукты.

Данные материалы будут полезны и могут использоваться специалистами при решении аналогичных проблем в различных отраслях народного хозяйства.

Обзор рассчитан на научных и инженерно-технических работников, занимающихся проблемами совершенствования технологических процессов, проектированием новых производств и эксплуатацией природоохранной и энергосберегающей техники.

Авторы: В.М. Малахов - главы 1 - 6;
В.Н. Сенич - глава 4.

Ответственный редактор д.т.н. А.П. Бурдуков

Обзор подготовлен к печати к.п.н. О.Л. Лаврик
Н.И. Коноваловой
Т.А. Калюжной

ISBN 5-7623-1236-4

© Государственная публичная
научно-техническая библиотека
Сибирского отделения
Российской академии наук
(ГПНТБ СО РАН), 1997

ВВЕДЕНИЕ

Современная инженерная и исследовательская практика в России довольно много уделяет внимания химическому, радиационному, акустическому, электромагнитному загрязнению окружающей среды и практически ничего не говорит о тепловом, а ведь по масштабам воздействия, по распространению - это наиболее крупный вид загрязнения. Россия, являясь индустриальной державой, одновременно крупнейший производитель и потребитель тепловой энергии. Согласно основополагающему закону сохранения энергии "сколько энергии тело (читай: предприятие, город, регион) потребляет, столько и сбрасывает в окружающую среду в том или ином виде", т.е. с довольно большой степенью достоверности можно объемы потребления топлива, горячей воды, пара исследуемыми объектами считать как объемы теплового загрязнения прилегающего района.

Если учесть, что современные крупные предприятия потребляют сотни, а некоторые и тысячи мегаватт тепловой энергии, и весь этот объем поступает затем в окружающую среду - жилые массивы, водоемы, поля, леса, то серьезность проблемы приобретает вполне осязаемые контуры.

Малочисленные, к сожалению, исследования влияния теплового загрязнения на человека, флору, фауну указывают тем не менее на серьезную перспективную опасность [56 - 64]. Под его воздействием происходят "несанкционированные" природой интенсивные мутагенные процессы, изменения вследствие этого видов растений и животного мира, интенсивно развиваются и появляются новые микроорганизмы и вирусы, наконец, может меняться климат.

Остановимся на положении дел в мировой практике, связанном с тепловым загрязнением окружающей среды. Мировое потребление первичных энергоресурсов в 1970 г. составляло $7 \cdot 10^9$ тонн условного топлива (т у. т.) [57]. Потребление топлива в среднем удваивается каждые 13 лет.

Как отмечено, согласно закону сохранения энергии, все добываемые первичные энергоресурсы после их использования в том или ином виде отводятся в окружающую среду, вызывая ее тепловое загрязнение. Динамика теплового загрязнения от энергетических производств в мире представлена в таблице.

В глобальном масштабе это загрязнение невелико и составляет лишь тысячные доли процента (примерно 0,003%) от солнечной радиации на поверхности Земли [58]. Гораздо опаснее локальные очаги теплового загрязнения в промышленных районах. Так, в одном из районов ФРГ на площади 250 км^2 тепловое загрязнение составляло 2% от солнечной радиации, а в районе Мюнхена на площади 310 км^2 достигало 18% от солнечной радиации [58].

Динамика теплового загрязнения от энергетических производств [58]

Показатель	1972 г.	1986 г.	2000 г.
Мощность потока теплового загрязнения, млн МВт	6,0	9,6	32,0
Отвод тепла в окружающую среду			
в год, млн Гкал	45200	72300	241000
млн т у. т.	6450	10330	34400

В ряде промышленно развитых стран установлены пределы допустимого теплового загрязнения. В основном они касаются режимов рек и водоемов, так как по сложившейся технологии теплоотвода реки и водоемы принимают основную часть сбросного теплового потока и наиболее страдают от теплового загрязнения. В Европе принято, что охлаждающая вода не должна перегреваться выше, чем на 3 °С от естественной температуры водоема [59]. В США при максимальной температуре сброса 32 °С нагрев воды в реках не должен превышать 3 °С, в озерах - 1,6 °С, в прибрежных водоемах морей и океанов - 0,8 °С летом и 2 °С в остальное время [56].

Аналогичные ограничительные нормы существовали и в СССР. Согласно "Правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами", действующим с 1975 г., температура водоемов для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования в результате сброса горячих сточных вод не должна повышаться более чем на 3 °С по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года в последние 10 лет. Для водоемов, в которых обитают холодноводные рыбы (лососевые и сиговые), температура не может повышаться более чем на 5 °С с общим повышением температуры не более чем до 20 °С летом и 5 °С зимой.

В настоящее время около 30% энергопотребления приходится на электроэнергетику, 35 - на отопление и горячее водоснабжение, 30% - на технологическое потребление тепла [57]. Согласно статистике из всех тепловых сбросов 18% занимают отходы использования электроэнергии, 18 - отходы технологического использования тепла, 22 - отходы отопления и горячего водоснабжения и 42% тепло конденсации на ТЭС. Первые и третьи виды сбросов в подавляющем большинстве отводят непосредственно в атмосферу, вторые и четвертые, как правило, - через системы водяного охлаждения.

Интересны сведения о фактических температурах, связанных с тепловым загрязнением водоемов. В Нарвском водохранилище при сбросе подогретых на 8 - 10 °С вод тепловой поток распространяется в верхнем слое глубиной 1,0 - 1,5 м, при этом вертикальные температурные градиенты достигают 5 °С/м, а горизонтальные 0,5 - 0,1 °С/100 м [60, 61], т.е. тепловое загрязнение в этом случае охватывает зону с радиусом до 10 км и область загрязнения составляет треть всего объема воды в водохранилище. В реках тепловое загрязнение, связанное с повышением температуры на 8 - 10 °С, сохраняется неизменным примерно на

расстоянии в 2 км вниз по течению, а затем температура начинает постепенно снижаться [62]. При работе ТЭС даже небольшой мощности с циркуляционной зоной, имеющей систему прудов, температура в них повышается примерно на 3°C, а вода минерализуется от повышенного испарения [63]. В радиусе до 30 км от ТЭС возможен существенный сдвиг кислотно-щелочного равновесия в почвах. От большого промышленного центра (2 млн человек) с электростанциями суммарной мощностью 4600 МВт и нефтехимическими заводами шлейф тепловых загрязнений распространяется на 80 - 120 км при ширине загрязненной зоны до 50 км и высоте около 1 км [64].

Борьба с тепловым загрязнением с инженерной точки зрения абсолютно идентична работе по энергосбережению. Чем на более высоком уровне находится энергосберегающая политика и работа, тем соответственно более интенсивно ведется неафишируемая борьба с тепловым загрязнением. Поэтому в данной работе термин "борьба с тепловым загрязнением" чаще всего заменяется на более привычный: "энергосберегающая работа, техника, технологии".

Изложенный ниже материал основывается на более чем двадцатилетнем опыте исследований, экспериментов, разработки и внедрения в промышленность энергосберегающих техники, технологий, выполненных сотрудниками АООТ "Научно-производственная фирма Техэнергохимпром". В силу бывшей ведомственной принадлежности организации большинство материалов относятся к химической отрасли.

Большой вклад в решение данной проблемы внесли сотрудники организации: М.С. Карнаух, В.К. Шитов, Б.И. Псахис, А.В. Попов, Ю.В. Виноградов, А.И. Богданов, В.Г. Горшков, В.И. Большаков, а также авторы данного материала.

Надеемся, что изложенный ниже материал будет полезен широкому кругу инженерно-технических и научных работников, занимающихся методическими и практическими вопросами малоосвоенной у нас проблемы теплового загрязнения окружающей среды.

соответственно, уменьшения теплового загрязнения окружающей среды. В отечественной теории и практике существует довольно широкий диапазон поправочных коэффициентов оценки потенциала тепловых сбросных потоков, рассчитанных по формуле (1) - от 0,4 до 1,0 [1, 4].

Наличие таких противоречивых оценок объясняется тем, что до недавнего времени оценка эффективности энергетических потоков, и соответственно, исследование совершенства энергетических процессов проводилось в основном посредством составления энергетического баланса на основе I закона термодинамики, т.е. при составлении энергобаланса все виды энергии рассматриваются без учета их качества и практической пригодности. Например, в энергетическом балансе ТЭС химическая энергия топлива рассматривается наравне с теплотой, отдаваемой конденсатом в окружающую среду. Известно, однако, что практическая пригодность и воздействие теплоты различны и имеют тем меньшую величину, чем ближе температура источника теплоты к температуре окружающей среды. Окружающая среда могла бы давать практически неограниченное количество тепловой энергии, но ценность его, определяющаяся практической пригодностью, равна нулю.

Несмотря на вышесказанное, анализ с использованием I закона термодинамики по-прежнему широко распространен и дает на практике для решения ряда инженерных задач вполне приемлемые результаты.

В современной исследовательской практике применяются два подхода к исследованию энергетических превращений в технических системах.

Первый подход связан с различными методами анализа прямых и обратных циклов. Эти методы детально разработаны и широко используются. Они позволяют на базе I и II законов термодинамики найти связи между внешними энергетическими потоками (количество теплоты и работы) и параметрами системы, а также между некоторыми внутренними параметрами. Посредством анализа энергетического баланса системы, в которой совершается анализируемый цикл, можно вычислить характеризующие его коэффициенты (термический к.п.д., холодильный или тепловой коэффициенты, коэффициент трансформации и т.д.) и сопоставить их с коэффициентами соответствующих идеальных циклов или цикла Карно. Поскольку реальные циклы большей частью связаны с подводом и отводом теплоты при переменной температуре, разработаны приемы сведения различных сложных круговых процессов к циклу Карно или другим идеальным циклам.

Такой подход к задаче позволяет определить в данной системе суммарную потерю производимой или затрачиваемой работы вследствие необратимости процессов. Эта сумма потерь может быть разделена на внутренние (связанные с несовершенством процессов самого цикла) и внешние (связанные с характером взаимодействия термодинамической системы с внешними приемниками и источниками энергии). Такое разделение впервые было введено профессором Одесского технологического института холодильной промышленности В.С. Мартыновским [5, 6]. В результате удалось весьма наглядно изложить не только ряд запутанных вопросов, но и выявить полезные для инженерной практики зависимости. Довольно часто для инженерного анализа этих данных бывает недостаточно. В этом случае анализ циклов дополняется подсчетом возрастания энтропии в отдельных частях процесса.

Произведение прироста энтропии на температуру окружающей среды дает в соответствии с формулой Гюи-Стодолы величину потери работы от необратимости в каждом элементе процесса. Такой подход лежит в основе энтропийного метода, основоположником которого является Д.П. Гохштейн. Автор занимается в основном анализом энергоэнтропийных превращений в тепловых машинах [7, 8].

Второй подход опирается на использование термодинамических потенциалов для анализа процессов превращения энергии в различных системах. Надлежащим образом выбранные и рассчитанные термодинамические потенциалы обладают чрезвычайно важным свойством - давать значение работы в любых условиях. Применяя это фундаментальное свойство потенциалов, можно оценить работоспособность потоков вещества и энергии в любой точке рассматриваемой системы, независимо от ее вида, структуры, сложности. Это же свойство потенциалов позволяет определить все необходимые для последующего анализа термодинамические характеристики системы и любой ее части на основе общей, логически последовательной методики. Следует отметить еще два важных достоинства метода термодинамических потенциалов. Прежде всего, это универсальность: характер процессов в анализируемой системе (круговой или разомкнутый процесс, формы энергии и т. д.) не имеет принципиального значения - подход к задаче и методы ее решения не изменяются. Во-вторых, ряд задач, в частности технико-экономические, без применения потенциалов вообще достаточно обосновано не решаются. Эти преимущества по мере усложнения объектов анализа выступают все явственнее.

Для решения задачи использования потенциалов при анализе технических систем необходимо располагать термодинамическими функциями, которые бы однозначно характеризовали работоспособность, энергетическую ценность потоков вещества и энергии при заданных внешних условиях. В технических приложениях термодинамики важны не только параметры процессов внутри системы, но и анализ всех возможных видов взаимодействия потоков энергии и рабочих тел, связанных с рассматриваемой системой вне ее границ. Только при этих условиях можно дать инженерную оценку пригодности, полезности потока энергии или вещества при данных параметрах.

Такие требования к анализу означают, что общее представление об окружающей среде как обо "всем том, что находится за пределами системы", недостаточно и должно быть развито. В большинстве случаев принимают, что окружающая среда обладает следующими признаками:

- отсутствие разностей потенциалов;
- размеры ее настолько велики, что любое воздействие исследуемого объекта не может изменить ее параметров и она не может служить источником работы любого вида.

При анализе химико-технологических систем был введен дополнительно еще один признак: окружающая среда - это продукты химических реакций компонентов системы, при переходе к которым свободная энергия уменьшается до минимума [9].

Как правило, при анализе принимают, что окружающая среда имеет атмосферное давление 0,1 МПа и температуру 293 К или 273 К. На выбор состава окружающей среды единой точки зрения не существует. Так, например, в [10] разработана система точек отсчета, по которой

необходимо рассчитывать энергии "девальвации", т.е. экзотермической реакции до некоторого простого вещества, широко распространенного в природе. Ряд исследователей [11] используют в качестве точек отсчета для каждого из компонентов смеси давление 0,1 МПа. А. Денбиг при анализе получения азотной кислоты за точку отсчета принимал вещество, обладающее наименьшей свободной энергией из всех реагирующих в этой системе [12]. В работе [9] проведена классификация химико-технологических систем и для различных групп процессов предложена методика выбора уровней отсчета.

Интересный подход был использован при анализе процессов разделения нефти [13]. Здесь в качестве "окружающей среды" принимался идеальный газ, т.е. гипотетическое вещество, лишенное молекулярных связей. Из вышеперечисленных подходов к определению "окружающей среды" наиболее фундаментальным является подход Я. Шаргута, основывающийся на принципе выделения ее равновесной части. Такая модель окружающей среды в наибольшей степени соответствует реальным условиям работы технических систем.

В этом случае и термодинамические функции, предназначенные для проведения анализа в описанных условиях, должны включать в себя наряду с параметрами рабочего тела или потока энергии еще и параметры равновесной окружающей среды. Тогда эти функции смогут выполнять роль потенциалов, позволяющих в любом случае определить энергетические ресурсы системы, пригодные для получения работы в данных условиях окружающей среды. Мера этих ресурсов, определяющих работоспособность вещества и энергии, была названа эксергией. Я. Шаргут и Р. Петела дают следующее определение эксергии: "Эксергия материи является максимальной работой, которую эта материя может совершить в обратимом процессе с окружающей средой в качестве источника даровых тепла и вещества, если в конце этого процесса все участвующие в нем виды материи приходят в состояние термодинамического равновесия со всеми компонентами окружающей среды" [10]. Метод анализа, использующий понятие эксергии, принято называть эксергетическим методом анализа технических систем. Сегодня он считается наиболее перспективным методом.

Вкратце коснемся истории создания этого метода.

Разработка основ эксергетического метода была начата во второй половине XIX в. профессором университета в г. Лионе Ж. Гюи, первая работа которого на эту тему вышла в 1889 г. Несколько раньше (1876 г.) Дж.В. Гиббс впервые ввел определение функций, позволяющих найти максимальную работу системы и окружающей среды. Позже - в 1898 г. - А. Стодола пришел к тем же выводам, что и Ж. Гюи. Сегодня при анализе широко используется закон, носящий их имя: "потеря эксергии в результате необратимости процессов равна произведению температуры окружающей среды на сумму приращений энтропии всех тел, участвующих в исследуемых процессах". Дальнейшее развитие метода связано с именами Д. Кинана, В. Кизома и Ф. Бошняковича, работы которых относятся к 30-м годам.

Д. Кинан построил первую диаграмму для водяного пара с эксергией в качестве ординаты. Основываясь на эксергетическом методе он провел анализ цикла конденсационной электростанции.

В. Кизом впервые применил эксергетические функции для анализа низкотемпературных процессов на примере каскадного процесса сжижения азота.

Ф. Бошнякович подробно исследовал ряд свойств эксергетической функции $i - T_0 \cdot S$, названной им "технической работоспособностью". Он же разработал графические методы термодинамического анализа процессов сжижения воздуха. Работы Ф. Бошняковича и его школы дали существенный толчок развитию этого направления термодинамики.

З. Рант в 1955 г. ввел вместо термина "работоспособность" термин "эксергия". Он же построил эксергетические диаграммы в координатах "эксергия - энтальпия" для водяного пара и продуктов сгорания, предложил методы расчета эксергии топлива.

Теорию расчета эксергии химических процессов разработал Я. Шаргут.

Книга Я. Шаргута и Р. Потелы [10] подытоживает работы по эксергии, проведенные Я. Шаргутом и его сотрудниками в Политехническом институте г. Гливице (ПНР). Для облегчения расчетов Шаргутом созданы таблицы так называемой нормальной эксергии однородных химических соединений и таблицы для приближенного расчета химической эксергии сырья и продуктов металлургических заводов.

Вопросами эксергетического анализа в низкотемпературной области занимался В.М. Бродянский. Он совместно с И.П. Ишкиным впервые предложил термодинамическую диаграмму состояния в координатах "эксергия - энтальпия". В.М. Бродянский разработал диаграмму "эксергия - энтальпия" для бинарной смеси и исследовал ее свойства. Им построена эксергетическая диаграмма для смеси кислород - азот. Ему же принадлежит и первое в отечественной литературе систематизированное издание по эксергетическому методу термодинамического анализа [14], в котором рассмотрены как теоретические основы, так и его практическое приложение в различных областях техники и технологии.

Кроме вышеперечисленных исследователей, необходимо отметить еще довольно большой ряд ученых, внесших существенный вклад в развитие и применение для различных областей техники эксергетического метода.

В теплотехнике - В. Фратцшер, А.И. Андриющенко [11, 15], Д.Д. Калафати, Н. Эльснер, Т. Умеда, К. Сероко, Г.И. Фукс;

в холодильной и криогенной технике - Г.Д. Баер, П. Грассман, К. Нессельман, П.Л. Капица;

в химических процессах - Б. Лингоф;

в области теплообмена - Г.Н. Костенко;

в технико-экономических расчетах - Р. Эванс, М. Трайбус.

Отдельно следует остановиться на работах Эванса-Трайбуса, Кафарова и Лингофа.

Эксергетический анализ позволяет решить целый ряд практически важных задач, возникающих в различных отраслях техники. Вместе с тем следует учитывать, что для окончательной оценки того или иного технического решения необходим учет целого комплекса затрат и потерь различного вида. Для этой цели необходим технико-экономический анализ, который в конечном счете опирается на расчет общественно необходимых затрат и должен вести к экономии человеческого труда.

В последние десятилетия работы по технико-экономическому анализу на основе термодинамики появились в ГДР, ПНР, СССР, США. По предложению американских исследователей Р. Эванса и М. Трайбуса это направление экономических исследований названо "термозкономикой". В основу термозкономического анализа положено введение и расчет цены (стоимости) эксергии в денежных единицах [16]. Это в свою очередь позволяет вычислить с учетом эксергетического потенциала удельные приведенные затраты и с помощью их выполнить оптимизацию технической системы.

Очень существенную роль при термозкономическом анализе играют концепции теории информации. При развитии термодинамики на основе теории информации необходимо рассматривать все термодинамические процессы в тесной взаимосвязи с информацией о состоянии систем. Среди отечественных исследователей в этом направлении работает школа академика В.В. Кафарова [13, 18].

В последнее время ряд исследователей пытаются упростить как методику расчета эксергетических потенциалов, так и процесс толкования результатов. Поэтому большой интерес представляют работы Б. Лингофа [17]. Первое существенное нововведение, сделанное им, касается расчета эксергетических потенциалов. По его методике эксергетические потенциалы рассчитываются на основе обычного материального и теплового балансов. Дополнительные данные не требуются.

Согласно его методике изменение энтропии и эксергии может быть подсчитано по формулам:

$$\Delta S = \Delta I \cdot \left(\frac{T_1 + T_2}{2} \right)^{-1}, \quad (2)$$

$$\Delta E = \Delta I - T_o \cdot \Delta S, \quad (3)$$

где ΔS - изменение энтропии всего потока вещества;
 ΔI - изменение энтальпии всего потока вещества;
 T_1, T_2 - абсолютные температуры начала и конца процесса;
 T_o - абсолютная температура окружающей среды;
 ΔE - изменение эксергии всего потока вещества.

Точность расчетов по этим уравнениям согласно его оценкам имеет погрешность не более 1%. Принимая во внимание неточности, присущие данным по значениям энтальпии и энтропии, такая погрешность становится вполне приемлемой.

Второе нововведение касается деления неэффективностей системы на "устраняемые" и "неизбежные". Это делает интерпретацию результатов анализа более ясной. Концепция "неизбежной" неэффективности позволяет предсказать необходимое количество внешней энергии. Уменьшение затрат энергии до этой величины и является конечной целью. Следует отметить, что последнее нововведение Лингофа можно рассматривать и как дальнейшую интерпретацию концепции

Мартыновского, связанной с внутренними и внешними потерями энергии в циклах тепловых машин.

Используя первое нововведение Лингофа, можно довольно просто и объективно определить пути по совершенствованию энерготехнологических схем различных производств, а также крупных промышленных конгломератов. Это, как правило, приводит и к уменьшению теплового загрязнения окружающей среды. Для применения эксергетического метода необходимо знание значений энтропий для исследуемых веществ в заданном диапазоне температур. При оценке общей энергетической ситуации на предприятии мы имеем дело с интегральной характеристикой, составленной из энергопотоков десятков веществ. Для ряда этих веществ отсутствуют объективные данные по энтропии, т.е. вычислить энтропию интегрального потока производства, предприятия невозможно. Целесообразно воспользоваться первым нововведением Лингофа, позволяющим вычислить эксергию на основе теплового баланса. Известно, что:

$$\Delta Q = m \cdot (i_1 - i_2) = I_1 - I_2 = \Delta I, \quad (4)$$

где ΔQ - изменение потока теплоты;

m - масса потока вещества;

i_1, i_2 - удельные энтальпии вещества.

Из выражений (2) и (3) вытекает:

$$\Delta E = \Delta I \cdot \left(1 - \frac{2T_0}{T_1 + T_2} \right). \quad (5)$$

Поскольку для большинства потоков, составляющих интегральную характеристику, T_2 близко или равно T_0 , то получим следующее выражение для изменения эксергии интегрального потока:

$$\Delta E = \Delta I \cdot \left(\frac{T_1 - T_0}{T_1 + T_0} \right) = \Delta Q \cdot \left(\frac{T_1 - T_0}{T_1 + T_0} \right). \quad (6)$$

Оценка погрешности данной формулы, проведенная для отдельных жидкостных и газообразных потоков с известными энтальпиями и энтропиями, показала следующее. Для жидкостных потоков она действует в широком температурном диапазоне с погрешностью, не превышающей 5%. Это вполне приемлемо для инженерных расчетов и оценок. Для газообразных потоков формула дает несколько заниженные значения эксергии, но с учетом того, что реальный к.п.д. технических систем на газовых потоках существенно ниже, чем на жидкостных, такое занижение позволяет выйти на практически достижимую работоспособность газовых потоков. Для упрощения расчетов и их

интерпретации может быть использован коэффициент соответствия потока теплоты потоку эксергии [1]:

$$K = \frac{E}{Q} = \frac{T_1 - T_0}{T_1 + T_0} = \frac{t_1}{546 + t_1}. \quad (7)$$

Глава 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ БАЛАНСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ

Созданием методических основ исследования тепловых балансов отдельных производств, предприятий в 70 - 80-е годы занимались довольно большой круг специалистов из различных отраслевых институтов и организаций - ВНИПИЭнергопром, ГИАП, МЭИ, НПО "Техэнергохимпром", ВНИПИчерметэнергоочистка и др. [21, 28, 44, 45, 47, 48].

Более двадцати лет этими вопросами занимались сотрудники АООТ НПФ "Техэнергохимпром". За этот период выработалась довольно эффективная методика построения и организации практической работы при анализе и составлении тепловых балансов различных объектов, а также использования полученных результатов для построения более энергорациональной системы и, соответственно, уменьшения теплового загрязнения окружающей среды. План реализации этой работы включает следующие этапы:

1. Сбор исходных данных.
2. Анализ и обработка собранного материала.
3. Выбор принципа формирования комплексной энергосберегающей схемы.
4. Расчет вариантов.
5. Синтез комплексной энергосберегающей схемы.

Остановимся подробнее на реализации этого плана.

2.1. Сбор исходных данных

Метод сбора исходных данных о предприятии - это непосредственная работа комплексной бригады на предприятии и в головном проектно-институте. Как правило, бригада специалистов состоит из сотрудников, владеющих знаниями в областях технологии, промышленной теплоэнергетики, экономики и экологии.

По каждому из производств и служб предприятия собираются и систематизируются следующие данные: реальная и перспективная технологическая схема, технический отчет производства за 2 - 3 прошедших года (выработка продукции, потребление топлива, тепла, воды, электроэнергии, холода, потребление основных видов сырья, количество отработанных часов основным оборудованием, отходы производства), спецификация и характеристики основного энерготехнологического оборудования (теплообменники, котлы-утилизаторы, холодильные машины, градирни, компрессоры,

турбомашин и др.), данные для составления поаппаратного материального и теплового балансов (расходы, температуры, давления, концентрации), экономические характеристики (калькуляция себестоимости вырабатываемой продукции с выделением энергетической составляющей, себестоимости потребляемых энергетических и материальных ресурсов, стоимость основного энерготехнологического оборудования). Такая работа проводится для всех технологических цехов, заводских ТЭЦ, котельных, водоподготовок, служб, занимающихся оборотным и техническим водоснабжением, очистными сооружениями.

В техническом отделе предприятия и проектно-отраслевом институте уточняются перспективы развития как отдельных производств, так и предприятия в целом.

2.2. Анализ и обработка собранного материала

Этот этап работы включает несколько обязательных моментов. Во-первых, по каждому из исследуемых производств составляется на основе литературных данных ретроспектива и перспектива развития, а также определяется степень соответствия сегодняшним технологическим требованиям. Во-вторых, составляются детальные (поаппаратные) тепловой и материальный балансы и определяются характеристики сбросных источников тепловых и материальных ресурсов. Составляются таблицы и диаграммы вторичных энергетических и материальных ресурсов (ВЭР и ВМР). По возможности делается оценка потенциала ВЭР на основе I и II законов термодинамики. В-третьих, составляются и анализируются схемы, режимы энерго- и водоснабжения отдельных цехов и предприятия в целом по месяцам одного-двух прошедших календарных лет.

Для производств, у которых в отдельные периоды года наблюдался спад производительности или повышение потребления сырья, энергоресурсов, необходимо определить причины. Зачастую это связано с ухудшением качества энергообеспечения (например, повышением температуры охлаждающей воды в теплый период года).

И, наконец, на основе сопоставления температурных потенциалов источников ВЭР и различных потребителей тепла на предприятии составляется вариантный перечень участия ВЭР в замещении различных тепловых нагрузок. В ряде случаев целесообразно включить в рассмотрение и внешние потребители тепла (соседние предприятия, прилегающие жилые районы, сельскохозяйственные угодья, парниковые хозяйства).

2.3. Выбор принципа формирования энергосберегающей схемы

Формирование комплексной энергосберегающей схемы предприятия может основываться на различных принципах. Остановимся кратко на некоторых из них.

Принцип достижения максимального экономического эффекта. В его основе лежит вариантный технико-экономический перебор различных

схем использования ВЭР и ВМР, замена неэффективного энерготехнического оборудования на более экономичное, перекомпоновка системных связей внутри предприятия и т.д. В конечном счете из различных вариантов отбирается ряд, дающий в сумме максимальный экономический эффект.

Этот метод может дополняться расчетами удельного максимального экономического эффекта (отношение суммарного годового экономического эффекта к суммарным капиталовложениям или суммарным затратам) [1, 45, 47].

Принцип достижения максимального термодинамического совершенства. В его основе лежит термодинамический анализ (на основе I и II законов) энерготехнологических схем и узлов отдельных производств, внутризаводских связей с определением термодинамически несовершенных и их дальнейшей перестройки [1, 48]. В анализ должны быть вовлечены и выходящие из предприятия энергетические потоки. В качестве целевой функции могут использоваться суммарные удельные затраты эксергии (отношение эксергии затраченных сырьевых и энергетических потоков к эксергии продукционных потоков).

Термоэкономический принцип. В его основе лежит использование II закона термодинамики, понятий цены эксергии или приведенных затрат на единицу вырабатываемой эксергии [16]. Путем вариантных пересчетов находится минимум цены или приведенных затрат вырабатываемой эксергии продукционных потоков предприятия.

Принцип приоритетов. В его основе лежит составление перечня наиболее актуальных проблем для жизнедеятельности и экономичности предприятия (нехватка тепла, воды, холода, повышенные тепловые и химические сбросы в окружающую среду, ограничения по стокам и т. д.) и их ранжировка.

В соответствии с определенным порядком первостепенности решения стоящих проблем составляются варианты вовлечения ВЭР, ВМР и других средств, т.е. для решения проблемы 1 мобилизуются все возможные средства, проблемы 2 и далее - по остаточному принципу.

Оставшиеся два этапа работы “Расчет вариантов” и “Синтез комплексной схемы” полностью зависят от выбора принципа формирования комплексной схемы, они разрабатывались довольно широким кругом авторов [1, 17, 18, 45, 48] и показаны ниже на конкретном примере.

ГЛАВА 3. ДИНАМИКА ТЕПЛОВЫХ ВЫБРОСОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Крупнейшими тепловыми загрязнителями окружающей среды в России и бывших республиках СССР являются химические предприятия. Это определяется тем, что химическая отрасль бывшего СССР входила в тройку наиболее энергоемких отраслей страны (после энергетики и металлургии). Крупные химические предприятия потребляли около 50 МВт электрической энергии, примерно до 1000 т/ч пара различных параметров, около 150 т/ч различного топлива, 100 - 150 тыс. м³/ч оборотной и технической воды. Поэтому, на основе закона сохранения энергии почти весь суммарный эквивалент этих видов энергии в виде различных тепловых сбросов поступал в окружающую среду.

Физико-биологические исследования тепловых загрязнителей в различных странах показали, что наибольшее отрицательное влияние на природу и человека оказывают тепловые потоки, имеющие превышение температур по отношению к окружающей среде более чем на 20 - 30 °С. Согласно классификационным понятиям, принятым в СССР, - это низко-, средне- и высокотемпературные источники вторичных энергоресурсов [4].

Поэтому важное значение приобретает рациональное использование ВЭР. Проблема использования ВЭР, наряду с чисто энергетическими и экономическими аспектами, всегда связана с решением задач по охране окружающей среды, что накладывает особый отпечаток на требование к утилизационным схемам и оборудованию.

В настоящее время на химических предприятиях сравнительно неплохо используются горючие и высокотемпературные тепловые источники ВЭР. Использование же тепловых ВЭР низкого температурного уровня (150°С и ниже) находится в неудовлетворительном состоянии. Причин здесь несколько. Это: отсутствие стандартной аппаратуры, способной эффективно работать в особо трудных условиях (высокая агрессивность сред, большое количество механических и химических загрязнений, низкие температурные напоры); отсутствие, как правило, в пределах основных технологических линий потребителей теплоты низкого потенциала; отсутствие широкой гаммы схемных решений, позволяющих варьировать низкотемпературными источниками ВЭР и возможными потребителями такой теплоты; отсутствие устойчивых экономических, экологических и термодинамических критериев, позволяющих ясно и четко указать причину образования источника ВЭР, его энергетическое, экологическое и экономическое значение, а также возможный путь по совершенствованию энерготехнологической схемы с целью исключения или уменьшения тепловых выбросов.

Длительный период головной организацией по проблеме ВЭР в химической отрасли бывшего СССР являлся СФ НПО "Техэнергохимпром" (ныне АОТ НПФ "Техэнергохимпром"). За период

с 1972 г. по 1987 г. сотрудниками организации было обследовано 40 химических предприятий. Некоторые статистические данные, собранные в ходе обследований, представлены в табл. 3.1 и 3.2.

Сброс низкотемпературных ВЭР на "усредненном" химическом предприятии достигает 100 - 150 МВт, а на крупных - около 1000 МВт.

В качестве примера можно привести агрегат аммиака АМ-76, которым оснащены ряд предприятий азотной отрасли: общее энергопотребление агрегата составляет 690 МВт, сброс тепловых ВЭР - 250 МВт.

Т а б л и ц а 3.1

Объем неиспользуемых ВЭР по всесоюзным объединениям

Всесоюзное объединение	Количество обследованных предприятий	Объем неиспользуемых ВЭР, млн ГДж/год (млн Гкал/год)
Союзсода	9	9,6 (2,3)
Союзхлор	5	4,2 (1,0)
Союзазот	11	34,3 (8,2)
Союзфосфор	2	7,5 (1,8)
Союзосновхим	13	26,8 (6,4)
Итого:	40	82,4 (19,7)

Т а б л и ц а 3.2

Распределение ВЭР по агрегатному состоянию, млн ГДж/год
(млн Гкал/год)

Всесоюзное объединение	Механически загрязненные жидкости	Агрессивные жидкости	Чистые жидкости	Технологические и дымовые газы	Соковые и мятые пары	Расплавы
Союзсода	5,40 (1,36)	— —	0,13 (0,03)	2,93 (0,70)	0,67 (0,16)	0,21 (0,05)
Союзхлор	0,46 (0,11)	1,42 (0,34)	— —	1,30 (0,31)	0,92 (0,22)	0,08 (0,02)
Союзазот	6,70 (1,60)	1,51 (0,36)	1,05 (0,25)	9,38 (2,24)	15,45 (3,69)	0,25 (0,06)
Союзфосфор	— —	4,61 (1,10)	— —	0,04 (0,01)	— —	2,93 (0,70)
Союзосновхим	1,42 (0,34)	23,65 (5,65)	— —	1,42 (0,34)	0,29 (0,07)	— —
Итого:	13,98 (3,41)	31,19 (7,45)	1,18 (0,28)	15,07 (3,60)	17,33 (4,14)	3,47 (0,83)

Графическая иллюстрация неиспользуемых ВЭР по температурному уровню для обследованных предприятий представлена ниже: в координатах "теплота-температура" - на рис. 3.1, координатах " эксергия-температура" - на рис. 3.2. Как видно из приведенных графиков, наибольшие мощности неиспользуемых ВЭР находятся в температурном диапазоне от 50 до 100°C. Не меняет этой оценки и эксергетическая диаграмма неиспользуемых источников ВЭР, представленная на рис. 3.2. Расчет проводился на основе рекомендаций, изложенных в гл. 1.

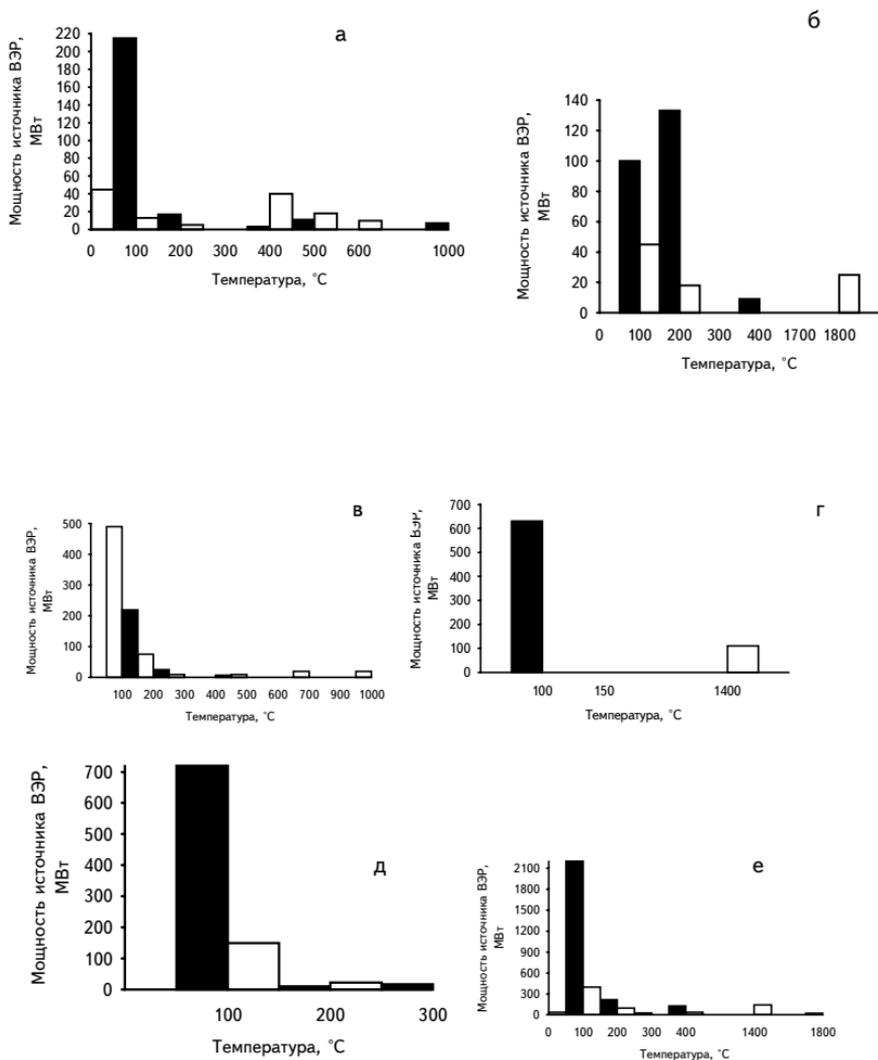


Рис. 3.1. Распределение источников ВЭР в зависимости от температурного режима и мощности источника ВЭР для производственных объединений: а - Союзсода; б - Союзхлор; в - Союзазот; г - Союзфосфор; д - Союзснсовхим; е - пяти объединений.

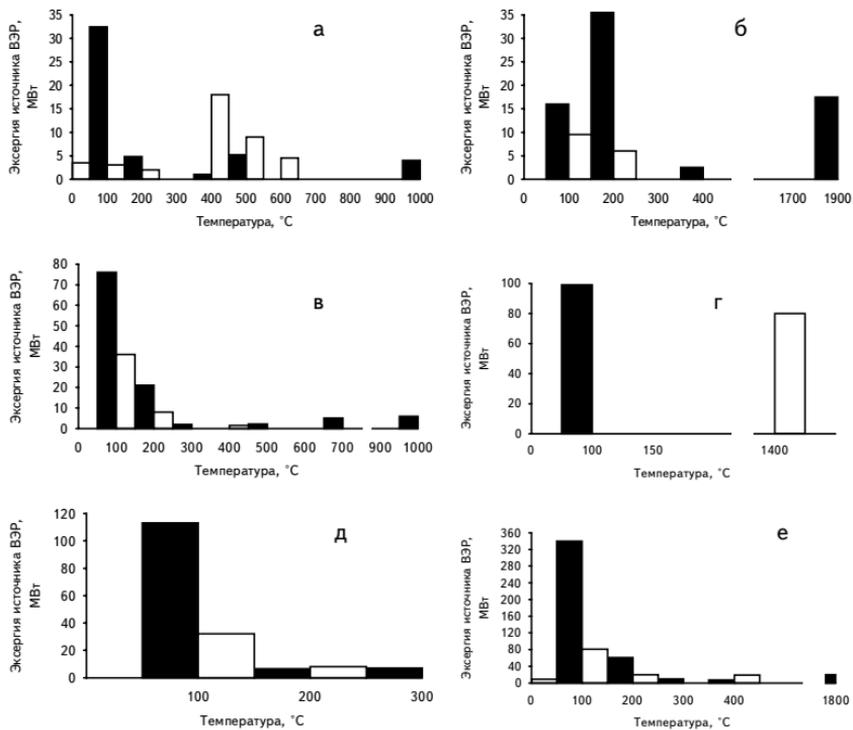


Рис. 3.2. Распределение источников ВЭР в зависимости от температуры и эксергии источника ВЭР для производственных объединений: а - Союзсода; б - Союзосновхим; в - Союзазот; г - Союзхлор; д - Союзфосфор; е - пять объединений.

ГЛАВА 4. ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И УМЕНЬШЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В данном разделе представлены описания и ряд характеристик схем, технологий, оборудования, которые были разработаны в АООТ НПФ "Техэнергохимпром" и прошли опытную или опытно-промышленную проверку в течение 1972 - 1992 гг.

4.1. Утилизация тепла загрязненных жидкостей

Как уже было показано в гл. 3, на предприятиях существенную долю в объемах ВЭР составляют загрязненные жидкости. К ним относятся дистиллерная жидкость в производстве кальцинированной соды, надсмольные воды коксохимических производств, фузельная жидкость в производстве спиртов, сажевая вода в производстве ацетилен, циркулирующие жидкости в производстве желтого фосфора, загрязненный паровой конденсат и др.

Наиболее распространенным загрязнителем горячих жидкостей являются различные минеральные вещества (соли кальция, натрия, магния, железа).

АООТ НПФ "Техэнергохимпром" для утилизации тепла загрязненных жидкостей использовал принцип мгновенного вскипания [2, 20, 38]. Этот принцип основан на следующем. Горячая загрязненная жидкость поступает в герметичную камеру (испаритель), где поддерживается давление (разряжение), соответствующее температуре насыщения воды, которая как минимум на 3 - 6 °С ниже температуры поступающей жидкости. За счет скрытой теплоты парообразования происходит вскипание как с поверхности жидкости, заполняющей нижнюю часть испарителя, так и с поверхности струй и капель, образующихся в процессе мгновенного вскипания. Само название "мгновенное вскипание" свидетельствует о том, что процесс парообразования происходит практически одновременно с поступлением жидкости в испаритель. Процесс в испарительной части аппарата протекает в адиабатном режиме, без подвода тепла извне.

Впервые принцип мгновенного вскипания был реализован в судовых установках для опреснения морской воды в начале 50-х годов. В настоящее время он используется довольно широким кругом практиков во всем мире [21, 22, 29, 30, 35, 41, 42].

В зависимости от того, какая задача ставится при утилизации, различаются принципы построения утилизационной (принципиальной) схемы и применяемая конструкция аппарата мгновенного вскипания (испарения), из которых и составляется принципиальная схема. За годы работы в АООТ НПФ "Техэнергохимпром" с загрязненными горячими жидкостями приходилось решать наиболее часто три задачи: утилизация тепла, извлечение ценных продуктов, извлечение чистой воды. Ниже представлены примеры реализации этих задач.

Установка использования тепла дистиллерной жидкости (УИТДЖ). В 1974 г. на Стерлитамакском ПО "Сода" прошел промышленные испытания аппарат мгновенного вскипания (АМВ) для утилизации тепла дистиллерной жидкости, являющейся отходом производства кальцинированной соды, а в 1977 г. введена в эксплуатацию опытно-промышленная установка использования тепла дистиллерной жидкости УИТДЖ-500 [2, 22].

Дистиллерная жидкость, сбрасываемая в пруды-накопители (так называемые "белые моря"), имеет следующую характеристику:

температура	95°С	NH ₃	0,1 кг/м ³
плотность	1126 г/м ³	взвеси (песок)	25 кг/м ³
содержание примесей:		количество сбрасываемой	
CaCl ₂	117 кг/м ³	жидкости на 1 т выпуска-	
NaCl	53 кг/м ³	емой продукции	8 - 9 т.
CaSO ₄	2,6 кг/м ³		

Содержащиеся в дистиллерной жидкости химические вещества и тепло безвозвратно терялись. При этом наряду с экономическим ущербом наносился существенный двойной химико-тепловой удар по окружающей среде. До работ АООТ НПФ "Техэнергохимпром" считалось, что отвод тепла от дистиллерной жидкости - технически неразрешимая задача, так как стандартное теплотехническое оборудование мгновенно зарастало и забивалось вышеуказанными примесями. Использование АМВ специальной конструкции опровергло этот вывод. Эскиз примененного аппарата представлен на рис. 4.1.

Работа АМВ осуществляется следующим образом. Исходный горячий сток по тангенциальному вводу 2 поступает в нижнюю полую часть аппарата, вскипает и охлажденный и частично упаренный отводится из аппарата через отвод 4. Образовавшиеся пары поднимаются в верхнюю часть аппарата, проходят брызгоотделитель 5 и соприкасаются с трубчаткой конденсатора 1, где отдают свое тепло охлаждающей (нагреваемой) воде, конденсируются, собираются в поддоне под конденсатором и через патрубок 3 выводятся из аппарата. Несконденсировавшаяся парогазовая смесь отводится через верхний патрубок в систему вакуумирования аппарата. Данный цикл идет непрерывно.

На рис. 4.2 представлена схема УИТДЖ-500, аналогичная схеме, которая была реализована после испытаний первого аппарата на Стерлитамакском ПО "Сода".

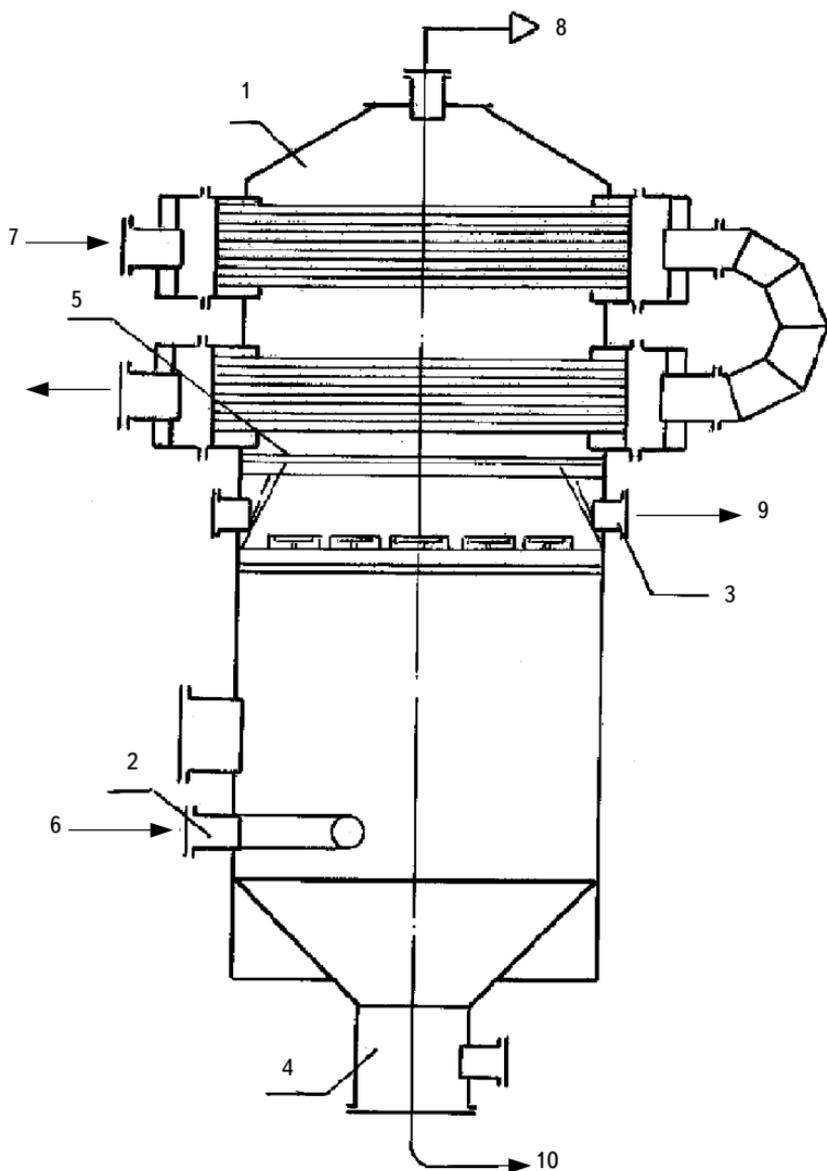


Рис. 4.1. Эскиз АМВ для концентрирования и упаривания:

1 - конденсатор; 2 - патрубок подвода стоков; 3 - патрубок отвода дистиллята; 4 - патрубок отвода упаренных стоков; 5 - брызгоотделитель; 6 - исходящий сток; 7 - охлаждающая вода; 8 - отвод парогазовой смеси; 9 - дистиллят; 10 - упаренный сток.

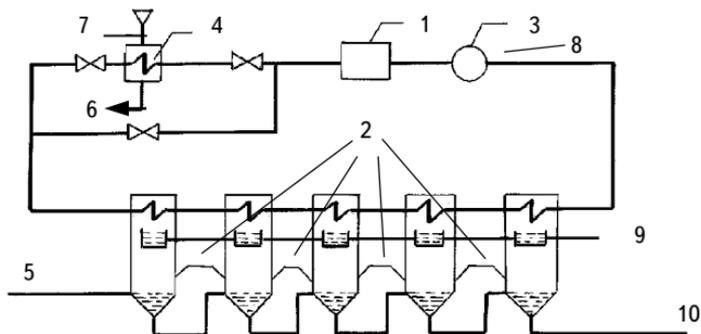


Рис. 4.2. Принципиальная схема использования тепла загрязненной жидкости для отопления и горячего водоснабжения:

1 - тепловой потребитель; 2 - каскад АМВ; 3 - сетевой насос; 4 - бойлер; 5 - горячая загрязненная жидкость; 6 - конденсат; 7 - пар; 8 - сетевая вода; 9 - дистиллят; 10 - охлажденная загрязненная жидкость.

Установка состоит из цепочки последовательно соединенных АМВ 2. Горячая загрязненная жидкость поступает в кубовые части АМВ и, последовательно перетекая из аппарата в аппарат за счет разности давлений, охлаждается от 95°С до 65°С. Образовавшиеся в каждом аппарате пары поднимаются к трубчаткам конденсаторов и нагревают циркулирующую воду из теплофикационных сетей или же, как в Стерлитамаке, химочищенную перед котлами. При необходимости догрев циркуляционной воды может осуществляться в бойлере 4. Образовавшийся дистиллят, содержащий аммиак, возвращается в содовое производство.

Характеристики УИТДЖ-500:

Расход, м ³ /ч		Тепловая мощность	
Дистиллерной жидкости	500	установки, МВт	14,9
химочищенной воды	400	Количество аппаратов, шт.	6
Температура, °С		Выход дистиллята, т/ч	23,0
дистиллерной жидкости		Вес одного аппарата, т	5,0
на входе	95	Поверхность теплообмена	
на выходе	65	одного аппарата, м ²	94
химочищенной воды		Срок окупаемости	
на входе	40	установки, лет	3,5.
на выходе	72		

После успешных испытаний УИТДЖ-500 была принята отраслевая программа внедрения аналогичных установок. Установки на аналогичном принципе и средах были внедрены на Щекинском ПО "Азот", Кемеровском и Заринском коксохимических заводах, Северодонецком ПО "Азот".

Установка концентрирования раствора CaCl₂ за счет тепла дистиллерной жидкости. Способ решения задачи по извлечению

ценных химических веществ из загрязненной горячей жидкости с использованием АМВ представлен на рис. 4.3 [21, 22, 29]. Данная схема адаптировалась к условиям содовых производств совместно с НИИОХИМ (г. Харьков).

Дистиллерную жидкость с температурой 95 - 100 °С из дистиллера 1 содового производства с концентрацией 11,8% по CaCl_2 подают в первый каскад АМВ 2, где она охлаждается за счет вскипания до 50 - 60 °С, одновременно увеличивая концентрацию по CaCl_2 до 12,6%.

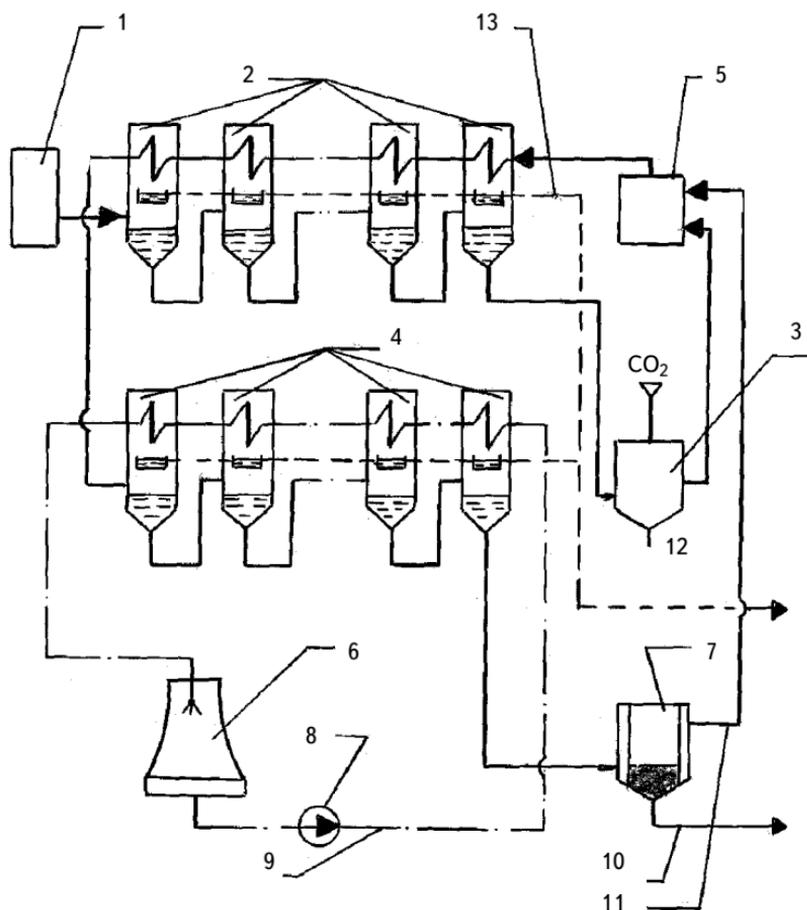


Рис. 4.3. Принципиальная схема получения концентрированного раствора CaCl_2 из дистиллерной жидкости за счет ее физического тепла:

1 - дистиллер; 2 - аппарат мгновенного вскипания первого каскада; 3 - карбонизатор; 4 - аппарат мгновенного вскипания второго каскада; 5 - смеситель; 6 - градирня; 7 - отстойник; 8 - насос; 9 - охлаждающая вода; 10 - раствор CaCl_2 ; 11 - затравочная жидкость; 12 - шлам; 13 - конденсат.

Охлажденная, упаренная жидкость поступает в карбонизатор-отстойник 3, где происходит отделение шлама. Осветленная часть жидкости поступает в смеситель 5, где после смешения с затравочным раствором, содержащим CaSO_4 , направляется в трубочки конденсаторов АМВ первого каскада. Подогретая до 85 - 90 °С жидкость поступает во второй каскад АМВ 4, где вновь охлаждается до 50 °С за счет вскипания и конденсации паров оборотной водой из градирни 6 и концентрируется до 13,2 - 13,5% по CaCl_2 . Упаренный, охлажденный раствор поступает в отстойник 7, где происходит разделение растворов затравочного и продукционного. Затравочный раствор используется для предотвращения отложений солей в трубочках конденсаторов первого каскада АМВ.

Таким образом, происходит предварительное концентрирование раствора CaCl_2 за счет сбросного тепла дистиллерной жидкости и тем самым экономится прямое топливо. Себестоимость CaCl_2 при этом понижается на 25%.

4.2. Термическое обессоливание природной и сточных вод

Современные предприятия потребляют значительное количество химочищенной и обессоленной воды, которая используется для производства пара в котлах, для технологических целей.

В настоящее время обессоленную воду на предприятиях получают, как правило, методом, основанном на ионном обмене (химическое обессоливание), к основным недостаткам которого следует отнести большое количество минерализованных стоков, высокую себестоимость. Вторым по распространению в мире является термический (дистилляционный) способ обессоливания природных и сточных вод [41, 42].

Технико-экономические исследования, проведенные в АОТ НПФ "Техэнергохимпром" показали, что неиспользуемые ВЭР предприятий можно эффективно использовать для получения обессоленной воды дистилляционным методом [38, 53]. При этом достигается высокое качество обессоленной воды, в 5 - 10 раз снижается количество стоков, на 20 - 30% уменьшаются капитальные вложения в водоподготовку, на 30 - 50% снижается себестоимость обессоленной воды. В качестве исходной воды наряду с природной могут быть использованы продувочные воды оборотных систем водоснабжения, котлов-утилизаторов, условно чистые сточные воды биологических очистных сооружений и др.

АОТ НПФ "Техэнергохимпром" разработал ряд дистилляционных (обессоливающих) установок (совместно с ГИАП и ГИПРОХИМОМ, г. Москва) производительностью от 10 до 250 т/ч по обессоленной воде. Внедрение их намечено на азотных и сернокислотных заводах России. Первые такие установки строятся на Новгородском и Ионавском ПО "Азот" [38].

Принципиальная технологическая схема термического обессоливания воды за счет тепла ВЭР представлена на рис. 4.4. В основу ее положено использование принципа мгновенного вскипания, но с аппаратами другой конструкции, чем описанные в гл. 4.1.

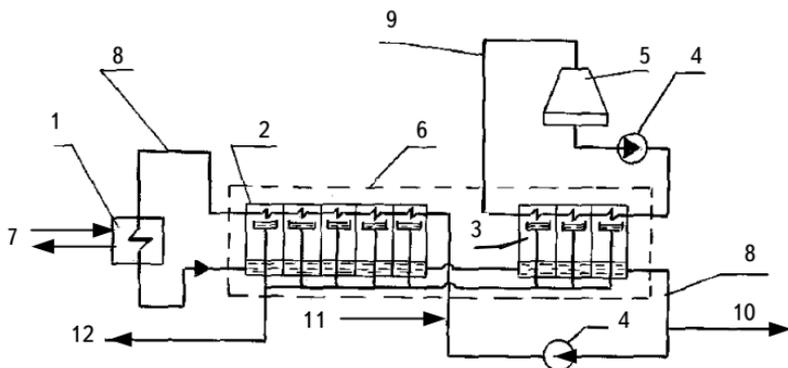


Рис. 4.4. Принципиальная технологическая схема термического обессоливания воды за счет ВЭР:

1 - теплообменник; 2 - регенеративная часть; 3 - хвостовая часть; 4 - насос; 5 - градирня; 6 - испарительный блок; 7 - горячий теплоноситель (источник ВЭР); 8 - циркулирующая вода; 9 - обратная вода; 10 - продуква; 11 - подпитка; 12 - обессоленная вода.

Установка работает на тепле пара выхлопа турбоприводов компрессоров агрегата аммиака. Пар из турбопривода компрессора с температурой 70°C поступает в теплообменник-конденсатор 1, где конденсируется и нагревает циркуляционную воду от 56°C до 66°C. Образовавшийся конденсат пара возвращается в производство. Нагретая циркуляционная вода проходит последовательно аппараты мгновенного вскипания, где частично испаряется, охлаждается до 38°C и насосом 4 подается в конденсаторы регенеративной части каскада АМВ 2. Здесь она нагревается до 56°C. В конденсаторы хвостовой части каскада АМВ 3 поступает обратная охлаждающая вода из градирни 5. Дистиллят из каждого аппарата отводится в общий коллектор, по которому поступает в производство. Исходная подпиточная вода перед подачей в контур установки проходит частичную деаэрацию и, при необходимости, частичное умягчение. Для поддержания постоянного солевого баланса в установке имеется постоянная продуква. Для исключения накипеобразования в теплообменных аппаратах вводятся специальные ингибиторы.

Техническая характеристика установки для Новгородского ПО "Азот":

Производительность, т/ч	210,0
Солеосодержание дистиллята, мг/л	0,1 - 0,2
Удельный расход, м ³ /т	
подпиточной воды	1,08-1,12
обратной воды	19,0
Греющий пар-выхлоп турбопривода:	
расход, т/ч	75,6

температура, °С	70
давление, МПа	0,031
Количество АМВ, шт.	9
Общая поверхность теплообмена, м ²	12700
Вес одного аппарата АМВ, т	41,3

Эскиз разработанного аппарата мгновенного вскипания для обессоливания воды представлен на рис. 4.5 [38].

Изготовление таких аппаратов налажено на заводе "Пензхиммаш".

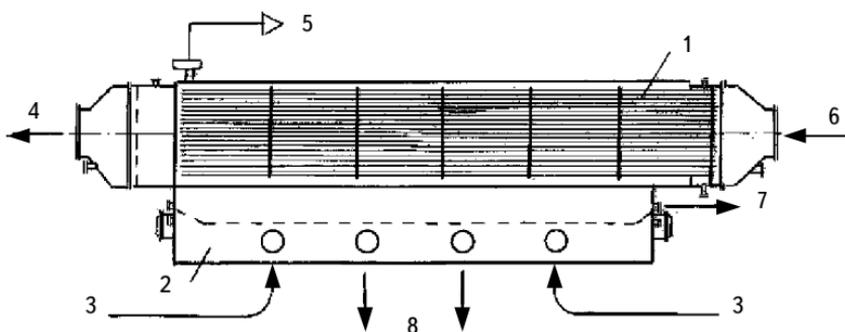


Рис. 4.5. Эскиз АМВ для термического обессоливания воды:

1 - конденсатор; 2 - испарительная камера; 3 - вход циркуляционной воды; 4 - выход охлажденной воды; 5 - отвод парагазовой смеси; 6 - вход охлажденной воды; 7 - выход дистиллята; 8 - выход циркуляционной воды.

4.3. Установка использования тепла загрязненного сокового (мятого) пара

Большие потоки теплового загрязнения поступают в атмосферу с соковыми и мятыми парами. Для чистых соковых и мятых паров существует довольно широкий спектр технических средств, позволяющих вернуть их энергию в полезный цикл [21, 22, 28, 43, 52].

В ряде химических технологий (например, производство удобрений) существует проблема утилизации сокового пара, несущего значительное количество технологических минеральных продуктов, которые при прямой конденсации залепают теплообменные поверхности [3]. Для решения проблемы разработана установка, принципиальная схема которой представлена на рис. 4.6 [20, 55].

Грязный соковый пар поступает в смесительный теплообменник 1, орошаемый циркуляционной жидкостью, где он конденсируется и поглощается орошающей жидкостью. Нагретая циркуляционная жидкость поступает в каскад АМВ 2, где происходит ее охлаждение и частичное упаривание. Тепло через трубки конденсаторов АМВ отводится к тепловому потребителю 5, дистиллят идет в производство пара, а

охлажденная циркуляционная жидкость после отделения сгущенного осадка в сгустителе 3 циркуляционным насосом подается на орошение смесительного теплообменника 1. Цикл повторяется.

Такая установка разрабатывалась для производства удобрений Воскресенского ПО "Минудобрений" и Северодонецкого ПО "Азот".

Разработанное ТЭО позволяло судить о их высокой рентабельности. Срок окупаемости не превышал трех лет.

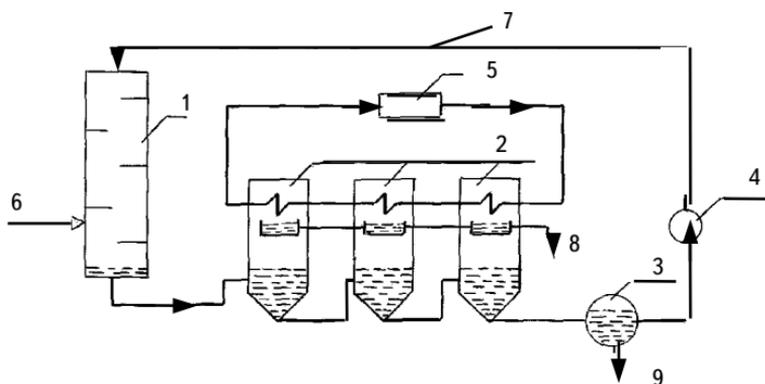


Рис. 4.6. Принципиальная схема использования тепла загрязненных соковых паров:

1 - смесительный теплообменник; 2 - аппараты мгновенного вскипания; 3 - сгуститель; 4 - циркуляционный насос; 5 - тепловой потребитель; 6 - соковый пар; 7 - циркулирующая жидкость; 8 - дистиллят; 9 - концентрат.

4.4. Установка утилизации тепла расплавов и огненно-жидких шлаков

Для ряда химических (например, производство желтого фосфора) и металлургических предприятий существует проблема утилизации тепла расплавов и огненно-жидких шлаков [3, 4]. С целью решения проблемы утилизации тепла и уменьшения загрязнения окружающей среды для Чимкентского и Джамбульского фосфорных заводов разрабатывалась схема, представленная на рис. 4.7 [22].

Расплав (огненно-жидкий шлак) поступает в смесительный гранулятор-теплообменник 1, где за счет контакта с холодными промсточными водами происходит его резкое охлаждение, в результате которого он переходит в твердую фазу, а затем, растрескиваясь, образует массу небольших гранул неправильной формы.

Образовавшийся гранулированный шлак через систему фильтров выводится из аппарата и может использоваться в строительном и дорожном производствах. Образовавшаяся в результате прямого контакта промсточных вод и расплава парогазовая смесь отводится из гранулятора-теплообменника в смесительный теплообменник 2, где за счет орошения циркулирующей жидкостью происходит конденсация

паров и нагрев жидкости. Нагретая циркулирующая жидкость поступает в каскад аппаратов мгновенного вскипания 3, где происходит ее охлаждение и упаривание. Тепло отводится к тепловому потребителю 6 (например, системы горячего водоснабжения, химводоподготовка), образовавшийся дистиллят отводится в производство, а охлажденная циркулирующая жидкость после отстоя и отделения осадка (концентрата) циркуляционным насосом 5 возвращается на орошение смесительного теплообменника 2. Смесительный теплообменник и аппараты мгновенного вскипания снабжены системой газоотделения и вакуумирования.

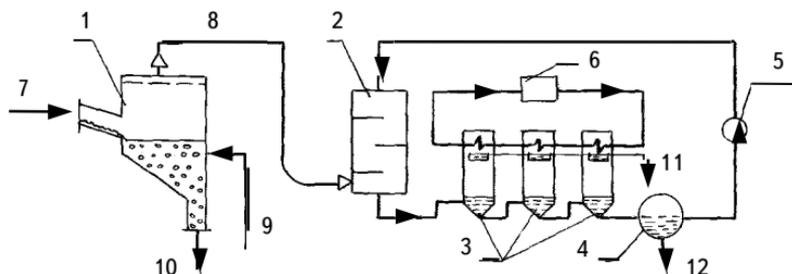


Рис. 4.7. Принципиальная схема использования тепла огненно-жидких шлаков (расплавов):

1 - смесительный гранулятор-теплообменник; 2 - смесительный теплообменник; 3 - аппараты мгновенного вскипания; 4 - ресивер; 5 - циркуляционный насос; 6 - тепловой потребитель; 7 - расплав; 8 - ПГС; 9 - промсток; 10 - гранулированный шлак; 11 - дистиллят; 12 - концентрат.

Данная схема позволяет решить несколько проблем: защиту окружающей среды от сброса в нее отходов с высокой температурой, утилизацию тепла расплавов и, соответственно, экономию топлива, упарку промышленных сточных вод и получение пресной (обессоленной) воды, а также получение строительного-дорожного материалов.

4.5. Утилизация тепла агрессивных жидкостей

Серьезной проблемой для предприятий является утилизация тепла горячих агрессивных жидкостей (кислот, щелочей, рассолов). Диапазон технических решений, существующих сегодня в мировой инженерной практике, довольно скуден [24, 32, 34, 46]. Несмотря на существенные объемы сброса тепла, эта задача решается с большим трудом. Использование тепла агрессивных жидкостей не представляется возможным из-за конструкции теплообменников, в которых происходит их охлаждение. В теплообменниках спирального, оросительного, пластинчатого типа невозможно предотвратить попадание агрессивной жидкости в охлаждающую (нагреваемую) среду. Следовательно, в них опасно осуществлять подогрев сред, используемых, например, в бытовых системах отопления и горячего водоснабжения. Требовалось создать

теплообменное устройство такой конструкции, в которой было бы исключено взаимное проникновение сред и гарантировалась их безопасная работа.

Такая конструкция была создана в АОТ НПФ "Техэнергохимпром" и прошла успешные промышленные испытания [2, 22, 23]. Для охлаждения агрессивных сред был разработан специальный теплообменник с промежуточным теплоносителем (ТПТ), использующий принципы гравитационной "тепловой трубы" [22, 23]. Испытания проводились на охлаждении (утилизации тепла) потоков серной кислоты Винницкого химкомбината и Череповецкого ПО "Аммофос" [1, 2, 23].

На рис. 4.8 представлен эскиз разработанного и испытанного ТПТ.

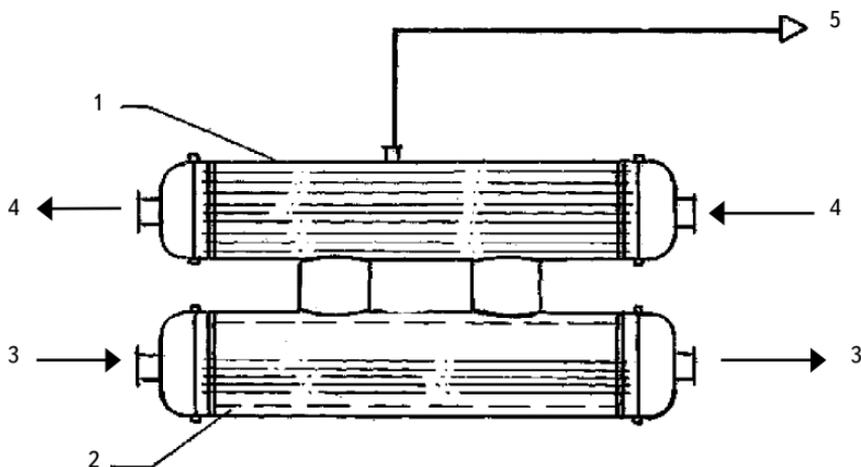


Рис. 4.8. Теплообменник с промежуточным теплоносителем:

1 - конденсатор; 2 - испаритель; 3 - кислота; 4 - охлаждающая вода; 5 - отвод паровоздушной смеси.

Аппарат представляет собой два вакуум-плотных горизонтальных кожухотрубных теплообменника, соединенных между собой соединительными трубами-опорами. Верхний является конденсатором 1, нижний - испарителем 2.

Испаритель (межтрубное пространство) залит промежуточным теплоносителем, в качестве которого используется химочищенная вода либо низкокипящее вещество (фреон, аммиак). Аппарат работает следующим образом. Перед запуском из него отсасывается воздух, неконденсирующие газы и создается разрежение, соответствующее заданному режиму работы. В трубчатку испарителя 2 подается охлаждаемая агрессивная жидкость (в данном случае - серная кислота), в трубчатку конденсатора - нагреваемая (охлаждающая) среда (в данном случае вода из системы химводоподготовки). Кислота, охлаждаясь, отдает тепло через стенку трубы промежуточному теплоносителю (воде), который вскипает. Пары промежуточного теплоносителя поднимаются по

соединительным патрубкам в межтрубное пространство конденсатора, отдают свое тепло через стенку труб нагреваемой воде и в виде конденсата стекают обратно в испаритель. Цикл повторяется. Как видно из описания, в данной конструкции аппарата создано несколько степеней защиты для безопасной передачи тепла от серной кислоты к воде химводоподготовки. Это: две трубчатки, промежуточный теплоноситель, паровое пространство, а также средства автоматики и сигнализации.

В 1974 г. на Винницком химкомбинате был смонтирован опытно-промышленный ТПТ, который прошел длительные промышленные испытания. Испытания подтвердили безопасность передачи тепла и показали хорошие эксплуатационные и теплотехнические характеристики [2, 21, 22]. На основе этих испытаний были созданы более мощные ТПТ и разработана программа оснащения сернокислотных заводов СССР утилизационными установками с ТПТ для передачи тепла различным потребителям: в системы отопления, горячего водоснабжения, химводоподготовки и др. [1]. Одна из таких установок была разработана для Череповецкого ПО "Аммофос" с целью передачи тепла от серной кислоты к воде, питающей котлы-утилизаторы. Принципиальная схема этой установки представлена на рис. 4.9.

Горячая серная кислота, выходящая из моногидратного абсорбера 1, через систему сборник 8 - циркуляционный насос 9 поступает в двухкаскадную систему охлаждения, состоящую из последовательно соединенных ТПТ 3 и концевого холодильника 7. В каскаде ТПТ кислота отдает тепло химочищенной воде, которая догревается затем в паровом подогревателе 4, деаэрируется в атмосферном деаэраторе 2 и поступает в котел-утилизатор 6 сернокислотного производства для выработки пара на тепле технологических газов.

В концевого холодильнике 7 кислота доохлаждается оборотной водой до технологических температур и поступает на орошение абсорбера. Цикл повторяется.

Первая очередь этой установки была запущена на заводе в 1987 г. [1]. Технические характеристики установки:

Тепловая мощность установки, МВт	3,9
Расход серной кислоты, м ³ /ч	560
Расход нагреваемой воды, м ³ /ч	200
Температура кислоты, °С:	
на входе в каскад ТПТ	75
на выходе из каскада ТПТ	66
Температура воды, °С:	
на входе	20
на выходе	44
Число ТПТ, шт.	2
Поверхность теплообмена одного ТПТ, м ² :	
Испарителя	270
Конденсатора	200

Материал:

испарителя	сталь 12Х18Н10Т
конденсатора	сталь 20
Масса одного ТПТ, т	14,5

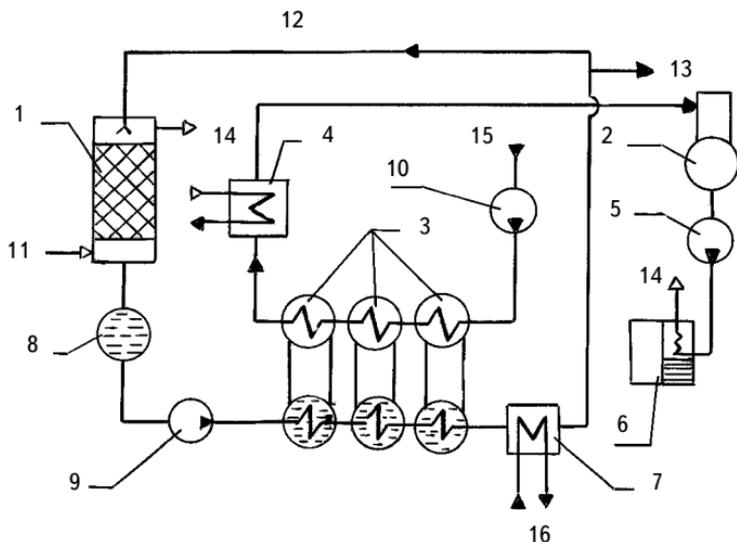


Рис. 4.9. Принципиальная схема использования тепла агрессивной жидкости (серной кислоты) для нагрева химочищенной воды:

1 - абсорбер; 2 - деаэратор атмосферный; 3 - теплообменники с промежуточным теплоносителем; 4 - подогреватель; 5 - насос питательной воды; 6 - котел-утилизатор; 7 - конечный холодильник; 8 - сборник кислоты; 9 - насос для подачи серной кислоты; 10 - насос для подачи химочищенной воды; 11 - серный газ; 12 - серная кислота; 13 - производственная кислота; 14 - пар; 15 - химочищенная вода; 16 - охлаждающая вода.

Установка показала устойчивую, хорошую работоспособность и позволила предприятию наряду с чисто экологическим результатом экономить топливо, оборотную воду. В дальнейшем планировалось использовать тепло серной кислоты и для покрытия базовой нагрузки отопительных сетей завода. Качественный характер участия такой установки в покрытии графика тепловых нагрузок представлен на рис. 4.10, 4.11.

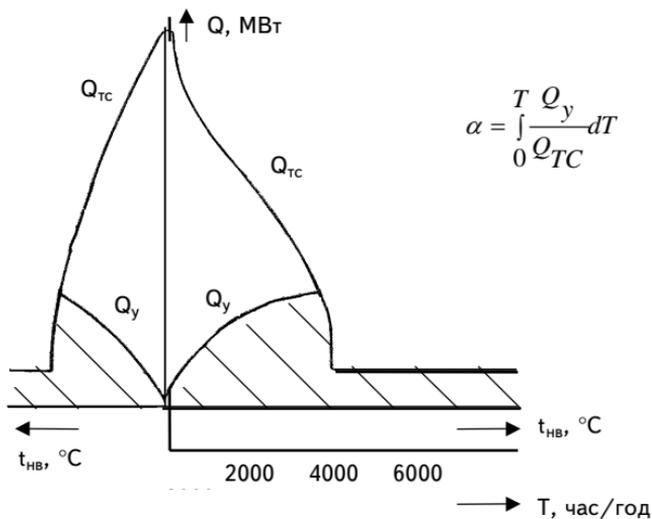


Рис. 4.10. Графики тепловых нагрузок теплофикационных сетей с участием утилизационной установки:

$Q_{ТС}$ - тепловая нагрузка сети; Q_y - величина нагрузки сети, замещаемая теплом утилизационной установки; $t_{нв}$ - температура наружного воздуха; T - длительность работы теплофикационных сетей; α - коэффициент покрытия графика тепловой нагрузки сети за счет тепла утилизационной установки.

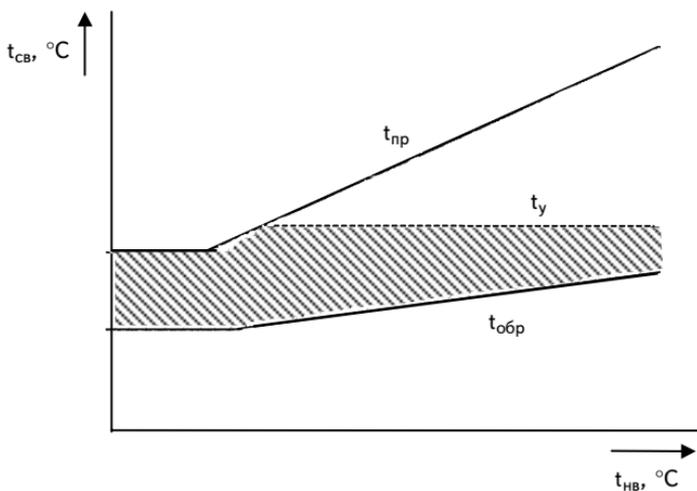


Рис. 4.11. График температур сетевой воды с участием ВЭР:

$t_{св}$ - температура сетевой воды; $t_{нв}$ - температура наружного воздуха; $t_{пр}$ - температура сетевой воды в прямой магистрали; $t_{обр}$ - температура сетевой воды в обратной магистрали; t_y - температура сетевой воды на выходе утилизационной установки.

4.6. Установка использования тепла загрязненных горячих газов

На различных промышленных предприятиях большие объемы тепла сбрасываются в атмосферу с технологическими, дымовыми и вентиляционными газами, воздухом. Российским и зарубежным практикам при разработке утилизационных устройств на газовых потоках приходится сталкиваться с одинаковыми проблемами: низкий коэффициент теплопередачи, большие объемы и громоздкость оборудования. Решению этих проблем посвящено довольно много публикаций [2, 20, 21, 22, 31, 33, 36, 37, 38, 43, 52]. Ниже представлены описания устройств, которые разрабатывались в АООТ НПФ "Техэнергохимпром" для уменьшения теплового загрязнения окружающей среды газовыми потоками.

На рис. 4.12 представлена принципиальная схема установки использования тепла горячих газов, имеющих существенную долю конденсирующихся и твердых механических включений. В основу установки положен принцип использования теплообмена между газами и движущейся твердой насадкой (металлическая дробь, шары; керамические шары) [21, 22].

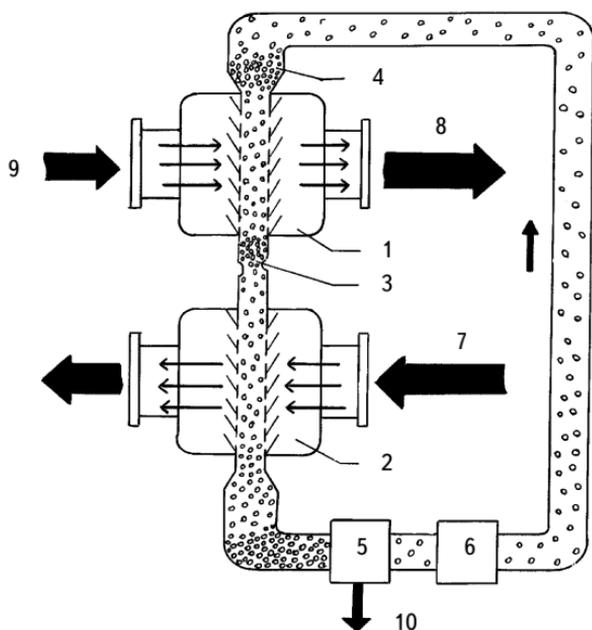


Рис. 4.12. Принципиальная схема использования тепла загрязненных горячих газов:

1 - охладитель газов; 2 - нагреватель газов; 3 - газовый затвор; 4 - загрузочное устройство; 5 - очистное устройство; 6 - транспортное устройство; 7 - нагреваемый газ; 8 - охлажденный очищенный газ; 9 - загрязненный горячий газ; 10 - шлам.

Установка состоит из вертикально расположенных по отношению друг к другу охладителя газов 1 и нагревателя газов 2, очистного устройства движущейся насадки ОУ, транспортного устройства движущейся насадки ТУ.

Грязный горячий газ через щелевой распределитель охладителя 1 попадает в столб непрерывно движущихся металлических шаров, которые за счет прямого контакта нагреваются. На них происходит одновременно конденсация расплавленных частиц, влаги, оседание механической пыли. Охлажденный очищенный газ через щелевой выходной распределитель выводится из установки.

Нагретые шары с механической пылью и осевшим расплавом через газовый затвор 3 за счет собственного веса поступают в шахту нагревателя газов 2. В ней происходит их контакт с нагреваемым газом. Шары охлаждаются, а нагретый газ через щелевой распределитель отводится к потребителю. Охлажденные шары вместе с загрязняющими веществами поступают в ОУ 5. Движение шаров в плотном столбе, их постоянное соударение и трение друг о друга приводит к самоочистке.

Корочки затвердевших расплавов растрескиваются и легко отделяются от шаров механическим путем. Очищенные и охлажденные шары поступают в ТУ 6, с помощью которого поднимаются в загрузочное устройство 4 охладителя газов 1. Цикл повторяется. Транспортное устройство может использовать гидравлический, механический и аэрогидравлический принципы.

Такая установка прорабатывалась для сбросных газов прокатных печей цементного производства. Она позволяет экономить топливо и уменьшить химическое и тепловое загрязнение прилегающих районов.

4.7. Установка использования тепла вытяжного воздуха вентиляционных систем

На промышленных предприятиях для нагрева приточного воздуха расходуется большое количество тепла, которое в конечном итоге с вытяжным воздухом выбрасывается в атмосферу и увеличивает тепловое загрязнение. Использование существующих калориферов и других стандартных теплообменных устройств для рекуперации отработанного тепла малоэффективно из-за низких коэффициентов теплоотдачи и больших капитальных вложений.

С целью повышения эффективности теплообмена АОТ НПФ "Техэнергохимпром" разработал высокоэффективный теплообменник с пенно-барботажным слоем, конструкция которого приведена на рис. 4.13. Теплообменник представляет собой цилиндрический аппарат, включающий: распределительную решетку 1 для равномерного распределения воздуха и создания пенного слоя и сепаратора 2 для сепарации уносящих капель жидкости. В пенный слой 3 смонтирована трубочка для подвода охлаждающей (нагревающей) среды.

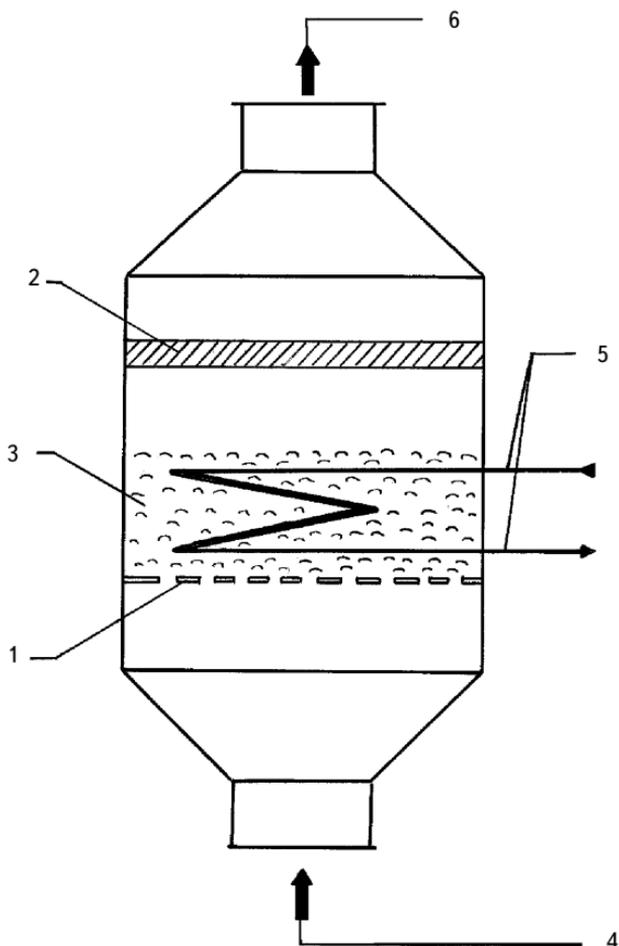


Рис. 4.13. Принципиальная схема теплообменника с пенно-барботажным слоем:

1 - решетка; 2 - сепаратор; 3 - пенный слой; 4 - поток горячего газа; 5 - поток нагреваемой среды; 6 - поток охлажденного газа.

На рис. 4.14 представлена принципиальная схема установки использования тепла вытяжного воздуха для нагрева приточного воздуха с использованием теплообменников с пенно-барботажным слоем [33, 37].

Пенно-барботажные теплообменники монтируются в существующую схему подачи воздуха на вентиляцию, которая работает следующим образом.

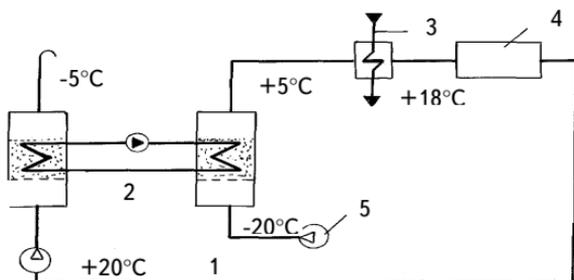


Рис. 4.14. Принципиальная схема использования тепла вытяжного воздуха для подогрева приточного воздуха:

1 - вытяжной воздух; 2 - незамерзающий раствор; 3 - горячая вода; 4 - цех; 5 - приточный вентилятор.

Воздух из атмосферы с температурой -20°C приточным вентилятором подается в пенно-барботажный теплообменник, где нагревается теплом вытяжного воздуха до $+5^{\circ}\text{C}$, далее догревается горячей водой в калорифере до требуемой температуры $+18^{\circ}\text{C}$ и подается в производственные цеха. Вытяжной воздух из цеха с температурой $+20^{\circ}\text{C}$ вентилятором подается в другой аналогичный теплообменник, где промежуточным теплоносителем охлаждается до -5°C и сбрасывается в атмосферу. Циркулирующий в теплообменниках незамерзающий теплоноситель передает тепло вытяжного воздуха на нагрев приточного.

Данные установки очень просты и надежны в эксплуатации и могут быть с минимальными капитальными вложениями смонтированы в любые существующие системы вентиляции производственных цехов.

4.8. Установки и способы утилизации сбросного тепла с использованием тепловых трансформаторов

В последнее время вновь возрастает интерес к методам утилизации тепла с использованием абсорбционных тепловых трансформаторов [1, 5, 6, 20 - 22, 26, 28, 45, 49 - 51].

В зависимости от схемы соединения, режимов работы, потенциала подводимых и отводимых источников энергии различают три основных вида работы в режиме:

- холодильной машины;
- понижающего трансформатора (теплого насоса),
- повышающего трансформатора.

Символические схемы трех вышеперечисленных режимов представлены на рис. 4.15. Схема I - режим холодильной машины. Подводя в термотрансформатор тепловую энергию высокого потенциала $Q_{\text{в}}$ и отводя к окружающей среде тепло среднего потенциала $Q_{\text{с}}$, получают холод $Q_{\text{н}}$. В термотрансформаторе - холодильной машине величина $Q_{\text{в}}$ всегда больше $Q_{\text{н}}$.

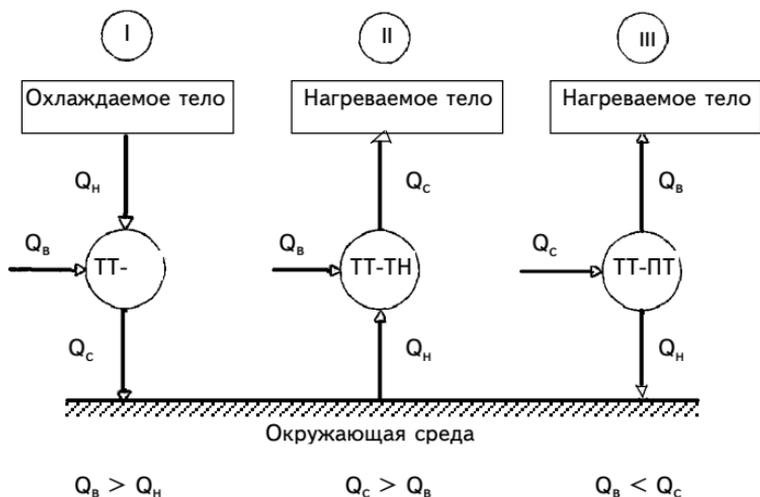


Рис. 4.15. Символические схемы тепловых трансформаторов:

Q_B, Q_C, Q_H - тепловые потоки высокого, среднего и низкого потенциалов (относительно друг друга).

Схема II - режим теплового насоса. Подводя в термотрансформатор тепловую энергию высокого Q_B и низкого потенциалов Q_H , получают тепло среднего потенциала Q_C . В тепловом насосе Q_C всегда больше Q_B .

Схема III - режим повышающего термотрансформатора. Подводя в термотрансформатор тепло среднего потенциала Q_C и отводя в окружающую среду тепло низкого потенциала Q_H , получают тепловую энергию более высокого потенциала Q_B , причем Q_B всегда меньше Q_C .

С помощью термотрансформатора I типа сбросное тепло может производить холод для технологий и кондиционирования помещений.

Сбросное тепло в термотрансформаторе II типа может производить больше тепла по объему, чем затрачено прямого.

Используя сбросное тепло в термотрансформаторе III типа можно получать тепло более высокого потенциала (температуры), чем имеют подводимые источники.

На рис. 4.16 представлена принципиальная схема использования тепла ВЭР для выработки высокопотенциального холода в абсорбционном термотрансформаторе, заправленном водно-солевым раствором, например, раствором бромистого лития. Тепло от источника ВЭР подводится к абсорбционной холодильной машине (АХМ) и подается в трубное пространство подогревателя генератора 1, в результате чего происходит выпаривание раствора бромистого лития. Образовавшиеся пары воды перетекают в конденсатор 2, трубчатка которого охлаждается оборотной водой или воздухом. Сконденсированные пары воды подаются на орошение трубчатки испарителя 4, отбирают тепло от захлаживаемой воды, охлаждая ее, вновь испаряются и перетекают в абсорбер 3. Абсорбер орошается выпаренным крепким раствором из генератора 1

машины. Пары воды поглощаются крепким раствором, разбавляя его. Процесс абсорбции паров воды сопровождается выделением тепла и поднятием температуры раствора. Отвод выделяющегося тепла осуществляется через трубочку охлаждающей водой. Разбавленный раствор подается вновь в генератор машины, где упаривается. Цикл повторяется. Захолаженная вода с температурой 5 - 20 °С используется, например, для охлаждения, как показано на схеме, технологических колонн.

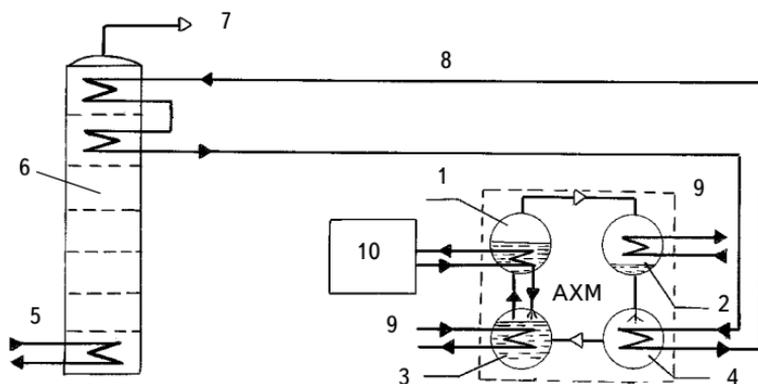


Рис. 4.16. Принципиальная схема использования тепла ВЭР для выработки высокопотенциального холода:

1 - генератор; 2 - конденсатор; 3 - абсорбер; 4 - испаритель; 5 - теплоноситель; 6 - технологическая колонна; 7 - продукт; 8 - захолаженная вода; 9 - охлаждающая вода; 10 - источник ВЭР.

На рис 4.17 представлена принципиальная схема использования тепла ВЭР с абсорбционным тепловым насосом (АТН) аналогичной конструкции, что описана выше. Принципиальное отличие заключается в режимах работы термотрансформатора: вместо охлаждающей воды в трубочки абсорбера и конденсатора подается нагреваемая вода, а в трубочки испарителя подается не захолаживаемая вода (по температуре), а более высокотемпературный теплоноситель на уровне 30 - 50°С. Нагретая вода с температурой 60 - 70°С используется в системах горячего водоснабжения и отопления.

На рис. 4.18 представлена принципиальная схема использования тепла ВЭР с абсорбционным повышающим термотрансформатором (АПТ). Конструктивно повышающий термотрансформатор состоит из тех же элементов: генератор, конденсатор, испаритель, абсорбер. Режим работы его ведется таким образом, что процесс в абсорбере сопровождается более высокотемпературным разогревом слабого раствора в процессе поглощения паров воды, чем в описанных выше I и II режимах. Это соответственно позволяет получать в трубочках абсорбера более горячей теплоноситель, но объемы его существенно ниже, чем в режиме теплового насоса.

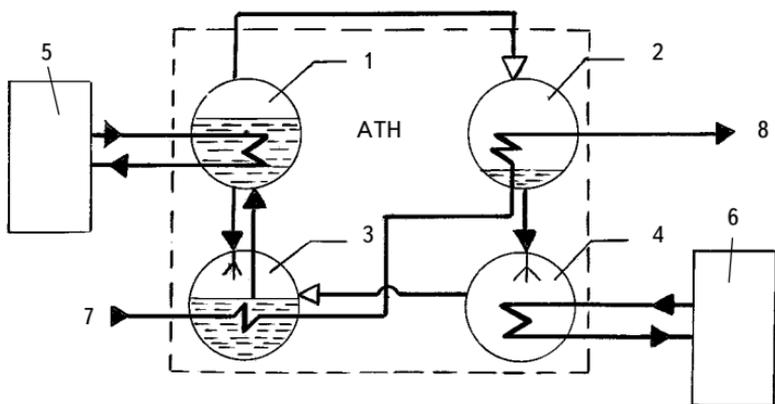


Рис. 4.17. Принципиальная схема использования тепла ВЭР с тепловым насосом:

1 - генератор; 2 - конденсатор; 3 - абсорбер; 4 - испаритель; 5 - источник ВЭР среднего потенциала; 6 - источник ВЭР низкого потенциала; 7 - нагреваемая вода; 8 - нагретая вода к потребителю.

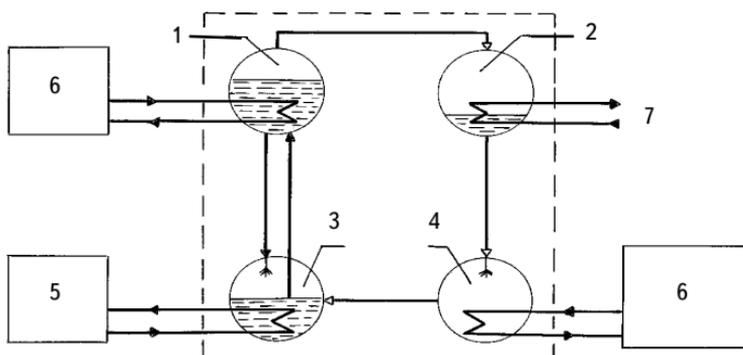


Рис. 4.18. Принципиальная схема использования тепла ВЭР с повышающим теплотрансформатором:

1 - генератор; 2 - конденсатор; 3 - абсорбер; 4 - испаритель; 5 - тепловой потребитель; 6 - источники ВЭР; 7 - охлаждающая вода.

В АОТ НПФ "Техэнергохимпром" совместно с ИТФ СО РАН (г. Новосибирск), ОКБ ИТФ АН УССР (г. Киев), ЛТИХП (г. Санкт-Петербург), СКБ "Энергохиммаш" (г. Новосибирск) велись многолетние работы по созданию абсорбционных бромисто-литиевых термотрансформаторов двух первых типов - холодильная машина и тепловой насос [22, 26, 49 - 51, 54].

Такие машины были разработаны, смонтированы и испытаны на Стерлитамакском ПО "Сода" в 1975 - 1980 гг.

Успешные испытания послужили основой для разработки целого ряда абсорбционных холодильных машин и тепловых насосов. Испытывались абсорбционные бромисто-литиевые холодильные машины с водяным охлаждением АБХМ-Ор-1,0 мощностью (холодопроизводительностью) 1 МВт, с воздушным охлаждением АБХМ-В-0,75 мощностью 0,75 МВт. Первая конструкция после доработки испытывалась и в режиме теплового насоса.

Технические характеристики АБХМ-Ор-1,0:

Холодопроизводительность, МВт	
при обогреве генератора паром 0,15 МПа	0,93
при обогреве генератора горячей водой 90 °С	0,58
Температура охлаждаемой воды, °С	
на входе в испаритель	22
на выходе из испарителя	18
Температура охлаждающей воды, °С	26
Масса машины с бромидом лития, т	17,2
Габариты машины (длина × ширина × высота), м	6,0×1,5×3,0
Расход охлажденной воды, м ³ /ч	250
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	300
Расход пара, т/ч	2,3
Тепловой коэффициент	0,63

Испытания данной машины в режиме теплового насоса позволили выйти на величину теплового коэффициента равную 1,4 - 1,5.

На Стерлитамакском ПО "Сода" прорабатывалась комплексная ресурсо- и энергосберегающая схема содового производства. Ее основные элементы: получение горячей воды за счет ВЭР, использование части ее в абсорбционной холодильной машине для выработки захлажденной воды (+10 - +15 °С), и использования ее для охлаждения карбонизационной колонны. Это должно привести к экономии топлива, воды, сырья и увеличению производительности производства в летний период года.

Последнее объясняется следующим.

Ряд химических производств потребляют значительное количество охлаждающей воды для отвода избыточного тепла экзотермических реакций. Для этого используют системы обратного водоснабжения и речную воду. В летнее время температура охлаждающей воды на 5 - 15°С превышает регламентные значения. Это приводит к ухудшению теплообмена, снижает отвод избыточного тепла от химических аппаратов, затрудняя или замедляя ведение химического процесса и, соответственно, снижая производительность оборудования, мощность производства в целом, вызывает перерасход сырья и энергоресурсов.

По данным обследований, проведенных сотрудниками АООТ НПФ "Техэнергохимпром", это наблюдается в производстве кальцинированной соды, аммиака, метанола, уксусной кислоты, ацетальдегида, шенита и др. [2, 26]. Причем недовыработка продукции по этой причине достигает 3 - 5% от годовой выработки. Применение искусственного охлаждения

оборотной воды с помощью компрессионных холодильных машин неэкономично из-за больших затрат на электрическую энергию.

Применение абсорбционных холодильных машин, работающих на дешевом сбросном тепле, решает одновременно задачи утилизации сбросного тепла, производства дешевого холода, повышения мощности производства и, в конечном счете, повышения рентабельности производства.

Испытания в Стерлитамаке системы "АБХА - карбоколонна содового производства" полностью подтвердили эти выводы [20].

4.9. Использование сбросного тепла для выработки электроэнергии

Самой привлекательной с инженерно-технической точки зрения является технология преобразования тепловых выбросов предприятий в один из наиболее ценных и универсальных источников энергии - электрическую энергию. Работы в этом направлении велись в США, Японии, Англии, СССР. Первые исследования и эксперименты показали эффективность выработки электроэнергии на низкопотенциальном тепле ВЭР в энергетических установках с низкокипящими рабочими телами и прежде всего фреонами - 11, 12 и 21 [2, 19]. Работы последних лет указывают на усиление внимания к другим рабочим телам, в частности, аммиаку и пропану. Первая опытно-промышленная установка в СССР была разработана ИТФ СО АН СССР (г. Новосибирск) совместно с ВНИИХолодмашем (г. Москва) и в 1967 г. запущена в эксплуатацию на Паратунской геотермальной станции (Ка мчатка) [2, 19].

Работа этой установки подтвердила перспективность направления и позволила отработать конструкцию фреоновой турбины, вспомогательное оборудование, режимы пуска, остановки, набора и сброса нагрузки в условиях параллельной работы с Камчатской энергосистемой.

Принципиальная схема такой установки представлена на рис. 4.19.

Тепло от источника ВЭР (горячая вода) поступает в последовательно соединенные пароперегреватель 4, испаритель 5 и подогреватель 6. Противопотоком в подогреватель, испаритель и пароперегреватель подается низкокипящий энергоноситель - фреон.

Образовавшийся перегретый пар фреона поступает в турбину 2, на валу которой находится электрический генератор 1 и циркуляционный насос 3. Отработанный в турбине пар фреона конденсируется в конденсаторе 8 охлаждающей водой, собирается в ресивере 7, откуда насосом 3 выдается вновь в цикл. Эта схема построена по циклу Ренкина. Для достижения более высокого к.п.д. необходимо использовать более сложные энергетические циклы, в частности, с промежуточным перегревом пара.

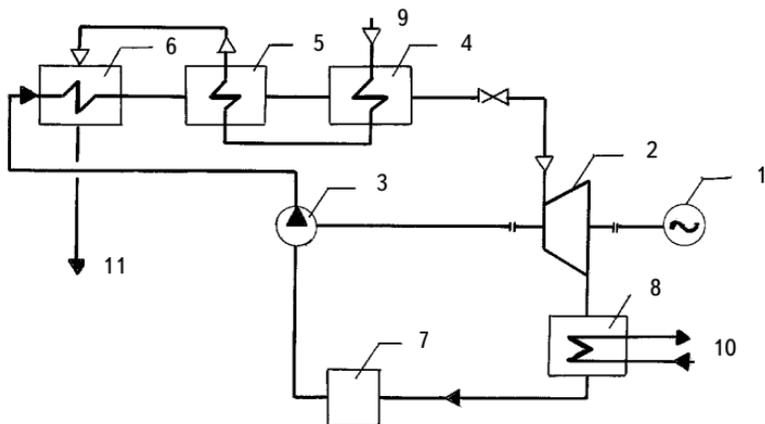


Рис. 4.19. Принципиальная схема использования сбросного тепла для выработки электроэнергии:

1 - электрогенератор; 2 - турбина; 3 - циркуляционный насос; 4 - перегреватель; 5 - испаритель; 6 - подогреватель; 7 - ресивер; 8 - конденсатор; 9 - источник ВЭР; 10 - охлаждающая вода; 11 - отработанный источник ВЭР.

Технические характеристики Паратунской энергетической установки, работавшей на горячей термальной воде:

Мощность турбины, кВт	684
К.п.д. турбоагрегата, %	82,0
Число оборотов турбины, об/мин	3000
Температура термальной воды на входе в установку, °С	80
Рабочее тело установки	Фреон 12
Давление пара фреона, МПа:	
на входе в турбину	1,4
на выходе из турбины	0,5
Температура пара фреона, °С:	
на входе в турбину	70
в конденсаторе	15

4.10. Аккумулирование сбросного тепла

При практической реализации установок по утилизации сбросного тепла очень часто приходится сталкиваться с проблемой временного несоответствия между производимой энергией и ее потреблением. Наиболее характерные примеры - это суточные колебания нагрузок в системах горячего водоснабжения (пики в утренние и вечерние часы, спад в ночное время) и сезонные колебания нагрузок в системах отопления (зима, весна, лето, осень). Как правило же утилизационные установки, привязанные к постоянно действующим технологическим

процессам, вырабатывают постоянное количество энергии. Без специальных инженерных решений эффективность работы такой утилизационной установки на потребителя с переменной нагрузкой резко уменьшается. Одним из таких инженерных решений является аккумулирование энергии [27]. Существуют различные методы аккумулирования энергии: электрохимические, гидравлические, пневматические, термохимические, механические, сорбционные, тепловые. В мировой и отечественной практике наиболее проработаны и испытаны три наиболее простых метода аккумулирования тепловой энергии: тепловой, пневматический, термомеханический.

Одна из простейших принципиальных схем аккумулирования сбросного тепла представлена на рис. 4.20. Тепловой аккумулятор здесь представлен теплоизолированной емкостью большого объема с неподвижной твердой насадкой.

Тепло от источника ВЭР через утилизационный рекуперативный теплообменник 1 подогревает циркуляционную воду. Подогретая вода подается в аккумулятор 2, где отдает свое тепло неподвижной твердой насадке (керамические, металлические шары) и возвращается обратно в утилизационное устройство 1. Там она вновь подогревается за счет ВЭР, возвращается в аккумулятор, охлаждается и цикл повторяется. Происходит постепенное накопление объема тепла в неподвижной насадке. В пиковый период включается регенеративный теплообменник 3, имеющий большую мощность чем утилизационный теплообменник 1. С помощью второго контура воды происходит передача тепла от аккумулятора к потребителю на более высоком объемном уровне. По истечению пикового периода регенеративный теплообменник отключается, а аккумулятор продолжает накапливать энергию до следующего включения нагрузки потребителя. Простейшим примером реализации такой схемы является полый теплоизолированный бак, заполняемый в течение длительного времени суток горячей водой от утилизационной установки, которая в утренние и вечерние часы интенсивно расходует в системах горячего водоснабжения.

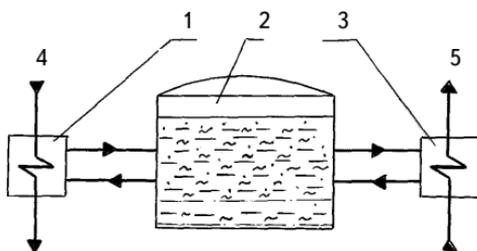


Рис. 4.20. Принципиальная схема использования тепла ВЭР с аккумулятором тепла:

1 - рекуперативный теплообменник; 2 - тепловой аккумулятор; 3 - регенеративный теплообменник; 4 - источник ВЭР; 5 - нагреваемая вода.

Примером более длительного сезонного аккумулирования тепловой энергии является схема, представленная на рис. 4.21.

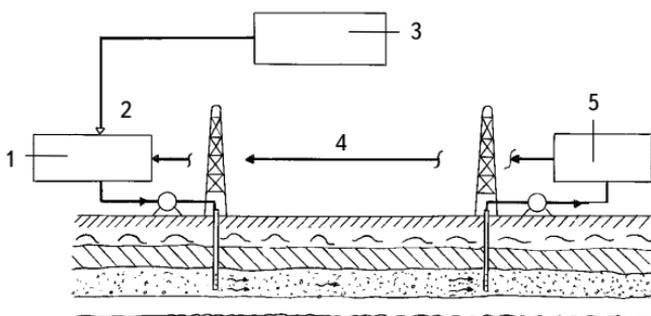


Рис. 4.21. Принципиальная схема аккумулирования сбросного тепла в водопроницаемых подземных горизонтах:

1 - утилизационная установка; 2 - ВЭР; 3 - предприятие; 4 - циркуляционная вода; 5 - потребитель тепла.

Основное условие реализации такой схемы - это наличие в данной местности изолированного водопроницаемого или водоносного подземного слоя. В зоне утилизационной установки и потребителя тепла бурятся два вида скважин (заряжающие и разряжающие) до ближайшего изолированного между двумя ограничивающими пластами водопроницаемого слоя (например, глиняными). Глубина таких скважин может колебаться от нескольких метров до нескольких десятков метров в зависимости от геологического устройства местности. Расстояние между заряжающей и разряжающей скважинами определяется из временного периода между закачкой и извлечением тепла и скоростью фильтрации воды в водопроницаемом слое. Последняя колеблется в зависимости от региона от нескольких десятков сантиметров в сутки до нескольких метров в сутки. Так, если тепло закачивается в слой в июле, а извлекать его необходимо в декабре, т.е. через пять месяцев, то при скорости фильтрации воды 5 м/сутки расстояние между скважинами должно составлять около 750 м. Исследования и эксперименты в этой области дали вполне приемлемые для практики потери тепла при таком аккумулировании и достаточную рентабельность.

4.11. Технология и установка получения неэтилированных бензинов из углеводородных отходов производства

Серьезное влияние на тепловой баланс окружающей среды оказывают предприятия и установки, добывающие и перерабатывающие углеводородное сырье (нефть, газ).

Ситуация по России характеризуется следующими цифрами: 30 - 40% добываемого углеводородного сырья теряется и в том или ином виде сбрасывается в окружающую среду. Большая часть этих потерь приходится на постоянно горящие факела. Для сравнения: в мировой практике процент полезного использования добытого углеводородного сырья составляет 85 - 95.

Совместными усилиями Института катализа СО РАН (г. Новосибирск), АООТ НПФ "Техэнергохимпром" и Научно-инженерного центра "ВНИПИГазпереработка" (г. Нижневартовск) была разработана технология и установка для использования отходов углеводородных производств с целью получения неэтилированного бензина марки АИ-76-95. Технология получила название "Цеоформинг" [39, 40].

Новая технология "Цеоформинг" применяется для переработки газовых конденсатов, низкооктановых углеводородных фракций нефти (прямогонные бензины), компрессатов, попутных нефтяных газов и другого углеводородного сырья, вскипающего до 180 °С с содержанием серы до 1,5%.

Основой новой технологии является процесс, сущность которого составляет каталитическая конверсия низкооктановых углеводородов в высокооктановые на цеолитосодержащих катализаторах. Технология не требует применения водорода. Получаемый бензин марки АИ-76, АИ-95 годен к употреблению без дополнительного компаудирования и введения токсичных добавок (тетраэтилсвинца, метанола и др.).

Специально созданный эффективный цеолитный катализатор типа ИК-30 на основе экологически чистой системы не содержит благородных и тяжелых металлов, обеспечивает автономность действия и надежность установки в эксплуатации.

В 1992 г. на Нижневартовском газоперерабатывающем заводе была смонтирована и введена в работу первая в мире опытно-промышленная установка процесса "Цеоформинг" мощностью 5 тыс. т/год по сырью, работающая эффективно по настоящее время.

Принципиальная схема этой установки представлена на рис. 4.22.

Исходное низкооктановое сырье насосами подается через испаритель и перегреватель, где перегревается дымовыми газами, в реактор. В реакторе на цеолитосодержащем катализаторе происходит каталитическая конверсия превращения сырья в высокооктановый катализат. После реактора катализат проходит через систему рекуператоров, сепаратор и поступает в ректификационную колонну. В колонном узле происходит разделение катализата на товарный высокооктановый бензин (продукт), тяжелый остаток (мазуты) и газы сепарации.

После 200 - 300 часов работы реактор переводится в режим регенерации. Регенерация проводится обратным током смесью инертного газа и воздуха. Продолжительность регенерации 70 - 90 часов, а затем реактор снова включается в рабочий режим. В период регенерации для установления непрерывного режима работы производства включается параллельный реактор.

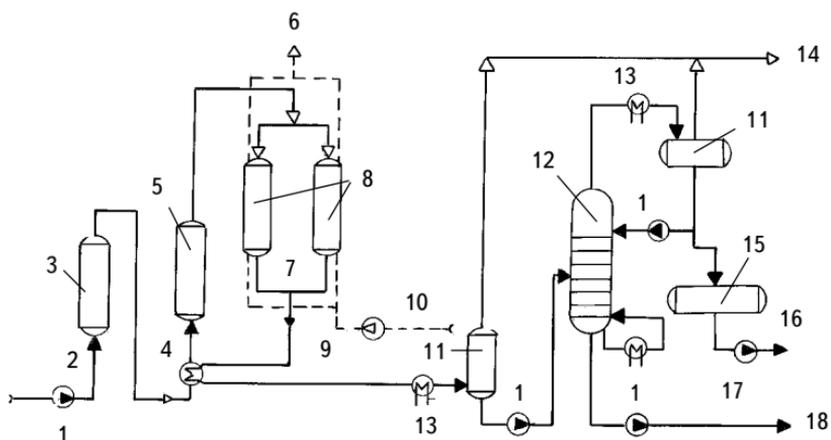


Рис. 4.22. Принципиальная схема блока получения высокооктанового бензина из углеводородных отходов:

1 - насос; 2 - углеводородные отходы; 3 - испаритель; 4 - рекуператор; 5 - перегреватель; 6 - на факел; 7 - катализат; 8 - реакторы; 9 - воздуходувка; 10 - инертный газ на рекуперацию; 11 - сепаратор; 12 - ректификационная колонна; 13 - теплообменник; 14 - газы С₃-С₄ на обогрев; 15 - продуктовая емкость; 16 - на склад; 17 - бензин; 18 - тяжелый остаток (мазут).

Основные технико-экономические показатели процесса "Цеоформинг" на производство 1 т бензина АИ-93.

Расход электроэнергии, кВт/ч	180
Расход азота на регенерацию, нм ³ /т	16
Расход воздуха на регенерацию, нм ³ /т	12
Расход воздуха КИП, нм ³ /т	0,4
Расход катализатора, кг/т	0,35
Общий срок службы катализатора, ч	4500
Выход бензина, %:	
с октановым числом 76	80-85
с октановым числом 95	60-65

В настоящее время АОТ НПФ "Техэнергохимпром" разработаны и находятся в стадии строительства установки "Цеоформинг" производительностью 10 и 15 тыс. т/год.

Глава 5. КОМПЛЕКСНАЯ ЭНЕРГО-, РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ СХЕМА ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

5.1. Производство серной кислоты

При разработке комплексной энергосберегающей схемы производства серной кислоты была использована комбинация принципов: достижения максимального экономического эффекта и максимального термодинамического совершенства [1]. В качестве исходного материала была взята энерготехнологическая схема производства серной кислоты мощностью 450 кт в год контактным методом из комовой серы. Линиями такой производительности, спроектированными польской фирмой "BIPROK WAS", оснащены многие сернокислотные заводы России и государств СНГ, в частности, Воскресенское ПО "Минудобрения" [1, 25].

Первоначально для данной энерготехнологической схемы был выполнен детальный расчет теплового и энергетического балансов, определены потери теплоты и эксергии в каждом технологическом аппарате, определен ряд аппаратов и стадий процесса, обладающих наибольшим термодинамическим несовершенством.

Анализ теплового баланса дал следующие технологические аппараты, обладающие наибольшими тепловыми потерями, МВт:

1. Печь (потери через изоляцию)	0,677
2. Котел-утилизатор (потери через изоляцию)	1,277
3. Экономайзер (потери через изоляцию)	1,428
4. Моногидратный абсорбер 1 (потери через изоляцию)	2,428
5. Моногидратный абсорбер 2:	
потери через изоляцию	1,120
потери с отработанным газом в атмосферу	3,415
6. Холодильник сушильной башни (потери в атмосферу)	3,946
7. Холодильник моногидратного абсорбера 1 (потери в атмосферу)	34,291
8. Холодильник моногидратного абсорбера 2 (потери в атмосферу)	8,392
9. Химические фильтры	1,209
10. Охладитель продувочной воды котла-утилизатора	0,895
В сумме	59,078

Анализ эксергетического баланса дал следующие технологические аппараты, обладающие наибольшими потерями, МВт:

1. Печь:	
потери через изоляцию	0,541
технологические	15,374
2. Котел-утилизатор:	
потери через изоляцию	1,502
технологические	9,014
3. Экономайзер:	
потери через изоляцию	0,671
технологические	1,543
4. Первый слой контактного аппарата	1,115
5. Теплообменник Т3	0,917
6. Теплообменник Т1	1,405
7. Теплообменник Т4 - Т5	2,569
8. Моногидратный абсорбер 1:	
потери через изоляцию	0,934
технологические	9,045
9. Холодильник моногидратного абсорбера	17,314
10. Моногидратный абсорбер 2:	
потери через изоляцию	2,151
технологические	1,615
11. Холодильник моногидратного абсорбера	21,616
12. Редукционно-охладительное устройство (РОУ) собственных нужд	1,133
13. РОУ сторонних потребителей	3,497
14. Смесительный подогреватель воды	0,906
15. Подогреватель химочищенной воды	0,673
В сумме	63,535

Характеристика неиспользуемых ВЭР производства представлена в табл. 5.1 и на рис. 5.1, графическая иллюстрация величин потерь в аппаратах технологической схемы - на рис. 5.2.

Следует также отметить большие мощности бесполезно циркулирующей тепловой энергии в моногидратных абсорберах и сушильной башне, а также вытекающую отсюда громоздкость и металлоемкость этих стадий. Целесообразно рассматривать вопрос об упрощении этих стадий, в частности, о совмещении ряда операций, аппаратов. Эксергетический баланс указывает на существенные потери потенциала в печи, котле-утилизаторе, первом контактном слое, абсорберах, РОУ, ряде теплообменников.

Особо следует остановиться на потоках тепловой энергии, отводимой от холодильников циркулирующих кислот в атмосферу. В холодильниках циркулирующих кислот происходит охлаждение последних от 50 до 45 °С в сушильной башне, от 90 до 65 °С в первом моногидратном абсорбере и от 78 до 65 °С во втором моногидратном абсорбере. Удельный сброс тепла при этом на 1 т выпускаемой кислоты составляет 2,96 ГДж (0,71 Гкал).

Неиспользуемые тепловые ВЭР производства серной кислоты

Узел - источник ВЭР	Среда - носитель ВЭР	Температура, °С		Тепловая мощность источника ВЭР, МВт	Эксергетическая мощность источника ВЭР, МВт
		начальная	конечная		
Отстойник серы	Серный шлам	130	0	0,018	0,004
Печной фильтр	Серный шлам	145	0	0,016	0,005
Холодильник сушильной башни	Циркулирующая кислота	50	45	3,946	0,376
Холодильник моногидратного абсорбера 1	Циркулирующая кислота	90	65	34,291	7,314
Холодильник моногидратного абсорбера 2	Циркулирующая кислота	78	65	8,392	1,615
Моногидратный абсорбер 2	Отработанный газ	70	0	3,415	0,387
Химические фильтры воды	Продувочная вода	35	0	1,209	0,074
Охладитель продувочной воды кот-ла-утилизатора	Продувочная вода	183	0	0,895	0,228
Всего:				52,182	10,003

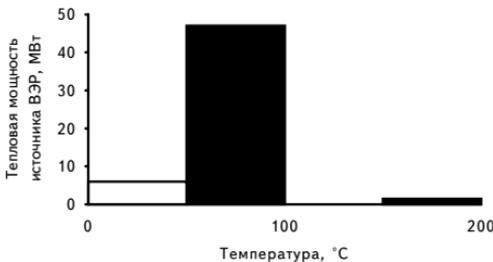


Рис. 5.1. График распределения неиспользуемых тепловых ВЭР сернокислотного производства в зависимости от температурного уровня

Существующие холодильники циркулирующих кислот имеют большую металлоемкость, требуют специальных дорогостоящих нержавеющих сталей. Кроме этого, для охлаждения кислоты требуется значительное количество оборотной воды (60 - 80 м³/т выпускаемой кислоты). Высокие температуры оборотной воды (особенно в теплое время года) отрицательно сказываются на процессе охлаждения и соответственно процессе абсорбции.

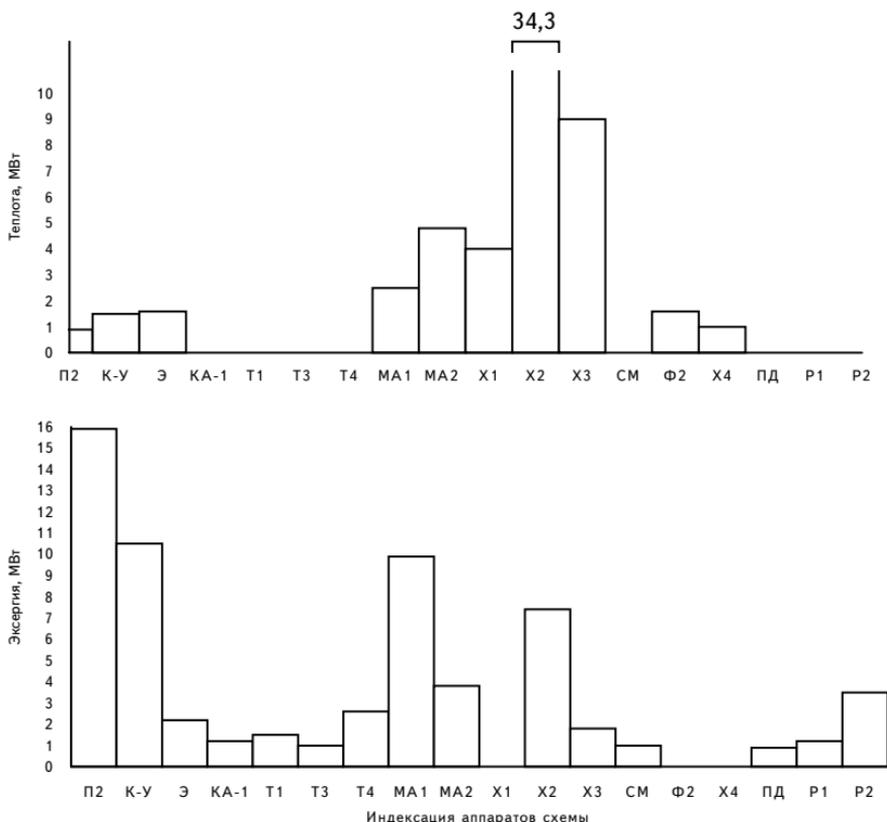


Рис. 5.2. Диаграмма потерь энергии в аппаратах технологической схемы серноокислотного производства

Эксергетический баланс добавил несколько элементов технологической схемы, обладающих довольно высокими абсолютными потерями энергии (моногидратный абсорбер 1, РОУ, печь, котел-утилизатор). Для окончательной оценки целесообразности усовершенствования режима отдельных элементов схемы был применен коэффициент использования эксергии. Результаты расчета такого коэффициента представлены в табл. 5.2 и на рис. 5.3. Коэффициент рассчитывался по следующему выражению:

$$K_E = \frac{E_{\text{ВЫХ}}}{E_{\text{ВХ}}},$$

где $E_{\text{ВЫХ}}$ и $E_{\text{ВХ}}$ - потоки эксергии на выходе и входе аппарата.

Коэффициент использования эксергии в аппаратах схемы

Аппараты и их индексация	Коэффициент использования эксергии
Плавилка серы (П1)	0,9660
Отстойник (Б1)	0,9940
Печной фильтр (Ф1)	0,9238
Печь (П2)	0,8662
Котел-утилизатор (КУ)	0,8036
Экономайзер (Э)	0,8486
Сушильная башня (СБ)	0,9995
Сборник сушильной башни (С1)	0,9999
Холодильник сушильной башни (Х1)	0,9663
Моногидратный абсорбер 1 (МА-1)	0,9945
Сборник абсорбера 1 (С2)	0,9999
Холодильник абсорбера 1 (Х2)	0,8152
Моногидратный абсорбер 2 (МА-2)	0,9979
Сборник абсорбера 2 (С3)	0,9999
Холодильник абсорбера 2 (Х3)	0,8911
РОУ собственных нужд (Р1)	0,7732
РОУ сторонних потребителей (Р2)	0,8263
Смесительный подогреватель воды (СМ)	0,2464
Химические фильтры (Ф2)	0,9976
Охладитель продувочной воды котла-утилизатора (Х4)	0,8127
Подогреватель химочищенной воды (ПД)	0,6360
Охладитель выпара деаэрата (О)	0,9962
Деаэратор (Д)	0,9561
Первый слой контактного аппарата (КА1)	0,9811
Второй слой контактного аппарата (КА2)	0,9980
Третий слой контактного аппарата (КА3)	0,9997
Четвертый слой контактного аппарата (КА4)	0,9832
Пятый слой контактного аппарата (КА5)	0,9958
Теплообменник (Т3)	0,9549
Теплообменник (Т2)	0,9673
Теплообменник (Т1)	0,9107
Подогреватель воздуха (Т4 - Т5)	0,7420

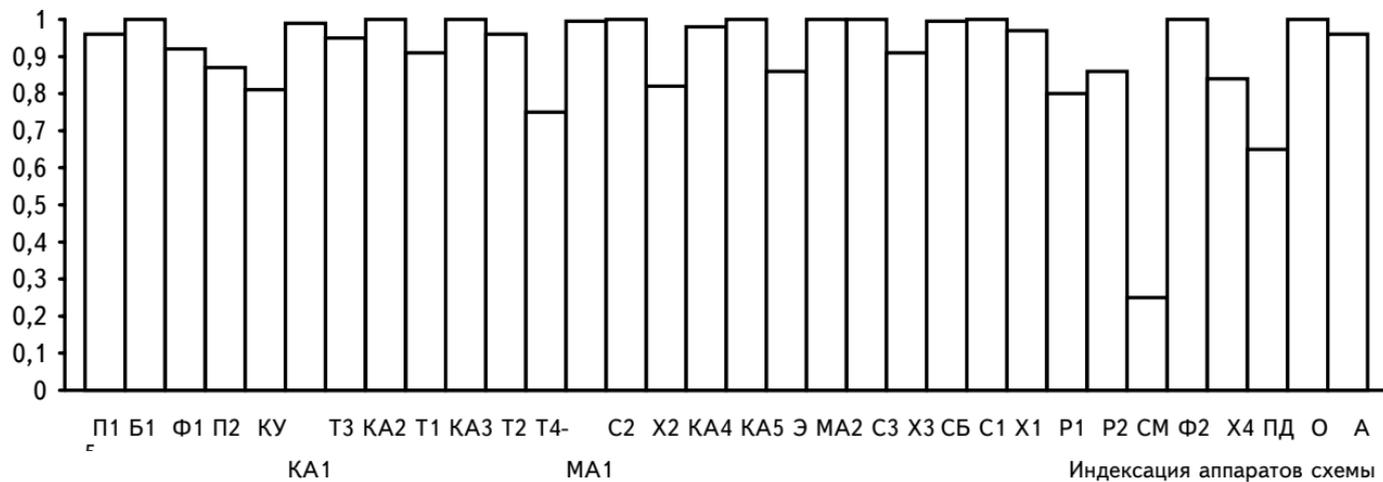


Рис. 5.3. Диаграмма использования эксергии в аппаратах технологической схемы производства серной кислоты

Сопоставление полных теплового и эксергетического балансов, выделение элементов схемы с наибольшими сбросами тепловой энергии в атмосферу, отбор аппаратов с наименьшим коэффициентом использования эксергии позволил составить схему декомпозиции процесса оптимизации энерготехнологической схемы данного производства. Она представлена на рис. 5.4. Оптимизация схемы и блоков строилась на принципе достижения максимального экономического эффекта.

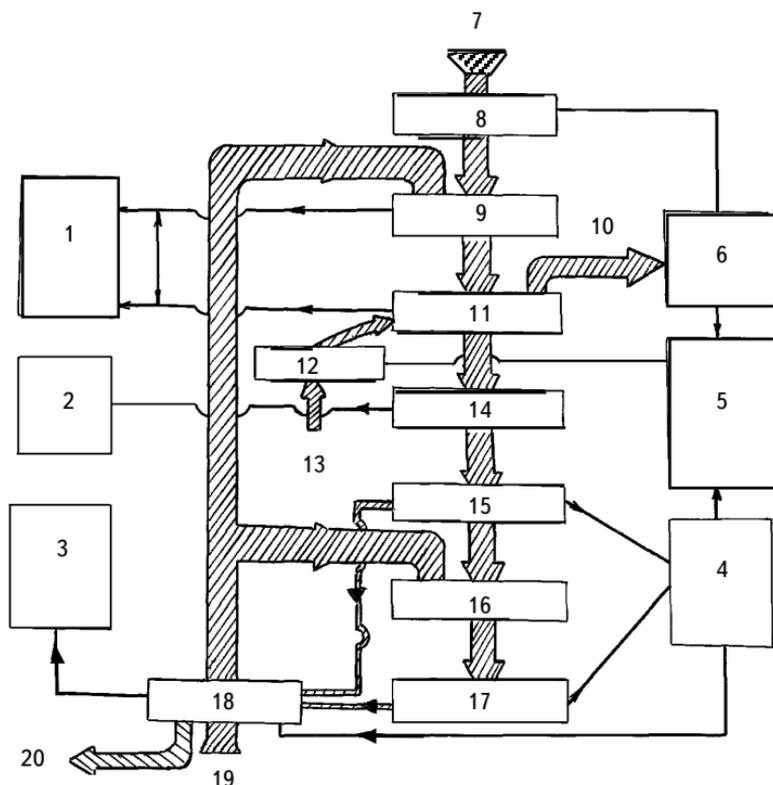


Рис. 5.4. Схема декомпозиции процесса оптимизации энерготехнологической схемы производства серной кислоты контактным методом из природной серы:

1 - блок 1: Совершенствование процессов сжигания серы и утилизации тепла сернистого ангидрида; 2 - блок 2: Совершенствование процессов окисления SO_2 в SO_3 ; 3 - блок 3: Совершенствование процесса осушки воздуха; 4 - блок 4: Охлаждение и утилизация тепла циркулирующих потоков серной кислоты; 5 - блок 5: Совершенствование схемы получения питательной воды котлов-утилизаторов; 6 - блок 6: Совершенствование схемы распределения пара; 7 - сера твердая; 8 - приготовление жидкой серы; 9 - сжигание жидкой серы; 10 - пар; 11 - утилизация тепла SO_2 ; 12 - подготовка питательной воды; 13 - вода; 14 - окисление SO_2 в SO_3 I ступень; 15 - абсорбция I; 16 - окисление SO_2 в SO_3 II ступень; 17 - абсорбция II; 18 - сушка воздуха; 19 - воздух; 20 - серная кислота на склад.

Пояснения к блокам схемы декомпозиции (см. рис. 5.4)

Блок 1: Совершенствование процессов сжигания серы и утилизации тепла сернистого ангидрида. Несовершенство процессов в печи, котле-утилизаторе и экономайзере определяется потерями теплоты через изоляцию и потерей эксергетического потенциала. Потери через изоляцию сравнительно невелики, потери же эксергетического потенциала довольно существенны. Путь термодинамического усовершенствования данных стадий видится в совмещении процессов сжигания серы и утилизации тепла горения, ведении процессов при повышенных температурах, использовании различных конструкций и методов интенсификации процессов массо- и теплообмена (например, псевдооживленный, пенно-барботажный слой).

Блок 2: Совершенствование процессов окисления SO_2 в SO_3 . Несовершенство процесса связано с потерей эксергетического потенциала в межступенчатых теплообменниках контактного аппарата. Путь термодинамического усовершенствования данной стадии видится в изменении схемы распределения теплоносителей.

Блок 3: Совершенствование процесса осушки воздуха. Целесообразно рассмотреть совмещенный процесс осушки воздуха и охлаждения циркулирующих кислот.

Блок 4: Охлаждение и утилизация тепла циркулирующих потоков серной кислоты. Несовершенство процессов охлаждения циркулирующих потоков кислот определяется наиболее значительными в схеме потерями теплоты, а также потерей эксергетического потенциала.

Целесообразно рассмотреть схемы охлаждения и утилизации теплоты циркулирующих потоков кислот сушильной башни и абсорберов с передачей энергии различным потребителям (в системе химводоподготовки, отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и т.д.). В качестве базового аппарата целесообразно использовать теплообменник с промежуточным теплоносителем.

Блок 5: Совершенствование схемы получения питательной воды котлов-утилизаторов. Несовершенство данной стадии связано с большими потерями эксергетического потенциала в подогревателях исходной и химподготовленной воды. Целесообразно рассмотреть термический метод подготовки питательной воды, а также использование в качестве греющего источника теплоты ВЭР, в частности, циркулирующих потоков серной кислоты.

Блок 6: Совершенствование схемы распределения пара. Несовершенство данной стадии связано с большими потерями эксергетического потенциала в РОУ и нерациональным использованием высокого потенциала пара в технологии. Целесообразно рассмотреть схему ступенчатого использования энергии пара.

Рассмотрение схемы декомпозиции показало, что процесс усовершенствования энерготехнологии сернокислотного производства,

оставляя неизменным химизм процесса и все внутренние параметры, может затрагивать только характеристики входных и выходных показателей схемы. Этот вывод позволяет рассматривать оптимизацию схемы отдельно по каждому из шести блоков, стыкуя лишь отдельные пересекающиеся варианты.

Исходя из сопоставления теплоты и эксергии, можно заключить, что наибольший эффект при совершенствовании энерготехнологической схемы производства серной кислоты по данному методу даст использование и вовлечение в полезный цикл вторичных энергетических ресурсов, т.е. оптимизация по блоку 4. Экономически целесообразно ВЭР производства использовать для следующих целей:

- сбросную теплоту циркулирующей кислоты сушильной башни - для нагрева исходной воды водоподготовительной установки;

- сбросную теплоту циркулирующей кислоты моногидратного абсорбера 2 - для нагрева исходной и химочищенной вод водоподготовительной установки, горячего водоснабжения, термического обессоливания;

- сбросную теплоту циркулирующей кислоты моногидратного абсорбера 1 - для нагрева исходной и химочищенной вод водоподготовительной установки, горячего водоснабжения, термического обессоливания воды, отопления.

На основании оптимизационных расчетов была составлена новая комплексная ресурсо- и энергосберегающая схема производства серной кислоты (рис. 5.5), позволяющая существенно уменьшить тепловые выбросы и жидкие стоки.

Технико-экономические характеристики комплексной энергосберегающей схемы сернокислотного производства

Количество утилизируемого тепла, тыс. ГДж/год (ГДж/т кислоты), в том числе:	1169,6 (2,6)
через систему термообессоливания	987,1 (2,19)
через систему отопления	155,4 (0,35)
через систему горячего водоснабжения	27,1 (0,06)
Сокращение расхода оборотной воды, млн м ³ /год (м ³ /т кислоты)	6,23 (13,8)
Сокращение стоков производства, тыс. м ³ /год (м ³ /т кислоты)	146,4 (0,33)
Дополнительные капитальные вложения в утилизационные схемы (в ценах 1984 г.), млн руб.	0,685
Новая себестоимость серной кисл оты, руб/т (исходная - 39,1 руб/т)	36,67
Ожидаемый годовой экономический эффект (в ценах 1984 г.), млн руб/год	1,336
Экономия условного топлива, тыс. т/год	11,97

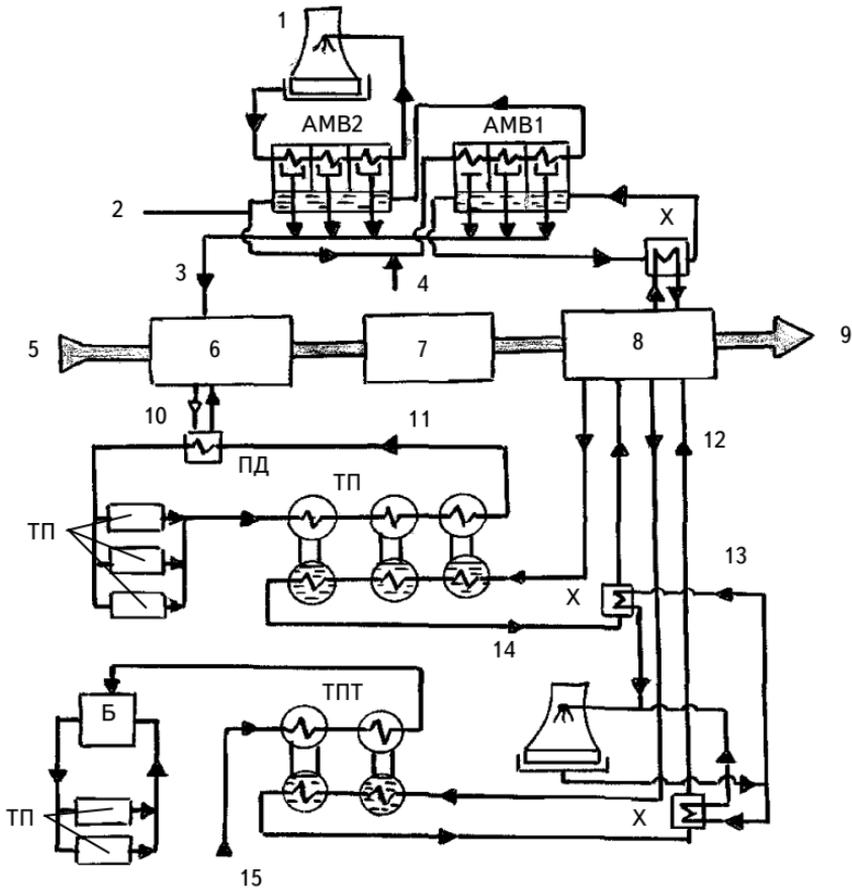


Рис. 5.5. Комплексная схема утилизации тепла неиспользуемых ВЭР производства серной кислоты:

AMB - аппараты мгновенного вскипания; X - холодильник серной кислоты; ПД - пиковый подогреватель; ТПТ - теплообменник с промежуточным теплоносителем; ТП - тепловой потребитель; Б - бойлер; 1 - градирня; 2 - продувка; 3 - дистиллят; 4 - подпитка; 5 - сера; 6 - котельно-леченое отделение; 7 - контактное отделение; 8 - сушильно-абсорбционное отделение; 9 - серная кислота; 10 - пар; 11 - сетевая вода; 12 - циркулирующая серная кислота; 13 - оборотная вода; 14 - горячее водоснабжение; 15 - подпиточная вода.

Основные изменения в схеме заключаются в следующем:

- вместо части существующих холодильников в цикле сушильной башни установлен каскад ТПТ (см. гл. 4.5), в котором происходит передача тепла серной кислоты в систему горячего водоснабжения;
- вместо ионообменной водоподготовки установлен каскад АМВ (см. гл. 4.2), выполняющий роль установки термического обессоливания питательной воды для котлов-утилизаторов. В качестве источника энергии использовано тепло циркулирующих потоков серной кислоты из цикла первого моногидратного абсорбера;

- вместо части существующих холодильников в цикле второго моногидратного абсорбера установлен каскад ТПТ, в котором происходит передача тепла серной кислоты в систему отопления.

Полученные результаты были использованы при разработке планов технического перевооружения сернокислотных производств Воскресенского ПО "Минудобрения" и Череповецкого ПО "Аммофос".

5.2. Производство азотных удобрений

При разработке комплексной энергосберегающей схемы Дорогобужского завода азотных удобрений был использован принцип приоритетов. Приоритетом номер один была определена задача максимального сокращения жидких стоков с предприятия, поскольку рядом протекает Днепр. По этой причине природоохранными организациями был поставлен вопрос о закрытии ряда производств завода. Приоритетом номер два была поставлена задача ликвидации дефицита в системах отопления и горячего водоснабжения предприятия. Далее существующие задачи выстроились в следующем порядке: возврат в полезный цикл пара низкого давления, интенсификация охлаждения технологического оборудования, переход к "избыточной" системе по электроэнергии.

На предприятии были обследованы следующие производства: аммиак-2 мощностью 450 кт/год, слабая азотная кислота мощностью 754 кт/год (два агрегата АК-72), слабая азотная кислота мощностью 360 кт/год один агрегат УКЛ-7-71 и два - УКЛ-7-76), аммиачная селитра мощностью 900 кт/год (два агрегата АС-72), нитроаммофоска мощностью 550 кт/год, нитрофоска мощностью 500 кт/год, серная кислота мощностью 360 кт/год, известь мощностью 90 кт/год, химводоподготовки, водооборотные циклы (ВОЦ), заводская утилизационная ТЭЦ, заводская котельная, а также проектируемый агрегат аммиака-3 мощностью 450 кт/год.

Материалы, характеризующие неиспользуемые ВЭР и объемы сточных производственных вод, представлены на рис. 5.6, 5.7. Разработанная комплексная энергосберегающая схема предприятия представлена на рис. 5.8. Характеристики источников ВЭР, задействованных в схеме, отражены в табл. 5.3.

Конкретные энергосберегающие установки включали следующее оборудование:

установка подогрева исходной воды - каскад последовательно соединенных теплообменников с промежуточным теплоносителем [23];

установки термического обессоливания воды (УТО) и установка упарки стоков (УУС) - каскад последовательно соединенных адиабатных испарителей [38];

установки подогрева воды тепловых сетей - кожухотрубные теплообменники;

установка компрессии пара низкого давления - турбокомпрессор;

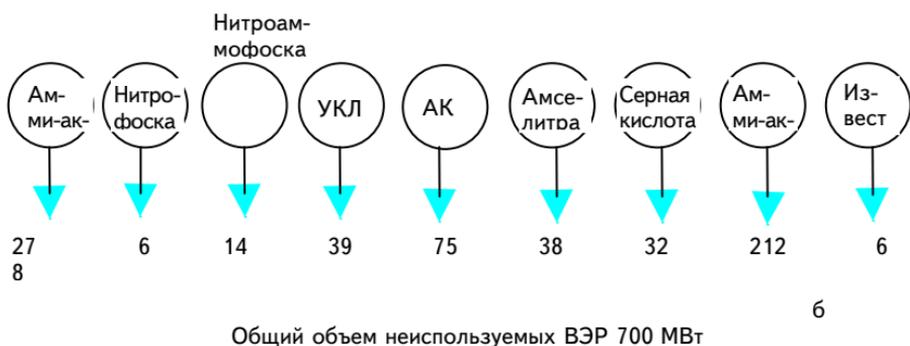
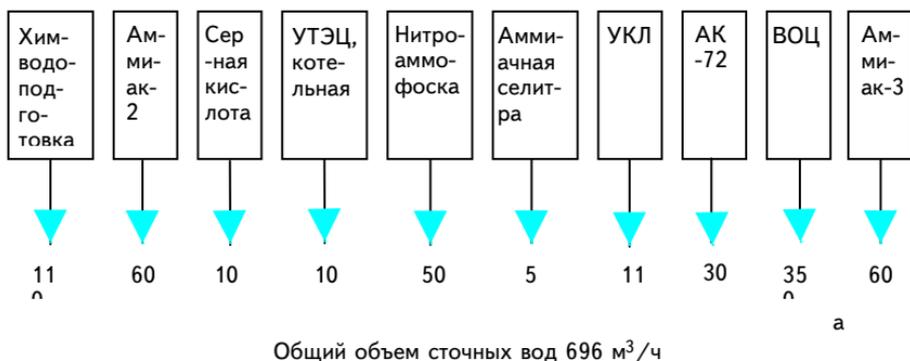


Рис. 5.6. Объем производственных сточных вод (а), м³/ч и неиспользуемых ВЭР (б), МВт по цехам Дорогобужского ЗАУ

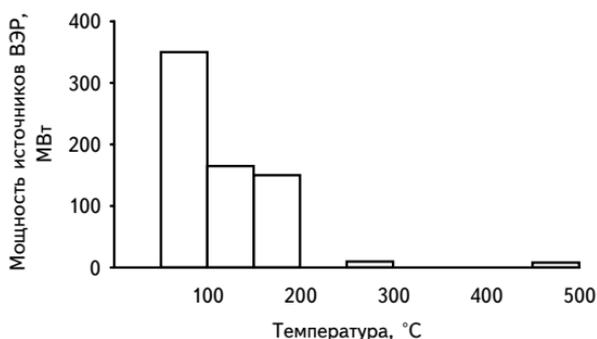


Рис. 5.7. График распределения неиспользуемых источников ВЭР в зависимости от температурного уровня

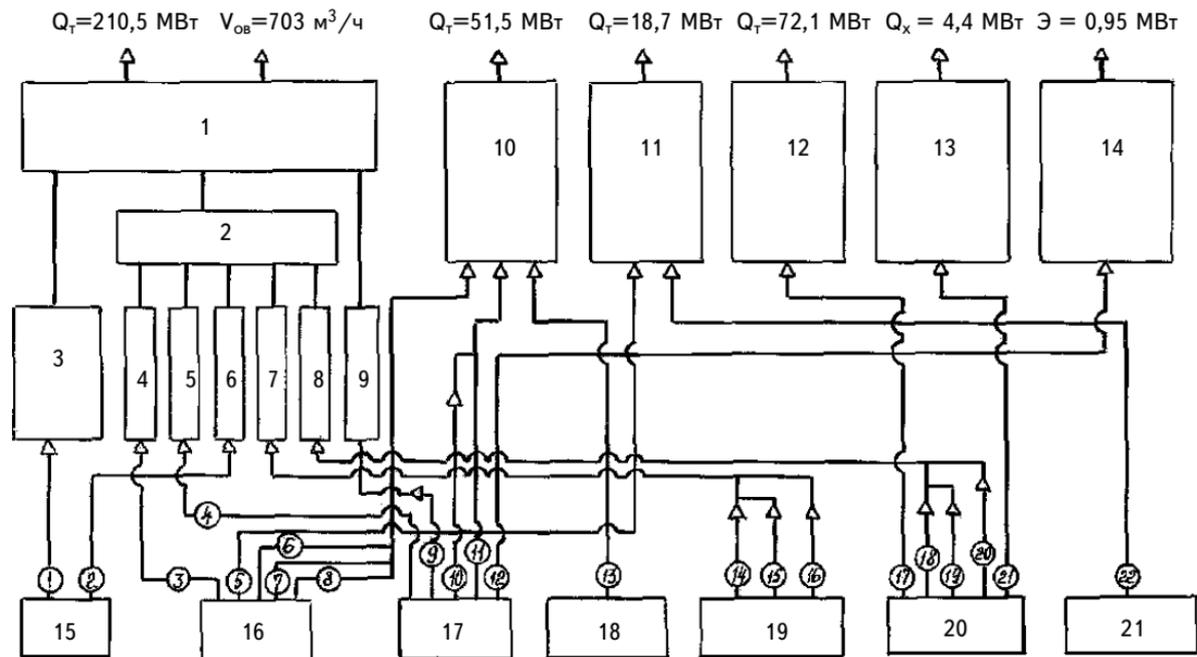


Рис. 5.8. Комплексная схема тепловодоснабжения предприятий с использованием ВЭР:

Q_T - количество использованной теплоты ВЭР; $V_{об}$ - количество выработанной обессоленной воды; Q_x - количество выработанного холода; \mathcal{E} - количество выработанной электроэнергии; 1 - система подготовки воды для технологических целей; 2 - термическое обессоливание; 3 - установка подогрева исходной воды; 4 - УТО-А-2; 5 - УТО-А-3; 6 - УТО-СКЦ; 7 - УТО-УКЛ; 8 - УТО-АК-72; 9 - УУС СПВ; 10 - система отопления; 11 - система горячего водоснабжения; 12 - система компрессии пара низкого давления; 13 - система интенсификации охлаждения абсорбционных колонн; 14 - система выработки электроэнергии; 15 - серная кислота; 16 - аммиак-2; 17 - аммиак-3; 18 - нитроаммофоска; 19 - САК УКЛ; 20 - САК АК-72; 21 - аммиачная селитра.

Характеристика потока сбросного источника тепла (ВЭР)

Номер потока	Наименование потока сбросного источника тепла (ВЭР)	Мощность потока, МВт
1	Циркулирующая серная кислота	12,7
2	Серный газ	10,8
3	Пар выхлопа турбопривода компрессора синтез-газа аммиака-2	38,0
4	Пар выхлопа турбопривода компрессора синтез-газа аммиака-3	50,5
5	Отпарной конденсат	4,7
6	Дымовой газ подогревателя природного газа аммиака-2	1,1
7	Дымовой газ из печи риформинга аммиака-2	7,4
8	Бедный раствор "Карсол"	26,7
9	Пар выхлопа турбопривода компрессора воздуха	37,5
10	Дымовой газ подогревателя природного газа	0,7
11	Дымовой газ из печи риформинга аммиака-3	10,7
12	Азотоводородная смесь в межступенчатых холодильниках	19,4
13	Паровой конденсат	5,0
14	Воздух межступенчатых холодильников	8,6
15	Нитрозный газ холодильников	14,0
16	Отходящие газы	4,7
17	Пар выхлопа после привода ГТТ	64,5
18	Нитрозные газы	9,1
19	Нитрозные газы	9,7
20	Отходящие газы	14,9
21	Жидкий аммиак	4,4
22	Соковый пар ИТН	14,0

установка интенсификации охлаждения абсорбционных колонн производства слабой азотной кислоты - абсорбционные бромистолитиевые холодильные машины [22, 26];

установка выработки электроэнергии - пропановые и фреоновые турбоагрегаты [2, 18].

Разработанная комплексная энергосберегающая схема позволяет утилизировать 8,8 млн ГДж/год теплоты ВЭР, выработать 5,6 млн м³/год обессоленной воды, 7,5 тыс. МВт·ч/год электроэнергии, 125,5 тыс. ГДж/год холода. В результате применения комплексной схемы сократится:

сброс в водоемы солей на 4080 т/год.

потребление речной воды на 910 тыс. м³/год;

потребление реагентов для химводоподготовки на 3330 т/год.

Разработанная энергосберегающая система позволит вовлечь в полезный цикл 43% неиспользуемых ВЭР, сократить мощность химводоподготовок - один из основных источников жидких стоков - на 70%.

При суммарных капитальных вложениях в 12 млн руб. ожидаемый экономический эффект составит 4,7 млн руб/год (в ценах 1984 г.).

Данная разработка принята предприятием в качестве основы при формировании плана технического перевооружения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленном материале сделана попытка обобщения теоретических, методических и практических сведений о тепловом загрязнении окружающей среды промышленными предприятиями химического профиля. Представлен широкий спектр конкретных исследований и разработок, позволяющий эффективно решать проблемы теплового загрязнения как от конкретной локальной установки, так и от крупного промышленного предприятия (на примере Дорогобужского завода азотных удобрений).

Как уже указывалось, решая проблему с тепловым загрязнителем, одновременно можно решить ряд проблем по энерго-, водо- и ресурсосбережению. Последние имеют четкие экономические критерии, и до тех пор, пока не будет введена специальная плата за тепловое загрязнение, необходимо пользоваться ими и ориентироваться на них.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малахов В.М. Повышение энергетической эффективности химико-технологических систем путем использования тепла низкопотенциальных ВЭР: Автореф. дис... канд. техн. наук. - М., 1988. - 20 с.
2. Проблемы эффективного использования вторичных энергоресурсов: Сб. науч. ст. / Ин-т теплофизики СО АН СССР; Под ред. В.Н. Москвичевой. - Новосибирск, 1976. - 195 с.
3. Виноградов Ю.В., Малахов В.М. Структура неиспользуемых ВЭР химических предприятий: Сб. науч. ст. / Ин-т теплофизики СО АН СССР; Под редакцией С.С. Кутателадзе. - Новосибирск, 1986. - С. 19-28.
4. Сушон С.П., Завалко А.Г., Минц М.И. Вторичные энергетические ресурсы промышленности СССР. - М.: Энергия, 1978. - 320 с.
5. Мартыновский В.С. Термодинамические характеристики циклов тепловых и холодильных машин. - М.; Л.: Госэнергоиздат, 1952. - 116 с.
6. Мартыновский В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов / Под ред. В.М. Бродянского. - М.: Энергия, 1979. - 288 с.
7. Гохштейн Д.П. Энтропийный метод расчета энергетических потерь. - М.; Л.: Госэнергоиздат, 1951.
8. Гохштейн Д.П. Современные методы термодинамического анализа энергетических установок. - М.: Энергия, 1969. - 368 с.
9. Бродянский В.М., Лейтес И.П., Карпова Ю.Г. Теоретические основы химической технологии. - М.: 1971. - Т. V, N 6. - С. 858 - 862.
10. Шаргут Я., Петела Р. Эксергия. - М.: Энергия, 1968. - 279 с.
11. Эльснер Н., Фратцшер В. Вопросы термодинамического анализа. - М.: Мир, 1965. - 122 с.
12. Денбиг А. Вопросы термодинамического анализа. - М.: Мир, 1965. - 150 с.
13. Химия и технология топлив и масел / В.В. Кафаров, В.Л. Перов, О.А. Иванова и др. - М., 1977. - N 9. - С. 7 - 11.
14. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. - М., 1973. - 296 с.
15. Андриющенко А.И. Термодинамические расчеты оптимальных параметров тепловых электростанций. - М.: Высш. шк., 1963.
16. Трайбус М., Эванс Р. Термозкономическое проектирование при условии переменной структуры стоимости // Эксергетический метод и его приложения / Под ред. В.М. Бродянского. - М.: Мир, 1967. - С. 202 - 232.
17. Linnhoff В. Использование новых концепций в термодинамике для лучшего проектирования химических процессов. - Proc. R. Soc. Lond, 1983. - P. 1 - 33.
18. Кафаров В.В., Перов В.Л., Бобров Д.А. Теплоэнергетические принципы создания оптимальных химико-технологических систем химических производств // Итоги науки и техники. Сер. Процессы и аппараты химической технологии. - М.: ВИНТИ, 1983. - С. 3 - 103.

19. Использование фреонов в энергетических установках: Сб. тр. / Ин-т теплофизики СО АН СССР; Под ред. В.Н. Москвичевой. - Новосибирск. - 1973. - 227 с.

20. Энергосбережение в химических производствах: Сб. науч. тр. / Ин-т теплофизики СО АН СССР; Под ред. С.С. Кутателадзе, Б.И. Псахиса. - Новосибирск, 1986. - 134 с.

21. Хараз Д.И., Псахис Б.И. Пути использования вторичных энергоресурсов в химических производствах. - М.: Химия, 1984. - 224 с.

22. Псахис Б.И. Методы экономии сбросного тепла. - Новосибирск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1984. - 160 с.

23. Использование вторичных энергетических ресурсов производства серной кислоты / Ю.В. Виноградов, В.М. Малахов, В.Н. Комиссаренко и др. // Пром. энергетика. - 1983. - N 2. - С. 4 - 6.

24. А.с. N 1095968 СССР, МКИ 01 Д 53/18. Установка для получения серной кислоты контактным методом из серы / Ю.В. Виноградов, В.Н. Комиссаренко, В.М. Малахов. N 3514401/23-26; Заявл. 26.11.82; Опубл. 07.06.84.

25. Малахов В.М., Сенич Н.В. Эксергетический анализ производства серной кислоты контактным методом из комовой серы мощностью 450 кт/год: Сб. науч. ст. / Ин-т теплофизики СО АН СССР; Под редакцией С.С. Кутателадзе. - Новосибирск, 1986. - С. 29 - 39.

26. Проблемы использования вторичных энергоресурсов химических предприятий для получения холода, тепла и электроэнергии: Тез. докл. - Л.: Технол. ин-т холод. пром., 1979. - С. 27 - 29.

27. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии. - М.: Мир, 1987. - 272 с.

28. Утилизация низкопотенциальных тепловых вторичных энергоресурсов на химических предприятиях / В.Г. Григоров, В.К. Нейман, С.Д. Чураков и др. - М.: Химия, 1987. - 240 с.

29. А.с. N 842024 СССР, МКИ С01 F 11/24. Способ получения раствора хлорида кальция / В.К. Шитов, Б.И. Псахис, А.В. Попов, В.М. Малахов и др.; N 2669491/23-26; Заявл. 03.10.78; Опубл. 30.06.81.

30. Пат. N 960128 РФ, МКИ С02 F 1/20. Способ переработки надсмольных вод / Б.И. Псахис, А.В. Попов, В.Г. Леонтьевский, В.М. Малахов и др.; N 3246972/23-26; Заявл. 13.02.81; Опубл. 23.09.82.

31. А.с. N 996837 СССР, МКИ F27 Д 17/00. Установка с рециркуляцией дымовых газов / В.М. Малахов, А.В. Попов, В.Г. Горшков и др.; N 3262680/29-33; Заявл. 18.03.81; Опубл. 15.02.83.

32. А.с. N 1021912 СССР, МКИ F28 Д 15/00. Установка для охлаждения агрессивных сред / А.И. Богданов, Ю.В. Виноградов, В.Г. Горшков, В.М. Малахов и др.; N 3414895; Заявл. 31.03.82; Опубл. 07.06.83.

33. Пат. N 1043458 РФ; МКИ F23 Д 17/00. Способ использования тепла отходящих газов / А.И. Богданов, Ю.В. Виноградов, В.Г. Горшков, В.М. Малахов и др.; N 3447633/29-33; Заявл. 28.05.82; Опубл. 23.09.83.

34. А.с. N 1044948 СССР, МКИ F28 Д 15/00. Установка для охлаждения агрессивных сред / Ю.В. Виноградов, В.Н. Комиссаренко, В.М. Малахов; N 3458268/24-06; Заявл. 21.06.82; Опубл. 30.09.83.

35. А.с. N 1198312 СССР, МКИ F22 Д 1/44. Система подготовки добавочной воды / Ю.В. Виноградов, В.Н. Комиссаренко, В.М. Малахов, Б.И. Псахис; N 3625724/24-06; Заявл. 22.07.83; Опубл. 15.12.85.

36. А.с. N 1435923 СССР, МКИ F27 Д 17/00. Способ использования тепла отходящих газов / Ю.В. Виноградов, Л.В. Козлова, В.М. Малахов; N 4255320/29-33; Заявл. 06.04.87; Опубл. 07.11.88.

37. А.с. N 1502943 СССР, МКИ F27 Д 17/00. Способ использования тепла отходящих газов / Ю.В. Виноградов, В.М. Малахов, В.В. Молчанов; N 4346346/23-33; Заявл. 21.12.87; Опубл. 23.08.89.

38. Энерготехнологические процессы и аппараты химических производств: Сб. науч. ст. / Ин-т теплофизики СО АН СССР; Под ред. А.П. Бурдукова. - Новосибирск, 1989. - 135 с.
39. Пат. N 1806171 РФ, МКИ C10 G 35/04. Установка каталитического получения бензина из углеводородного сырья / В.Г. Леонтьевский, В.Г. Степанов, К.И. Ионе, В.М. Малахов и др.; N 4843337/04; Заявл. 21.05.90; Опубл. 30.03.93.
40. Пат. N 2053013 РФ, МКИ B01 J 8/06, C10 G 35/04. Установка каталитического получения высокооктанового бензина / А.И. Богданов, К.Г. Ионе, В.М. Малахов и др.; N 5037875/04; Заявл. 16.04.92; Опубл. 27.01.96.
41. Слесаренко В.Н. Дистилляционные опреснительные установки. - М.: Энергия, 1980. - 248 с.
42. Таубман Е.И., Бильдер З.П. Термическое обезвреживание минерализованных промышленных сточных вод. - Л.: Химия, 1975. - 208 с.
43. Соснин Ю.Л. Контактные водонагреватели. - М.: Стройиздат, 1974. - 359 с.
44. Современные проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов / И.А. Башмаков, А.А. Бесчинский, А.Г. Вигдорчик и др. // Итоги науки и техники. Сер. Экономия топлива, тепловой и электрической энергии. - М.: ВИНТИ, 1989. - Т. 1. - 252 с.
45. Симонов В.Ф. Повышение эффективности энергоиспользования в нефтехимических производствах. - М.: Химия, 1985. - 240 с.
46. Bhaga D. Утилизация тепла на заводах до производству серной кислоты. - Sulphur, 1980. - N 147. - С. 32 - 43.
47. Ключников А.Д. Энергетика теплотехнологии и вопросы энергосбережения. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 128 с.
48. Лейтес И.Л., Сосна М.Х., Семенов В.П. Теория и практика химической энерготехнологии. - М.: Химия, 1988. - 280 с.
49. Розенфельд Л.М., Карнаух М.С. Абсорбционная бромисто-литиевая холодильная машина в качестве трансформатора тепла // Холод. техника. - 1966. - N 7. - С. 11 - 14.
50. Розенфельд Л.М., Карнаух М.С. Низкотемпературные термотрансформаторы // Вест. АН СССР. - 1967. - N 5. - С. 56 - 58.
51. Выработка тепла и холода в абсорбционных холодильных машинах на основе сбросного тепла: Сб. науч. ст. / А.П. Бурдуков, В.Г. Горшков, Э.Р. Гроссман и др. / Ин-т теплофизики СО АН СССР; Под. ред. В.Н. Москвичевой. - Новосибирск, 1986. - С. 69 - 94.
52. Богатых С.А. Циклонно-пенные аппараты. - Л.: Машиностроение, 1978. - 325 с.
53. Экология химических производств: Тез. докл. - Северодонецк: Госнииметанопроект, 1990. - С. 178 - 179.
54. А.с. N 918728 СССР, МКИ F25 B 29/00, F25 B 15/06. Абсорбционная бромисто-литиевая холодильная установка / А.И. Богданов, В.Г. Гершков, А.В. Попов, Б.И. Псахис и др.; N 2967054/23-06; Заявл. 01.08.80; Опубл. 07.04.82.
55. А.с. N 1205922 СССР, МКИ B01 D 1/04. Выпарная установка / Б.И. Псахис, А.В. Попов, В.М. Малахов и др.; N 2942890/23-26; Заявл. 16.06.80; Опубл. 23.01.80.
56. Энергетические аспекты защиты окружающей среды от теплового и химического загрязнения / С.С. Кутателадзе, В.Н. Москвичева, Б.И. Псахис и др. - Новосибирск: Ин-т теплофизики СО АН СССР, 1978. - 40 с.
57. Schaefer H. Тепловое загрязнение окружающей среды // Bull. Schweir. elektrotechn. Verz. - 1973. - Bd 64, N 26.
58. Энергетические ресурсы и перспективы мира // Cosp. paliw. i energ. - 1976. - Vol. 24, N 12.
59. Нормы некоторых стран на сбрасываемую в водоемы охлаждающую воду // TNO NIEWS. - 1972. - Hague 27, N 1.
60. Влияние термального загрязнения вод на водные организмы // Fish und Umwelt. - 1976. - N 2.

61. Основы биопродуктивности внутренних водоемов Прибалтики: Сб. науч. ст. - Вильнюс. - 1975. - 180 с.
62. Langford T.E. Экология и охлаждающая воды электростанций // 9th World Energy Conf., Detroit. - 1974. - Trans. Vol. 3. - S. 1, S 0.
63. Техногенные факторы изменения окружающей среды и современные задачи охраны природы: Сб. науч. ст. - М.: Изд-во МГУ, 1975. - 120 с.
64. Образование и распространение вторичных загрязнений воздуха / W.H. White, J.A. Anderson, D.L. Blumenthal. - Science. - 1976. - Vol. 194, N 4261.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Малахов Виктор Михайлович - к.т.н., генеральный директор
АООТ НПФ "Техэнергохимпром",
ООО "Химмашэкология".
- Сенич Владимир Николаевич - зав. отделом
АООТ НПФ "Техэнергохимпром".

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА ТЕПЛОВЫХ ВЫБРОСОВ НА ОСНОВЕ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ЗАКОНОВ ТЕРМОДИНАМИКИ	6
Глава 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ БАЛАНСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ	14
2.1. Сбор исходных данных	14
2.2. Анализ и обработка собранного материала	15
2.3. Выбор принципа формирования энергосберегающей схемы	15
ГЛАВА 3. ДИНАМИКА ТЕПЛОВЫХ ВЫБРОСОВ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ	17
ГЛАВА 4. ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И УМЕНЬШЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	21
4.1. Утилизация тепла загрязненных жидкостей	21
4.2. Термическое обессоливание природной и сточных вод	26
4.3. Установка использования тепла загрязненного сокового (мятого) пара	28
4.4. Установка утилизации тепла расплавов и огненно-жидких шлаков	29
4.5. Утилизация тепла агрессивных жидкостей	30
4.6. Установка использования тепла загрязненных горячих газов	35
4.7. Установка использования тепла вытяжного воздуха вентиляционных систем	36
4.8. Установки и способы утилизации сбросного тепла с использованием тепловых трансформаторов	38
4.9. Использование сбросного тепла для выработки электроэнергии	43
4.10. Аккумулирование сбросного тепла	44
4.11. Технология и установка получения неэтилированных бензинов из углеводородных отходов производств	46
Глава 5. КОМПЛЕКСНАЯ ЭНЕРГО-, РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ СХЕМА ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА	49
5.1. Производство серной кислоты	49
5.2. Производство азотных удобрений	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	63
ЛИТЕРАТУРА	64
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	67

Малахов Виктор Михайлович
Сенич Владимир Николаевич

ТЕПЛОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

Аналитический обзор

Компьютерная верстка выполнена Т.А. Калужной.

Подписано в печать 3.06.97. Формат 60x84/16.

Бумага писчая. Ротапринт. Усл. печ. л. 4,2.

Уч.-изд. л. 5,5. Тираж 400 экз. Заказ N 181.

Цена договорная

ГПНТБ СО РАН. Новосибирск, ул. Восход, 15, комн. 407.

Типография СО РАН. Новосибирск, пр. К. Маркса, 2.