

Российская академия наук. Сибирское отделение  
Государственная публичная научно-техническая библиотека

**Серия "Экология"**

Издается с 1989 г.

**Выпуск 54**

**Б.Д. Жуков**

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ.  
УСТРОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИИ  
ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ОЧИСТКИ  
БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

Аналитический обзор

Новосибирск, 1999

ББК Н761.210.4

**Жуков Б.Д.** Экологическое домостроение. Устройства и технологии децентрализованной очистки бытовых сточных вод: Аналит. обзор / СО РАН. ГПНТБ. - Новосибирск, 1999. - 113 с. - (Сер. Экология. Вып. 54).

Систематизированы материалы по известным устройствам и технологиям децентрализованной очистки бытовых сточных вод от потребителей с небольшим расходом воды (индивидуальные жилые дома, бытовые объекты, группы домов). Приведены основные характеристики устройств и систем современных технологий децентрализованной очистки бытовых стоков, в т. ч.: песчаных, гравийных, почвенно-растительных фильтров, биореакторов, сооружений гидробиотанической очистки и др. Приведены также принципиальные экологические, санитарно-гигиенические, организационные и экономические оценки очистки стоков в условиях жилого дома и рассмотрены характеристики основных процессов, протекающих в устройствах систем децентрализованной водоочистки.

Рассмотрены известные подходы к выбору и разработке устройств и технологий децентрализованной водоочистки, в т. ч. с использованием средств автоматизации. Проанализированы основные подходы к утилизации компонентов сточных вод в условиях жилого дома.

Обзор рассчитан на специалистов, занимающихся проектированием и строительством небольших сооружений децентрализованной очистки бытовых сточных вод, и лиц, интересующихся этой проблемой.

Ответственный редактор Л.И. Мальцев

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

© Государственная публичная  
научно-техническая библиотека  
Сибирского отделения  
Российской академии наук  
(ГПНТБ СО РАН), 1999

*Увеличение проблем, связанных с качеством нашей питьевой воды и стоимостью очистки и сброса сточных вод, указывают, что традиционные водоснабжение и практика очистки и сброса сточных вод нуждаются в изменении: мы должны найти новые бережные способы работы с водой, элементом жизни.*

*Margrit Kennedy. The Urban Environment in Europe. - Berlin: Reamer, 1997.*

## ВВЕДЕНИЕ

Для застройщиков в России издано много литературы по архитектуре, строительству и ремонту индивидуального жилья. Предлагается множество архитектурных и технических решений. Но до сих пор недостаточно литературы по системам жизнеобеспечения и особенно по системам децентрализованной водоочистки.

Эти системы часто рассматриваются как некоторая стандартная конструкция без достаточной привязки к конкретным условиям окружающей среды: климату, составу почв, грунтов, воды, потребляемой в доме и грунтовой и т. д. Такой поверхностный подход обычно оборачивается бумерангом. Реализовать заданное качество очистки воды по месту использования очистных сооружений не удается. В результате резко ухудшается окружающая среда и, как следствие проживания в загрязненной среде, возрастает уровень кишечных, инфекционных, раковых и других заболеваний.

Между тем, недостаток новых конструкций для систем децентрализованной водоочистки нет. Проблема в отсутствии принципиальных общетеоретических основ водоочистки на установках малой мощности. Это затрудняет экологические и финансовые обоснования технологических решений, которые увязывали бы качество очистки и утилизации сточных вод с финансовыми возможностями застройщиков и социальными проблемами.

В итоге, сегодня трудности конструкторских разработок при всей важности их решения отступают на второй план. На первый план выходят проблемы создания достаточно дешевых, рациональных, надежных и экологически обоснованных технологий, учитывающих специфику условий окружающей среды на месте будущего строительства объекта - потребителя воды.

Потоки сточных вод объемом больше 2 - 3 м<sup>3</sup>/сут полностью очищать и утилизировать в пределах жилой усадьбы не всегда целесообразно. Часто речь идет о частичной подработке и частичном использовании стоков. Прошедшие неполную очистку стоки обычно направляют за пределы участка для естественной доочистки (например, в близлежащие низины или во-

доемы общего пользования) либо присоединяют к стоку систем централизованной канализации. В этом случае финансовые и экологические оценки крайне затруднены. Возможно, альтернативой может служить ограничение водопотребления до объемов, позволяющих утилизировать и частично инфильтровать сточную воду непосредственно на месте потребления.

В представленном обзоре сделана попытка проанализировать имеющийся в мировой практике опыт организации децентрализованной очистки и утилизации бытовых сточных вод и помочь читателю использовать этот опыт при выборе принципиальной схемы очистных сооружений для своего дома, группы домов, небольшого бытового предприятия.

## Глава 1. НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДООЧИСТКИ В УСЛОВИЯХ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА

В настоящее время проблемы децентрализации водоочистки в жилом доме широко обсуждаются в литературе [1 - 6]. Децентрализация очистки и утилизации бытовых сточных вод позволяет снять многие экологические, финансовые, социальные и другие проблемы, связанные со строительством и эксплуатацией жилого дома, особенно в тех местностях, где отсутствуют сооружения централизованной водоочистки.

За счет децентрализации водоочистки и утилизации воды и полезных компонентов удастся получить значительный экономический эффект. Это делает выгодной обработку стоков на месте. Вместе с тем, к качеству очистки воды предъявляются повышенные санитарно-экологические требования. Поэтому не всегда просто увязать сумму финансовых затрат на строительство и эксплуатацию очистных сооружений с расходами на экологические мероприятия.

Нередко противники децентрализованной очистки бытовых сточных вод рассматривают проблему односторонне, игнорируя возможности утилизации воды и полезных компонентов непосредственно на приусадебном участке [7].

Между тем, именно утилизация воды и полезных компонентов из нее нередко позволяет решить многие экологические и финансовые проблемы водоочистки. Благодаря тому, что удастся совместить в единой технологии очистку, обеззараживание, утилизацию полезных компонентов из стоков можно отойти от стандартных негибких подходов к водоочистке и применять новые принципы водоочистки. Однако возможности утилизации сточной воды на месте, как правило, ограничены.

Согласно данным, приведенным в работе [6], утилизировать без инфильтрации очищенной воды в почву в пределах индивидуальной небольшой усадьбы с числом жителей около 5 человек можно около  $1 \text{ м}^3$  стоков в сутки.

Потоки больших объемов по грубым оценкам до  $3 \text{ м}^3/\text{сут}$ , по данным ЦНИИЭП инженерного оборудования [4], удастся инфильтровать в грунт с помощью фильтрующих кассет площадью от 5 до  $18 \text{ м}^2$  в зависимости от фильтрующей способности грунта при уровне грунтовых вод не ближе 1 м к поверхности.

## 1.1. Экологический, санитарный, гигиенический аспекты

Известно, что любые загрязнения первоначально воздействуют на локальном уровне, но в сумме оказывают влияния регионального и даже глобального масштаба. Здесь и в дальнейшем рассматриваются экологические аспекты водоочистки на локальном уровне.

Экологический и санитарно-гигиенический аспекты водоочистки в условиях индивидуального жилого дома определяются главным образом качеством очищенных вод и технологией их утилизации.

Возможны два варианта утилизации стоков. В первом варианте частично очищенные стоки выводят за пределы участка для естественной доочистки, во втором - частично или полностью очищенные сточные воды утилизируют в пределах участка индивидуального дома.

При осуществлении первого варианта ослабляются санитарно-гигиенические требования для потребителей воды, но возникают санитарно-гигиенические и экологические проблемы в тех местах, куда сточные воды сбрасываются на доочистку. Окружающей среде может быть нанесен существенный ущерб, если способность к самоочищению участка - приемника стоков, окажется недостаточной.

При реализации второго варианта к вышеупомянутым проблемам добавляются проблемы "ограниченного пространства". В этом случае очистка и утилизация выделенных из стоков полезных компонентов осуществляются в ограниченном пространстве. Избыточная вода инфильтруется в почву и в грунт. При любом технологическом сбое или неправильно выбранной технологии могут быть созданы условия не только для концентрирования токсичных загрязнений до опасного уровня, но даже для образования новых токсикантов, которые раньше не встречались в природе. Вероятность этого явления особенно велика при почвенной инфильтрации воды и застойных или слабо протекающих грунтовых водах. Она, например, может быть связана со способностью почвенных частиц концентрировать в результате адсорбции различные (органические и неорганические) вещества. Последние могут поглощаться растениями и вступать в цепи питания (трофические цепи) с участием животных и человека, вызывая у них серьезные нарушения здоровья.

Следует заметить, что проблема загрязнения грунтовых вод при инфильтрации сточных вод в литературе [7, 8] поднимается довольно часто. Тем не менее, она остается открытой. В частности, очень мало известно о возможности загрязнения грунтовых вод патогенными бактериями. Авторы работы [7] указывают, что биологические аспекты результатов смешивания грунтовых и сточных вод в литературе практически не обсуждаются. Сегодня ясно, что нельзя фильтровать в землю неочищенные воды даже из септика. Последствия такой инфильтрации, как отмечается в работе [8], могут оказаться крайне тяжелыми, так как грунтовые воды являются не только приемником сточных вод, но и источником питьевых вод. Особенно серьезными последствиями может сопровождаться инфильтрация воды через близко расположенные септики. Между тем, в литературе нет четких рекомендаций по качеству очищенной сточной воды, предназначенной для инфильтрации.

Концентрации загрязнений в сточной воде зависят от степени благоустройства объекта - водопотребителя и, в конечном итоге, определяются нормами водопотребления. Чем выше норма водопотребления, тем менее концентрированы сточные воды.

Все загрязнения в сточных водах можно разбить на две группы:

- химические вещества;
- биологические загрязнения.

### 1.1.1. Химические вещества - загрязнители

Вещества-загрязнители присутствуют в сточных водах в растворенном виде и в составе различных нерастворимых в воде частиц. Основные формы нахождения этих веществ и их происхождение показаны в табл. 1.1.

Из табл. 1.1 видно, что валовой состав сточных вод представлен минеральными и органическими веществами - загрязнителями сточной воды. Считается, например, [9], что органические вещества составляют 58, а минеральные - 42 % от общей массы примесей.

На основании приведенных в работе [9] данных состав органических веществ бытовых стоков можно представить с помощью табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1.1

Основные формы нахождения загрязнителей бытовых сточных вод и их происхождение

| Происхождение         | Органические вещества  |  |  | Небиоразлагаемые                              | Минеральные вещества   |
|-----------------------|--|--|--|---|--|
|                       | Биоразлагаемые   |  |  |   |  |
|                       | Растворенные   | Взвешенные   | Плавающие  |   |  |
| Поступают на очистку  | Углеводы, белки, органические кислоты, ионогенные СПАВ             | Мицеллы белков, СПАВ, органических веществ, клетчатка, растительные и животные ткани | Пены, жиры (масла), легкие фракции растительных и животных тканей          | Неионогенные СПАВ, лигнин, гуминовые вещества | $\text{NO}_3^-$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{K}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{Cl}^-$ и другие неорганические компоненты           |
| Вторичные загрязнения | Вещества, образующие микроорганизмами и экстрагируемые из фильтров | Отмершие дрожжи, микроорганизмы, отработавшая биопленка, активный ил                 | Экстрагируемые из фильтров гуматы, фульваты и другие органические вещества |   | Вещества, образующие микроорганизмами и экстрагируемые из фильтров ( $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ и др.) |

Состав органических веществ бытовых стоков, %

| Часть стока         | Белки | Углеводы | Жирные кислоты | Жиры, (масла) | Детергенты |
|---------------------|-------|----------|----------------|---------------|------------|
| Сток в целом        | 27,9  | 17,5     | 9,2            | (27,2)        | 6,6        |
| Жидкость            | 28,7  | 7,7      | 7,8            | -             | 13         |
| Взвешенное вещество | 61    | -        | -              | 31            | -          |

Значительная доля химических веществ - загрязнений присутствует в сточных водах в виде взвешенных в воде веществ. Во взвешенном состоянии находятся многие минеральные загрязнители: песок, глина, шлаки и органические вещества растительного и животного происхождения (остатки растений, плодов, злаков, овощей, бумага и т. д.). Большинство минеральных солей и часть органических веществ растворены в воде. Среди взвешенных веществ по данным работы [9] грубодисперсные вещества от общей массы загрязнений в среднем составляют 35,4%, коллоиды - 14,3, растворенные вещества - 50,3 %.

При разработке технологии локальной водоочистки обязательно опираются на информацию о валовом составе перспективных к потреблению в быту поверхностных или артезианских вод и на регламентированные нормативами СНиП [12] количества загрязнений в бытовой сточной воде из расчета на одного жителя. Основные из этих показателей приведены в табл. 1.3 и 1.4.

Для сравнения в табл. 1.3 приводятся экологические нормативы качества поверхностных (для пресноводных водоемов) [10] и питьевых вод (ГОСТ 2874 - 82 для питьевой воды).

Состав артезианских вод существенно зависит от характера породы, в окружении которой находится водный источник, поэтому их составы уточняют химическим анализом в каждом конкретном случае. Несколько проще обстоит ситуация с пресными поверхностными водами рек, озер. Массы этих вод, как правило, значительны, а состав стабилен. Это позволяет классифицировать поверхностные воды по различным критериям. Авторы работы [10] приводят экологически обоснованную классификацию типов вод в водохранилищах, выделяя шесть классов качества воды, представленных в табл. 1.3, в том числе:

1 класс. Вода очень чистая, олиготрофного типа, после минимальной подготовки ее можно использовать для питьевого водоснабжения. В остальных случаях она пригодна к использованию без предварительной подготовки.

2 класс. Чистая вода, мезотрофного типа. Требуется достаточно сложной подготовки для питьевого водоснабжения. В остальных случаях может быть использована без предварительной подготовки.

Т а б л и ц а 1.3

Нормативы качества поверхностных вод с экологических позиций

| Показатель                               | Класс качества воды |         |         |         |         |         |         |
|--|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|  | Питьевая            | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       |
| рН                                       |                     | 6,5-8   | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 | 6,5-8,5 | 6-9     | 6-9     |
| Растворимый O <sub>2</sub> , мг/л        |                     | > 8     | 6       | 5       | -       | 2       | < 2     |
| Насыщенный O <sub>2</sub> , %            |                     | > 90    | 75      | 60      | 40      | 20      | < 20    |
| Сумма растворенных веществ, мг/л         |                     | < 300   | 500     | 800     | 1000    | 1200    | < 1200  |
| Мутность, мг/л                           | < 1,5               | < 20    | 30      | 50      | 100     | 200     | > 200   |
| Жесткость, мг-экв/л                      | < 7                 | < 15    | 20      | 30      | 40      | 50      | > 50    |
| Хлориды, мг/л                            | < 350               | < 50    | 150     | 200     | 300     | 500     | > 500   |
| Сульфаты, мг/л                           | < 500               | < 50    | 150     | 200     | 300     | 400     | > 400   |
| Железо, общ., мг/л                       | < 0,3               | < 0,5   | 1       | 1       | 5       | 10      | > 10    |
| Марганец, общ., мг/л                     | < 0,1               | < 0,05  | 0,1     | 0,3     | 0,8     | 1,5     | > 1,5   |
| Аммоний, мг/л                            | < 0,5               | < 0,1   | 0,2     | 0,5     | 2,0     | 5,0     | > 5,0   |
| Нитриты, мг/л                            |                     | < 0,002 | 0,005   | 0,02    | 0,05    | 0,1     | > 0,1   |
| Нитраты, мг/л                            | < 10                | < 1     | 3       | 5       | 10      | 20      | > 20    |
| Фосфаты, мг/л                            | -                   | < 0,025 | 0,2     | 0,5     | 1,0     | 2,0     | > 2,0   |
| Фосфор, общ., мг/л                       |                     | < 0,05  | 0,4     | 1,0     | 2,0     | 3,0     | > 3     |
| ХПК (БО мг O/л)                          |                     | < 15    | 25      | 50      | 70      | 100     | > 100   |
| ХПК (ПО - мг O/л)                        |                     | < 5     | 10      | 20      | 30      | 40      | > 40    |
| БПК (мг - O/л)                           |                     | < 2     | 4       | 8       | 15      | 25      | > 25    |
| Углерод, органич., мг/л                  |                     | < 3     | 5       | 8       | 12      | 20      | > 20    |
| Азот, органич., мг/л                     |                     | < 0,5   | 1,0     | 2,0     | 5,0     | 10      | > 10    |
| Детергенты анионо-активные, мг/л         |                     | -       | < 0,5   | 1,0     | 2,0     | 3,0     | > 3,0   |
| Фенолы летучие, мг/л                     |                     | < 0,002 | 0,01    | 0,05    | 0,1     | 1,0     | > 1     |
| Колититр, мл                             | > 300               | 1       | 0,1     | 0,01    | 0,001   | < 0,001 | < 0,001 |
| Общая численность микроорганизмов в 1 мл | < 100               | < 5-10  | < 10    | < 3-10  | < 5-10  | < 10    | > 10    |

3 класс. Незначительно загрязненная вода, слабоавтотрофного типа. Для питья и производственных целей можно использовать после сложной подготовки. В некоторых случаях (подземное орошение, охлаждение) можно применять без подготовки.

Т а б л и ц а 1.4

Нормативы загрязнений, сбрасываемых с бытовыми водами, по данным [12]

| Показатель                               | Количество загрязняющих веществ на одного жителя, г/сут в районах |                  |
|--|---|------------------|
|  | канализованных  | неканализованных |
| Взвешенные вещества                      | 65  | 22               |
| БПК (полн.)*:                            |   |                  |
| неосветленной жидкости                   | 75  | 25               |
| осветленной жидкости                     | 40  | 13               |
| Азот аммонийный                          | 8   | 2,7              |
| Фосфаты (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 3,3   | 1,1              |
| в том числе от моющих веществ            | 1,6   | 5,3              |
| Хлориды (Cl)                             | 9   | 3                |
| Поверхностно-активные вещества (ПАВ)     | 2,5   | 0,8              |

\*При расчете сооружений биологической очистки величину БПК (полн.) для бытовых сточных вод рекомендуется принимать равной БПК<sub>20</sub>.

4 класс. Сильно загрязненная вода эвтрофного типа. Даже после подготовки непригодна для питьевого водоснабжения, рыбозаведения или целей рекреации. Для использования в производстве требует сложной подготовки.

5 класс. Сильно загрязненная вода политрофного типа. Может быть лишь условно использована для орошения и охлаждения. Для других целей непригодна.

6 класс. Очень сильно загрязненная вода гипертрофного типа. Практически непригодна для использования.

Концентрацию загрязняющих веществ в сточных водах, согласно СНиП, следует определять, исходя из удельного водоотведения на каждого жителя с учетом приведенных в табл. 1.4 количеств загрязняющих воду веществ.

В соответствии с рекомендациями СНиП 2.04.03-85, степень очистки сточных вод определяется в зависимости от местных условий и с учетом возможного использования очищенных сточных вод, поверхностного стока

и обезвоженных осадков сточных вод для сельскохозяйственных нужд и других целей.

Степень очистки стоков, сбрасываемых в водные объекты, должна отвечать требованиям "Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами", утвержденных соответствующими министерствами и ведомствами.

### 1.1.2. Канцерогенные и токсичные вещества

Спектр действительно токсичных для человека и окружающей среды веществ в перерабатываемой воде достаточно широк. Но концентрации этих веществ в бытовых сточных водах, как правило, малы и не выходят за пределы распространенных в природе концентраций в поверхностных водах 2 - 3 иногда 4 классов качества. Поэтому, как правило, не возникает проблем, если очищенные воды выводятся за пределы участка потребителя воды. Другое дело, если утилизация очищенной воды выполняется в пределах этого же участка. В таком случае может сработать фактор "ограниченного пространства", не зависящий от концентрации токсиканта. Обычными для бытовых сточных вод токсичными загрязнителями являются фосфаты, азотсодержащие вещества и моющие средства, которым нередко сопутствуют фенолы и ряд других компонентов, приведенных в табл. 1.3. Эти вещества присутствуют в сточных водах в переменных количествах. В связи с этим информация в литературе об их содержании носит ориентировочный характер. Например, по мылам и фенолам, ссылаясь на данные Красноярского ВНИИ ВОДГЕО, авторы работы [9] приводят следующие показатели для бытовых вод: по фенолам до 0,5 и мылам - до 82 мг/мл.

Особое место среди токсикантов сточных вод занимает хлор. С одной стороны, его широко используют для обеззараживания питьевых вод, и он обычно находится в потребляемых чистых водах. С другой стороны, хлор является ядом для растений и животных. Он способен замешать в метаболических процессах отдельные естественные компоненты, тормозя эти процессы. Поэтому содержание хлора в сточных водах строго регламентируется.

### 1.1.3. Биологические загрязнения

К биологическим загрязнениям относят различные микроорганизмы, бактерии, дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и т. д. В сточные воды поступают ежедневно вместе с выделениями из организма человека, домашних животных, смывов с тела, одежды и других бытовых предметов триллионы микроорганизмов.

Санитарно-бактериологическую оценку качества бытовых сточных вод выполняют с учетом трех основных показателей, в том числе:

- микробного числа;
- числа бактерий группы Coli;
- наличия яиц гельминтов.

Особенно серьезные проблемы могут создать *патогенные микроорганизмы сточных вод*, в том числе возбудители брюшного тифа, дизентерии,

сибирской язвы и многих других заболеваний. Эти организмы способны в течение долгого времени выживать в сточной воде и активном иле.

M. Strauss [11] отмечает, что принятое в классических технологиях время обработки сточной воды 24 ч недостаточно для естественного отмирания большей части микрофлоры. Это подтверждают данные, приведенные в табл. 1.5.

Т а б л и ц а 1.5

Среднее время выживания патогенной микрофлоры во влажном фекальном иле и сточной воде при температуре окружающей среды, дней [11]

| Организм       | Умеренный климат (10 - 15°C) |                 | Тропический климат (20 - 30°C) |                 |
|----------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
|                | Влажный ил                   | Сточная вода    | Влажный ил                     | Сточная вода    |
| Вирусы         | < 100                        | > 50            | < 20                           | < 50            |
| Бактерии:      |                              |                 |                                |                 |
| сальмонеллы    | < 100                        | < 150           | < 30                           | < 30            |
| холеры         | < 30                         | < 30            | < 5                            | < 5             |
| фекалий        | < 150                        | < 120           | < 50                           | < 30            |
| Простейшие     | < 30                         | > 50            | < 15                           | < 15            |
| Гельминты:     |                              |                 |                                |                 |
| Яйца аскарид   | 2-3 года                     | (накапл. в иле) | 10-12 месяцев                  | (накапл. в иле) |
| Яйца ленточных | 12 месяцев                   | (накапл. в иле) | 6 месяцев                      | (накапл. в иле) |

Среди факторов, влияющих на выживание патогенной микрофлоры, выделяют: *температуру, уменьшение влажности и ультрафиолетовое излучение*. Скорость отмирания микрофлоры увеличивается пропорционально интенсивности этих факторов.

Численность микроорганизмов зависит также от концентрации в воде химических веществ, обладающих бактерицидным действием. Бактерицидные свойства имеет, например, аммиак ( $\text{NH}_3$ ). Поэтому при повышенных pH (больше 8,5 - 9), благодаря увеличению соотношения  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  отмирание микрофлоры усиливается [11].

В районах холодного климата часто создается специфичная эпидемиологическая обстановка, связанная:

- с пониженной интенсивностью процессов самоочищения в почвах и водоемах;
- консервирующим по отношению к бактериальным загрязнениям действием холода.

Холодный климат способствует интенсивной микробной обсемененности поверхностных источников водоснабжения и почвы. Однажды внесенная в почву инфекция сохраняется в ней длительное время. Авторы работы

[9] показали, что за 5 суток скорость отмирания кишечной палочки, выраженная в процентах среднечасовой убыли, при температуре 22°C составляет 0,76 - 0,83, а при 6°C она равна примерно 0,3. На Севере в почве кишечная и туберкулезная палочки выживают около года, микробы тифозно-паратифозной группы - от 3 до 400 дней [9].

#### 1.1.4. Основные правила безопасной работы с бытовыми сточными водами

В литературе и рекомендациях СНиП [12] достаточно хорошо сформулированы основные правила безопасной работы с бытовыми сточными водами. Отправным пунктом этих правил может, по-видимому, явиться приведенное в работе [2] указание, согласно которому *безопасны только те очистные сооружения, которые обрабатывают исходно чистые воды*. С этим указанием тесно переплетается требование СНиП [12], регламентирующее создание санитарно-защитной зоны от очистных сооружений до границ жилой застройки. Размеры зоны определяются видом и производительностью очистных сооружений (табл. 1.6).

К важнейшим рекомендациям безопасной работы со сточными водами можно отнести следующие:

- Избегать прямого контакта или непосредственного использования неочищенных сточных вод.
- Избегать заражения воздушно-капельным путем и не разбрызгивать сточные воды.
- Не применять воздушное орошение растений сточными водами любой степени очистки. Можно использовать только подземное орошение.
- Не орошать сточными водами землю вблизи питьевого колодца.
- Регламентировать выбор моющих средств и других химикатов, применяемых в быту. Это необходимо для того, чтобы сохранить биоту очистных сооружений и не снизить эффективность физико-химической обработки.
- Во избежание вторичного загрязнения не следует хранить сточные воды длительное время.

## 1.2. Экономический аспект

Европейские эксперты [13] прогнозируют устойчивое возрастание цен на воду и особенно на сточную воду. По некоторым оценкам в ближайшие

Т а б л и ц а 1.6

Санитарно-защитные зоны вблизи очистных сооружений малой производительности [12]

| Очистные сооружения | Производительность, м <sup>3</sup> /сут | Ширина защитной зоны, м |
|---------------------|---|-------------------------|
| Септики             | -                                       | 5                       |
| Фильтрующие колодцы | Не более 1                              | 8                       |
| Фильтрующие траншеи | -                                       | 25                      |

|                           |             |     |
|---------------------------|-------------|-----|
| Песчано-гравийные фильтры | -           | 25  |
| Поля подземной фильтрации | Не более 15 | 15  |
| То же, площадь до 0,5 га  | -           | 100 |
| Биофильтры                | Не более 50 | 100 |

10 - 15 лет расходы обычной семьи на водоснабжение сравниваются с расходами на отопление. Особенности децентрализованной водообработки связаны с необходимостью сочетать экономический и экологический аспекты технологии с высокой надежностью и производительностью очистных сооружений.

С одной стороны, за счет децентрализации водоочистки и утилизации воды и полезных компонентов удается получить значительный экономический эффект. Это делает выгодной обработку стоков на месте. С другой стороны, к качеству очистки воды предъявляются повышенные санитарно-экологические требования.

Следует отметить, что экономический и экологический аспекты настолько переплетены между собой, что затрудняют соответствующие оценки, необходимые для строительства и эксплуатации автономных очистных сооружений.

По грубым подсчетам авторов работы [7], в отдельных случаях можно принять, что стоимость собственных очистных сооружений эквивалентна подключению объекта потребителя воды к централизованным очистным сооружениям.

В целом оценки стоимости создания и эксплуатации децентрализованных сооружений крайне сложны. Рассматривая проблемы, связанные со спуском отработанных сточных вод от сельских усадеб в небольшие ручьи и речки, авторы работы [7] отмечают, что в стоимость водоочистки обычно включают размер жилища и число жильцов. Но это некорректно, поскольку на самом деле стоимость водоочистки не пропорциональна ни размерам жилища, ни числу жильцов.

Тем не менее, в подсчетах учитывают:

1. Небольшие размеры усадеб в отдаленных сельских местностях.
2. Необходимость постройки небольших собственных очистных сооружений (если невозможно подключиться к централизованным очистным сооружениям).

Удорожают создание и эксплуатацию очистных сооружений производительностью более 3 м<sup>3</sup>/сут следующие обстоятельства:

- ущерб, связанный с непредвиденными повреждениями в системе очистки. Это увеличивает финансовые расходы на 10, 30, 50 % и более;
- расходы на модернизацию очистных сооружений;
- отказ от восстановления в случае повреждений собственных очистных сооружений и подключение к централизованным системам многократно увеличивают расходы на водоочистку за счет дорогостоящей транспортировки стоков к месту переработки.

При транспортировке по трубопроводам возникает также риск получить ущерб, связанный с возможными повреждениями на трубопроводе и загрязнением окружающей среды.

По-видимому, при расчете финансовых затрат на строительство и эксплуатацию локальных очистных сооружений следует четко дифференцировать между сооружениями, образующими поток очищенных вод, который выводится за пределы участка потребителя воды, и сооружениями полностью утилизирующими воду и компоненты из нее непосредственно в пределах своего участка.

Возможно альтернативой будет служить ограничение потребления воды до 1 м<sup>3</sup>/сут и полная утилизация стоков на месте [6]. Это представляется реальным в условиях коттеджного строительства.

### **1.3. Организационные вопросы водоснабжения**

Организационные вопросы индивидуального водоснабжения в настоящее время стоят особенно остро. Это отмечается многими авторами [13 - 15]. С одной стороны, продолжается неуклонный рост индивидуального жилищного строительства. Например, в работе [15] приводятся данные, что в Соединенных Штатах Америки за период с 1970 по 1980 г. число индивидуальных домов возросло с 20,2 млн до 22,6 млн. С другой стороны, качество очистки на небольших очистных сооружениях часто не удовлетворяет санитарным и экологическим нормам. По данным этой же работы более 90% нарушений нормативов качества сбрасываемой воды приходится на малые населенные пункты с несовершенной системой канализации. Вместе с тем, известно [13, 15], что суммированные локальные последствия таких сбросов негативно проявляются в глобальном масштабе.

Помимо возрастающего загрязнения питьевых вод в последнее время наметилась тенденция к уменьшению их общих запасов на земном шаре. Это является результатом интенсивной и не всегда экологически обоснованной хозяйственной деятельности человека. Например, при строительстве комфортного жилья в России часто опираются на известное положение, в соответствии с которым, чем выше водопотребление, тем меньше загрязнений в воде и выше комфортность жилья. Между тем, это само по себе справедливое положение нельзя рассматривать в отрыве от реально складывающейся ситуации во всем мире. Сейчас стало ясно, что водопотребление должно быть оптимизированным; комфортность жилища нельзя улучшать за счет увеличения расхода воды вообще и расхода питьевой воды в особенности.

На этом фоне возникла и в большинстве цивилизованных стран выполняется стратегия водопотребления, направленная как на ужесточение и даже сокращение норм потребления питьевой воды, так и на увеличение в общей массе используемой человеком воды доли дождевой и очищенной серой воды [13]. По оценкам, данным в работе [13], за счет мероприятий по экономии питьевой воды (использование водосберегающих устройств, туалетов с небольшим расходом воды и др.), а также широкого повторного

использования очищенных серых сточных вод, расход питьевых вод может быть сокращен от 145 л на человека в сутки до 70 л.

Таким образом, в ряду организационных вопросов, связанных с водопотреблением в индивидуальном доме, принципиально важным является выяснение оптимальных норм водопотребления, которые определяют в свою очередь и степень благоустройства, и концентрацию токсичных веществ и патогенных микроорганизмов в сточной воде.

Со ссылкой на зарубежные данные Н.И. Першин [14] указывает, что для создания комфортных условий для населения считается достаточным 150 - 200 л/сут на человека. В сборнике СНиП [12] рекомендуется в домах без ванн расходовать 125 - 160 л/сут воды на человека, а в домах с ваннами и водонагревателями 160 - 230 л/сут.

Ориентировочный баланс водопотребления в расчете на семью из 5 человек и пристенную теплицу площадью 25 м<sup>2</sup> приведен в табл. 1.7. Биотуалет включен в систему переработки сточных вод.

В работе [14] отмечается, что одной из сложных проблем небольших поселков является использование питьевой воды для полива зеленых насаждений и приусадебных участков. Этому благоприятствует бесперебойная работа водопровода и удобство использования воды. В результате допускается перерасход воды и сбой в водоснабжении населения. В значительной мере проблему снимает полив растений очищенной сточной водой. Благодаря этому по данным работы [6] при минимальной норме воды 150 - 200 л/сут на человека для полива участка в 600 - 800 м<sup>2</sup> достигается экономия летом до 150 л/сут питьевой воды.

Т а б л и ц а 1.7

Баланс водопотребления в индивидуальном доме

| Назначение воды              | Расход воды, л в сутки на человека |         |           |
|------------------------------|------------------------------------|---------|-----------|
|                              | Чистой (по данным)                 |         | Очищенной |
|                              | [14]                               | [6]     |           |
| Для питья                    | 3 - 5                              | -       | -         |
| Приготовление пищи           | 27                                 | 30      | -         |
| Умывание (ежедневный туалет) | 14                                 | 14      | -         |
| Купание в ванной             | До 80                              | 80      | -         |
| Стирка белья                 | 20 - 25                            | 15 - 20 | 5 - 10    |
| Уборка помещений             | 10 - 12                            | 10 - 12 | -         |
| Промывка:                    |                                    |         |           |
| унитаза                      | 24                                 | -       |           |
| биотуалета                   |                                    | -       | 10        |
| датчиков контроля            |                                    | 6       |           |

Полив растений:

|                                    |   |    |         |
|------------------------------------|---|----|---------|
| открытый грунт и теплица           | - | 40 | 140     |
| теплица (холодное время года)      | - | -  | 15 - 20 |
| Испарение воды через теплицу       | - | -  | 25 - 30 |
| Испарение на открытом воздухе      | - | -  | 25 - 30 |
| Накопление (в холодное время года) | - | -  | 60 - 70 |

#### 1.4. Общетехнические требования

Следует отметить, что формальный перенос традиционных технологий очистки стоков на автономные сооружения малой мощности не эффективен. Традиционные технологии ориентированы на переработку значительных объемов черных стоков на специальных удаленных от жилых домов площадках.

Автономная переработка стоков предполагает наличие принципиально других условий, среди которых можно выделить следующие:

- строгое регламентирование месторасположения на приусадебном участке очистных сооружений;
- специфические особенности технологии;
- минимальное участие человека в работе системы водоочистки;
- простота эксплуатации очистных сооружений.

Месторасположение очистных сооружений регламентируется по отношению не только к жилому дому, но и источнику питьевой воды, а также глубине залегания грунтовых вод. Расстояние между перечисленными объектами в каждом конкретном случае определяется с учетом санитарных норм, фильтрующей способности грунтов и возможности подтопления фундаментов. Как правило, оптимальные условия реализуются на площадках, имеющих некоторый уклон, что способствует своевременному водоотведению.

Специфика автономных технологий учитывает состав исходных и сточных вод, а также низкую производительность очистных сооружений. Особенно нежелательно для локальных систем водоочистки неконтролируемое смешивание стоков разного состава (получение черных стоков), поскольку:

- может привести к образованию в сточной воде значимых концентраций соединений не встречающихся в отдельно взятых типах вод и не удаляемых по принятой на данном объекте технологии;
- усложняет извлечение и утилизацию ценных примесей из сточных вод, снижая качество очистки в целом;
- нарушает однородность состава обрабатываемой жидкости.

Последнее в свою очередь затрудняет биологическую очистку воды и организацию непрерывного аналитического контроля состава сточной воды простейшими аналитическими методами, а значит и возможности применения автоматизированных технологий.

Требование исключить частое вмешательство человека в работу очистных сооружений связано прежде всего с естественной необходимостью ограничить его контакт с токсичными веществами и освободить от несвой-

ственных, нежелательных для него функций по контролю и управлению в системе очистных сооружений.

Простота эксплуатации является важнейшим требованием к системам очистки сточных вод потребителей с малым расходом воды. Не учет этих требований по данным [15] приводит к неэффективной работе очистных сооружений и даже авариям, вызывающим загрязнение окружающей среды.

*Хотя проектирование систем водоочистки, базирующееся на экологических принципах, - новое направление, уже существуют технологии и разработки, позволяющие внедрять экологически приемлемые системы водоочистки.*

*P. Jessen, A. Vain. Ecological Engineering for Wastewater Treatment. - Sweden, 1991. - P. 148.*

## Глава 2. БАЗОВЫЕ УСТРОЙСТВА И ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМАХ ВОДООЧИСТКИ

Любую систему водоочистки можно представить в виде специально организованной цепочки, составленной из взаимосвязанных базовых элементов (устройств) очистки на промежуточных стадиях. Принципиальная схема организации базовых устройств в автономных системах очистки бытовых сточных вод для общего случая приведена на рис. 2.1.

Базовые устройства имеют разновидности, определяемые не только назначением и конструкцией, но также конкретными факторами: природно-климатическими, почвенно-грунтовыми особенностями месторасположения и эксплуатации очистных сооружений и др.

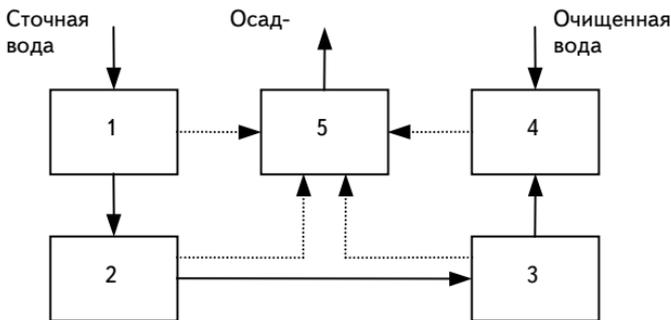


Рис. 2.1. Принципиальная схема организации базовых устройств:

1 - устройства для кратковременного хранения стоков и их предварительной очистки; 2 - устройства базовой очистки; 3 - устройства для доочистки (глубокой очистки); 4 - устройства для обеззараживания очищенной воды и подготовки к вторичному использованию; 5 - устройства для обработки, накопления и утилизации осадков.

Пунктир - движение осадков. Сплошные линии - потоки жидкостей.

Обычно выбор и обоснование конкретного набора базовых устройств составляют предмет технологии водоочистки. Технологию разрабатывают в каждом случае с учетом требований экологии, санитарии и гигиены, энергоёмкости, объемов перерабатываемых стоков, качества очищенной воды, финансовых возможностей заказчика и многих других требований. Способы согласования базовых устройств обычно жестко привязаны к местным условиям. Они часто составляют предмет “ноу хау” и осуществляются в рамках договоренностей между заказчиком и исполнителем. Поэтому в принципе не может быть универсальной децентрализованной технологии водоочистки, пригодной для любого потребителя воды. Ниже рассматриваются наиболее типичные базовые устройства.

## **2.1. Устройства для начальной стадии обработки бытовых сточных вод**

Для кратковременного хранения стоков обычно используют выгреб, пруды-отстойники, азрированные бассейны и значительно реже септики, усреднители. Для начальной очистки чаще всего применяют фильтры грубой очистки (решетки, сита), процеживатели сточной жидкости, отстойники, септики, усреднители.

### **2.1.1. Устройства для сбора, кратковременного хранения и предочистки стоков**

В стандартных системах для очистки и утилизации черных, а иногда и серых стоков от жилого дома применяют в основном два типа местной канализации: выгреб и очистные сооружения на основе отстойников и септиков.

*Выгреб* - простейший вариант местной канализации [16 - 19]. Выгреб представляет собой закрытую подземную емкость, смонтированную из железобетона, где скапливаются сточные воды от жилого дома и фекальные отходы. Содержимое выгребов регулярно вывозят на станции централизованной переработки или иногда утилизируют в пределах приусадебного участка. Поскольку, строго говоря, выгреб нельзя отнести к очистным сооружениям, варианты их конструкций и применение в настоящем обзоре не рассматриваются.

*Септики*. Основное назначение септика состоит в удалении взвешенных грубодисперсных частиц и сглаживании пиковых нагрузок на очистные сооружения. Обычно септики рекомендуют применять для очистки стоков, поступающих на поля подземной фильтрации, песчано-гравийные фильтры, фильтрующие траншеи и фильтрующие колодцы. Кроме того, в септике сточные воды проходят первичную микробиологическую обработку. Благодаря этой обработке, а также разбавлению содержимым септика свежие порции стоков частично гомогенизируются и доводятся до однородного состояния.

Существенным при сооружении септика является выбор места его расположения. С учетом типа почвы, уклона местности и конструкции септика его строят на расстоянии 5 - 20 м от основного сооружения. На суглинистых почвах септик должен находиться не ближе 20 м от водозабора, на песчаных и супесчаных грунтах не ближе 50 м [17]. Чтобы исключить возможность замерзания воды и разрыва труб-водоводов их утепляют подходящим материалом, например шлаком.

Конструктивно септик представляет собой устроенную под землей герметичную емкость, через которую с небольшой скоростью проходят сточные воды. Чтобы улучшить технологический процесс, объем септика нередко разделяют по длине поперечными перегородками на сообщающиеся камеры. Часто отдельные камеры септика соединяют между собой трубами, по которым очищаемая вода последовательно перетекает из одной камеры в другую. В первой камере осаждаются наиболее крупные частицы. Поэтому она обычно имеет наибольшие размеры.

Размеры и конструкцию септика подбирают в каждом конкретном случае. Они зависят от ежедневных объемов принимаемых сточных вод и желаемого качества выводимой из септика воды. В работе [20] рекомендуют рассчитывать септик так, чтобы его внутренний объем в 4 - 5 раз превосходил среднесуточный объем сточных вод. Например, при стоке 600 л в сутки объем септика должен быть около 3 м<sup>3</sup>. Эти рекомендации вполне согласуются с результатами анализа различных проектов очистных сооружений, полученными авторами работы [18]. Оказалось, что типовые проекты включают многокамерные септики с объемом не менее 3 м<sup>3</sup> из расчета 200 л воды на человека. Септики для частичной биологической очистки сточных вод имеют полезный объем 1000 л на человека.

Таким образом, для семьи из 3 человек септик должен иметь объем не менее 3 м<sup>3</sup>. Есть мнение [21], что для обработки серых стоков можно использовать септики в 2 раза меньших размеров, чем для обработки черных стоков.

В соответствии с рекомендациями СНиП [12], полный расчетный объем септика следует принимать, исходя из условий очистки при расходе сточных вод:

до 5 м<sup>3</sup>/сут - не менее 3-кратного суточного притока,

более 5 м<sup>3</sup>/сут - не менее 2,5-кратного суточного притока.

При норме водоотведения свыше 150 л/сут на одного жителя полный расчетный объем септика допускается уменьшать на 15 - 20%.

Конструктивные особенности септиков описаны во многих работах, например, в [18, 22 - 25]. Высоту септика рекомендуют рассчитывать с учетом того, чтобы между донным осадком и слоем плавающего ила было около 1 м. Минимальная полезная высота принимается равной 1,2 м [18]. Для двухкамерных септиков объем первой камеры рекомендуют делать не менее 2/3 общего объема септика. Для дома, где проживает одна семья (4 - 5 человек), рекомендуют строить двухкамерные септики.

Очень часто в индивидуальном строительстве изготавливают кирпичные септики прямоугольной формы, разделенные перегородкой на две камеры, или септики из соединенных между собой двух заводских сборно-монолитных железобетонных колец. Ниже показаны варианты септика из

железобетонных колец (рис. 2.2) и с камерой разделения, помещенной внутрь камеры брожения, и дозатором (рис. 2.3).

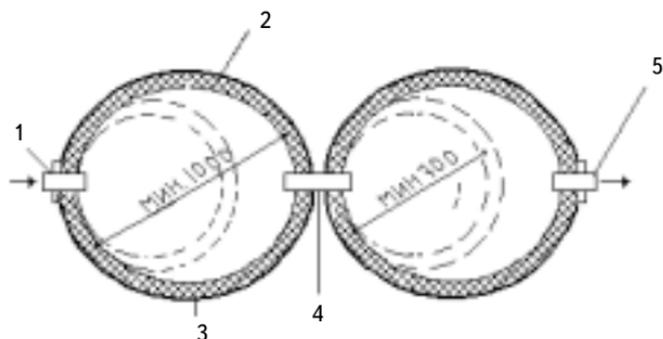


Рис. 2.2. Септик из железобетонных колец. Вид сверху [20]:

1 - труба для подачи стоков; 2 - стенка септика; 3 - гидроизоляция; 4 - переливная труба; 5 - отводящая труба.

Септик из железобетонных колец размещают на утрамбованной жирной глине, которую используют в качестве гидроизоляции. Сверху септик перекрывают слоем железобетона. На перекрытии размещают вентиляционный стояк и смотровые люки. Кроме того, септик закрывают утеплителем и делают отмостку из бетона или асфальта на щебеночной подготовке.

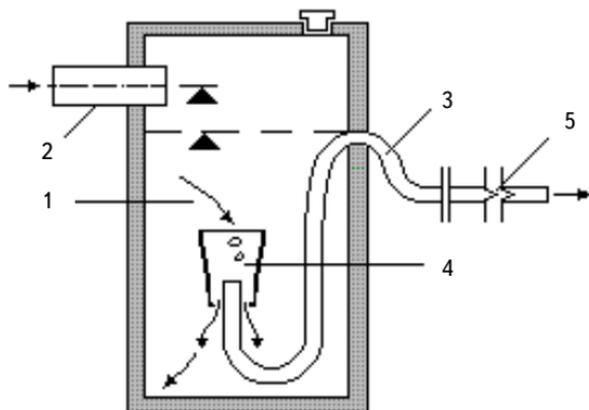


Рис. 2.3. Септик с камерой разделения, помещенной в камеру брожения [22]:

1 - камера брожения; 2, 5- подводящий и отводящий трубопроводы соответственно; 3 - дозирующий шифон; 4 - камера разделения.

Второй вариант септика предложен авторами работы [22]. Конструкция этого септика позволяет снизить строительный объем примерно на 20% по сравнению с септиками традиционных конструкций (например, с септиком, представленным на рис. 2.2). Септик рассчитан на прием небольших количеств стоков от отдельно стоящих жилых домов.

Исходная вода поступает в камеру брожения 1. Здесь она перерабатывается микроорганизмами в анаэробных условиях. По мере наполнения камеры брожения до уровня перегиба сифона 3, последний заряжается и начинает отсасывать воду из нижней части камеры 4 разделения. В камере возникает круговое движение воды, в результате которого взвешенные частицы отделяются. Осветленная вода поступает в отводящий трубопровод 5 и выводится через сифон 3. При понижении уровня воды в камере брожения до уровня трубопровода 5 работа сифона прекращается и септик оказывается готовым к новому приему стоков.

Химический состав воды в септиках, определенный разными исследователями, колеблется в широких пределах (табл. 2.1). Это связано не только с качеством исходной чистой воды, но и с характером питания, быта и составом жильцов индивидуального дома, а также временем хранения стоков в септике.

Из табл. 2.1 видно, что основными компонентами септика являются органические вещества. Населяющие септик микроорганизмы перерабатывают органическое вещество в газообразные продукты и минеральные соли.

По данным работы [18], для полного сбраживания органического вещества в септике требуется от одного до двух месяцев. Достаточно эффективной считается и выдержка смеси в септике около 10 суток.

Т а б л и ц а 2.1

Состав серых стоков в септике [25]  
(Подобрана информация для септиков, загружаемых примерно одинаково.)

| Характеристика          | Olssen et al. 1968 | Kristiansen & Skaarer 1979 | Siegrist & Boyle 1981 | Bahlo & Wach 1990 | Naturvardsverket 1995 | Авторы [25] 1995 |
|-------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|------------------|
| БПК, мг/л               | 205                | 130 с                      | 178                   | 289               | 187 с                 | 116 с            |
| ХПК, мг/л               | 395                | 341                        | 456                   | 520               | -                     | -                |
| SS, мг/л                | -                  | 35                         | 45                    | -                 | 107                   | 39               |
| N <sub>общ</sub> , мг/л | -                  | 19                         | -                     | -                 | 6,7                   | 42,2             |
| NH <sub>4</sub> , мг/л  | -                  | 11,5                       | -                     | 2,6               | -                     | 36,1             |
| P <sub>общ</sub> , мг/л | 18,1               | 1,3 (0,42d)                | 4,4                   | 4,1               | 4 (1,0 d)             | 3,97             |
| Колиформы, lg/100ml     | 6,15               | 5,08                       | 6,2                   | -                 | -                     | -                |

с BOF<sub>7</sub>, d - без детергентов

Однако на практике содержимое жидкой фазы в септике обновляется примерно в течение двух суток. За это время взвешенные вещества в септике выпадают в осадок, а осветленные воды направляются на последующую обработку. Осадок может храниться в септике до года.

Основным видом брожения в септике является "кислое брожение". При кислотном брожении высокомолекулярные вещества разлагаются с образованием органических кислот, которые и определяют кислую реакцию сбрасываемой жидкости. Удаляемый на стадии кислого брожения активный ил имеет желтовато-серый цвет и неприятный запах. Его плотность меньше 1.

Другим видом брожения, встречающимся в септике, является щелочное или "метановое брожение". В результате метанового брожения органическое вещество распадается преимущественно до метана. Удаляемый на этой стадии активный ил темного цвета не пахнет и быстро сохнет на воздухе. Содержимое септика при щелочном брожении не закисает.

*Усреднители состава сточных вод.* В тех случаях, когда состав сточных вод меняется резко и в широких пределах, вместо септика рекомендуют использовать усреднители состава сточных вод. Простая конструкция усреднителя предложена в работе [26]. Она представлена на рис. 2.4.

Устройство состоит из емкости, разделенной перегородками на секции А, Б, В, Г, системы аэрации, трубопроводов для подачи сточной воды, активного ила и отвода усредненной воды со стабилизатором расхода воды.

В основной секции А происходит усреднение, другие секции служат для приема активного ила. Принцип действия усреднителя основан на способности активного ила уменьшать пиковые концентрации загрязняющих воду веществ, поэтому подвод активного ила к сточной воде способствует выравниванию концентраций загрязнений.

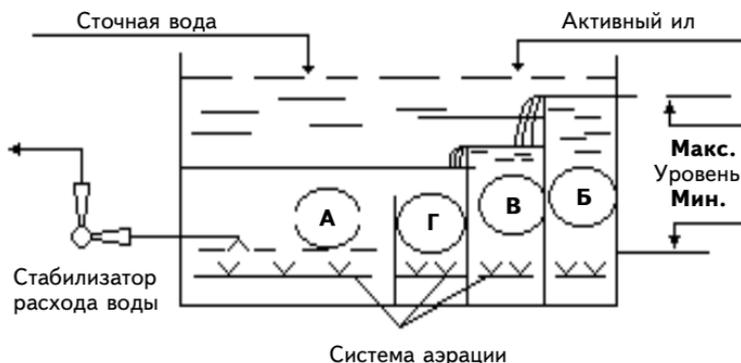


Рис. 2.4. Устройство для усреднения сточных вод [26]

В процессе работы усреднителя в него периодически или непрерывно поступает сточная вода и непрерывно с постоянным расходом подается активный ил. Все секции аэрируются. Благодаря этому происходит смешивание активного ила и поступающей сточной воды. При повышенной подаче сточной воды в смесительную секцию А активный ил поступает и из других секций. Это повышает эффективность усреднения.

Нередко усреднение выполняют в аэрированных бассейнах. Существующие модификации таких бассейнов отличаются главным образом способами аэрации. Часто применяют аэраторы, плавающие на платформе [27]. Наиболее распространены аэрация путем нагнетания в жидкость газа (воздуха, кислорода, например, [28] или озона [29]) и аэрация путем разбрызгивания в воздухе капель насыщаемой кислородом жидкости (см., например, [30]).

В условиях индивидуальной усадьбы, расположенной на местности с небольшим уклоном, привлекательной представляется система аэрации очищенных сточных вод на декоративной водной лесенке [31]. Лесенка выполняется из камня, бетона и другого подходящего материала в форме набора звеньев из 8 - 10 блюдообразных емкостей, соединенных между собой таким образом, что вода, перетекая из одной емкости в другую, проходит путь в виде восьмерки, как показано на рис. 2.5.

Авторы работы [31] отмечают такие важнейшие характеристики водной лесенки:

- вода очень хорошо аэрируется;
- удаляются летучие токсиканты типа  $H_2S$ ,  $CH_4$  и  $NH_3$ ;
- на поверхности ступенек образуется биопленка, участвующая в био-разложении остатков органического вещества.

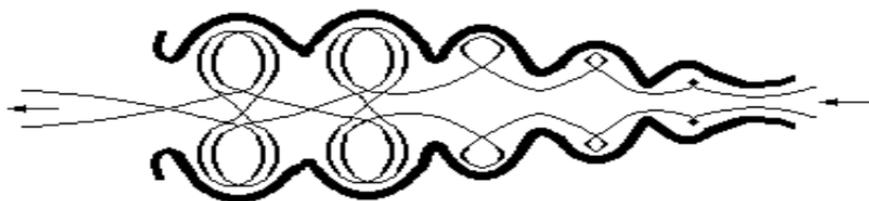


Рис. 2.5. Схема тока воды в водной лесенке [31]

## 2.1.2. Устройства для очистки от взвешенных веществ (фильтры)

Из устройств для сбора и кратковременного хранения частично осветленной воды в соответствии с принципиальной технологической схемой (см. рис. 2.1) подают через фильтры на устройства базовой очистки для более глубокой очистки от взвешенных и растворенных веществ.

### 2.1.2.1. Фильтры грубой очистки

Среди этих фильтров преобладают *решетки*. Их устанавливают для защиты рабочих узлов очистных сооружений от попадания внутрь крупных плавающих загрязнений. При количестве отбросов менее  $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$  применяют простейшие решетки на пути движения стоков. Форма решеток может быть любой. Нередко решетки выполняют в виде корзины вместимостью 20 - 25 л.

*Жироловушка*. Устройство используют для выделения из кухонных вод жира. Простейшая жироловушка показана на рис. 2.6. Она состоит из грязефика 1 для сбора веществ с высокой плотностью и собственно жиролоувателя 2, в котором жир всплывает и накапливается сверху.

*Процеживатели сточной жидкости (ПСЖ)*. По принципу действия процеживатели напоминают решетки, рассчитанные для извлечения из сточных вод и различных жидкостей загрязнений, минимальный размер которых составляет 0, 25; 0,5; 1; 1,5 мм. Процеживатели монтируются как на подающем трубопроводе, так и на подводящем канале [32].

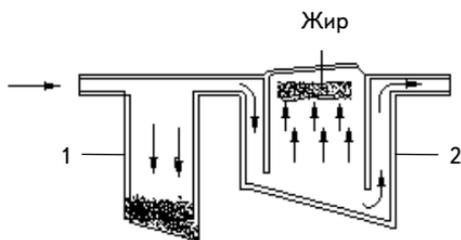


Рис. 2.6. Жироловушка с грязефиком [18]

*Песколовки*. Песколовки применяют для извлечения из сточной воды минеральных примесей размером в поперечнике более  $0,25 \text{ мм}$ . В отличие от процеживателей песколовки представляют собой устройства на основе резервуара, в котором задерживаются и отстаиваются частицы, выпадающие в осадок, например, песок. В соответствии с действующим СНиП [12] песколовки следует предусматривать при производительности очистных сооружений более  $100 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

*Тканевые фильтры*. Согласно [33] для фильтрации воды из септика можно использовать тканевые фильтры. Такие фильтры изготавливают обычно из прочных (разрывная нагрузка в пределах от 3 до 15 кН на 50 мм) синтетических волокон.

### 2.1.2.2. Комбинированные устройства

В литературе описаны септик-фильтры, фильтры-усреднители, фильтры-флотаторы. Общим для этих устройств является наличие узла фильтрования. Фильтр, как правило, выполняется из подходящего фильтрующего материала.

Устройства для предварительной обработки бытовых сточных вод, совмещающие свойства септика и фильтра, описаны в [25]. Они представляют собой емкость, заполненную фильтрующим материалом, например, битым камнем, древесной стружкой, соломой или другим материалом. Вода проходит через фильтр и накапливается внизу емкости для дальнейшей переработки.

Определенный интерес представляет для использования при очистке бытовых стоков флотатор-фильтр (отстойник-фильтр), разработанный Нижегородской государственной архитектурно-строительной академией [34].

Конструктивно в одном аппарате объединены два процесса - флотация и фильтрование или отстаивание. Для перехода с режима отстаивания на флотацию изменяют положение трубопровода, подающего сточную воду. Причем флотатор или отстойник размещен над фильтром и огорожен от него конусом осадочной камеры, частично погруженной в зернистую загрузку фильтра.

Содержание взвешенных веществ в воде, по данным разработчиков устройства, при очистке в предлагаемом аппарате снижается со 150 - 2500 мг/л до 6 - 50 мг/л в зависимости от назначенного режима эксплуатации аппарата.

*Распределительные колодцы.* Распределительные колодцы сооружают круглой формы из кирпича или бетона со стенками толщиной 150 - 200 мм. Примерные размеры колодца показаны на рис. 2.7.

Снаружи распределительный колодец рекомендуют изолировать глиной. Кирпичный колодец внутри штукатурят и железнят. Сверху колодец закрывают железобетонной или деревянной просмоленной крышкой, укрывают тальком или рубероидом и засыпают слоем земли толщиной 200 - 400 мм.

Внутри колодца трубы переходят в открытые бетонные лотки высотой примерно равной диаметру наибольшей трубы. Дно колодца делают на уровне лотка отводящих труб. Количество последних обычно не превышает трех. Для исключения дренажных труб, регулирования подачи воды или выполнения ремонтных работ в колодце устраивают деревянные задвижки - шиберы.

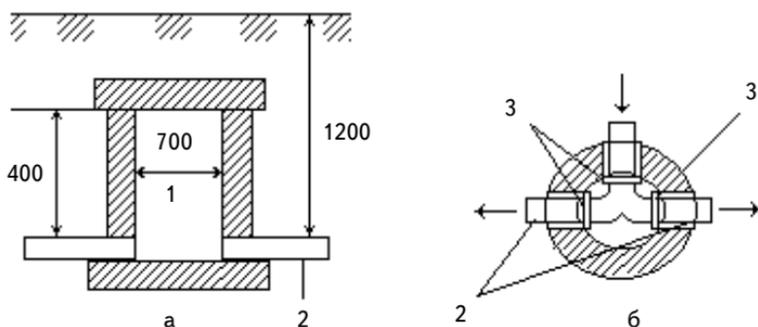


Рис. 2.7. Распределительный колодец (а - вид сбоку; б - вид сверху) [17]:

1 - колодец; 2 - дренажные трубы; 3 - задвижки.

## 2.2. Устройства для основной стадии очистки

Устройства для основной стадии очистки сточных вод перерабатывают и удаляют большую часть примесей. Многие из этих устройств работают на основе принципов, заимствованных у природы. В природе каждый участок воды или суши вместе с обитающими там живыми организмами обладает способностью к самоочищению. В отдельных зонах, например, на болотистых участках, эта способность выражена сильнее. Такие зоны служат объектами для моделирования естественных процессов в создаваемых человеком устройствах очистки сточных вод. Искусственные устройства в силу конструктивных особенностей и оптимизации сочетаемых процессов очистки обладают много большей очищаемой способностью на единицу занимаемого пространства. Можно выделить следующие группы таких устройств:

Песчано-почвенные фильтры.

Песчано-гравийные фильтры.

Ботанические площадки, в том числе:

- Растительно-гравийные фильтры.

- Растительно-почвенные фильтры.

Водные объекты.

Биореакторы для микробиологической очистки.

Аэротенки.

Реакторы для химической обработки стоков.

### 2.2.1. Песчаные и песчано-почвенные фильтры

Песчаные и почвенные фильтры сегодня, по-видимому, наиболее распространены в системах децентрализованной водоочистки. Их можно использовать в качестве устройств базовой очистки в любое время года и практически в любой местности. Эффективность работы песчаных и почвенных фильтров зависит от качества воды, поступающей на фильтр из блока предочистки, типа почвы или песка, а также глубины нахождения подземных вод.

*Песчаные фильтры.* Если грунтовые воды находятся достаточно глубоко, рекомендуют применять заглубленный в землю песчаный фильтр. Эти фильтры наиболее подходят для обработки воды на слабофильтрующих землях, типа глин.

В Швейцарии распространены двухсекционные песчаные фильтры. Общий вид такого фильтра приведен в работе [35] и показан на рис. 2.8.

По данным авторов [25], слой песка в фильтре может достигать 60 - 100 см. В этом случае фильтр может задерживать до 99% колиформ.

Значительный интерес представляет оборотный песчаный фильтр (рис. 2.9).

Оборотный фильтр является открытым фильтром с рециркуляцией фильтрата. Оборотный резервуар 2 принимает сточные воды из септика 1 и определенную долю фильтрата из песчаного фильтра 4. Затем через заданный промежуток времени с помощью насоса 6 смесь фильтрата и сто-

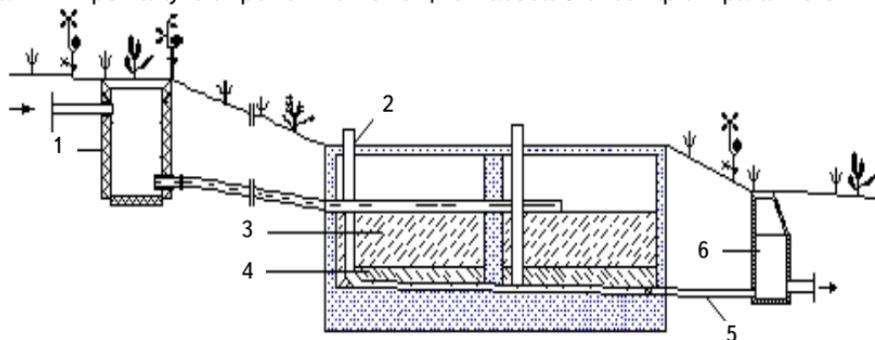


Рис. 2.8. Песчаный фильтр [36]:

1 - узел регулирующий подачу стоков; 2 - вентиляционный стояк; 3 - песчаная загрузка; 4 - гравийная загрузка; 5 - дренажные трубы; 6 - смотровой колодец. См. также [1, 2, 11, 20, 25, 37].

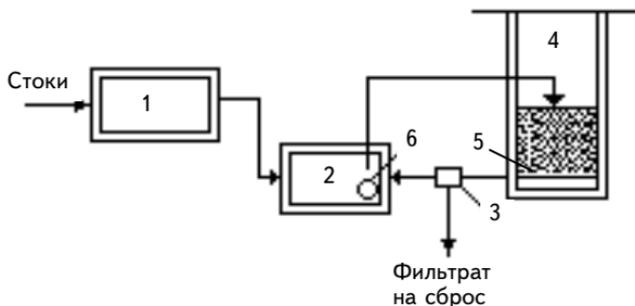


Рис. 2.9. Обратный песчаный фильтр [15]:

1 - фильтр грубой очистки (септик); 2 - оборотный резервуар; 3 - регулирующее устройство; 4 - песчаный фильтр; 5 - отводной клапан; 6 - насос.

ков из резервуара 2 подается на фильтр. Одновременно часть фильтрата сбрасывается через регулирующее устройство 3. Различные модификации оборотных фильтров, по данным работы [15], позволяют достигнуть более чем 50% удаление азота при БПК и ООУ менее 10 мг/л.

Очень часто песчаные фильтры сочетают с септиками. В этом случае, как показали авторы обзора [25], при скорости фильтрации около 400 л/м<sup>2</sup> песчаный фильтр можно использовать до 10 лет.

Для участков с близко подходящими к поверхности грунтовыми водами или плохо фильтрующими почвами предложено использовать песчано-почвенный фильтр, показанный на рис. 2.10.

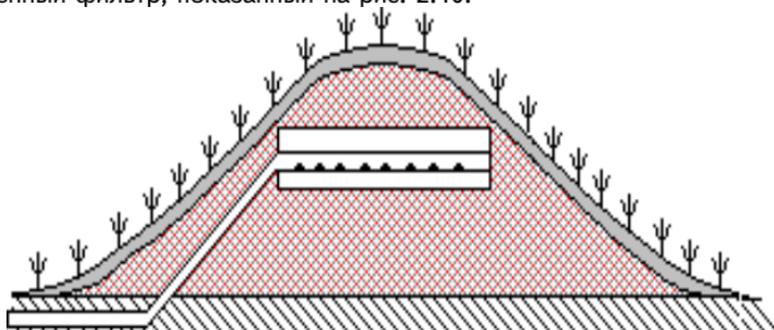


Рис. 2.10. Песчано-почвенный фильтр [1]. См. также [1, 2, 25].

Такой фильтр представляет собой небольшой участок земли, на естественный слой почвы которого насыпан слой песка. Очищаемая вода поступает сверху на песок, проходит через него, фильтруется через естественный слой почвы и смешивается с грунтовыми водами. Устройство требует систематического контроля распределительного узла и насосов.

Эффективность фильтрации зависит как от размеров частиц песка-заполнителя фильтра, так и от размеров задерживаемых частиц примесей и микроорганизмов. Вместе с тем, М. Strauss [11] отмечает, что эффективность быстрой фильтрации через песочные фильтры зависит от вида организмов и предшествующей обработки (табл. 2.2).

Из табл. 2.2 следует, что виды, имеющие большие размеры, задерживаются более полно. Например, яйца гельминтов и цисты простейших имеют сравнительно большие размеры (порядка 5 - 70 мкм), поэтому они, в основном, задерживаются песчаным фильтром. Существенно хуже задерживаются бактерии и вирусы. Хлорное железо коагулирует бактерии и вирусы и способствует более полному задерживанию их на фильтре.

Набор основных процессов очистки существенно расширяется при использовании песчано-почвенных фильтров. Очистку в слое почвы определяют не столько процессы механической фильтрации воды, сколько биоло-

Т а б л и ц а 2.2

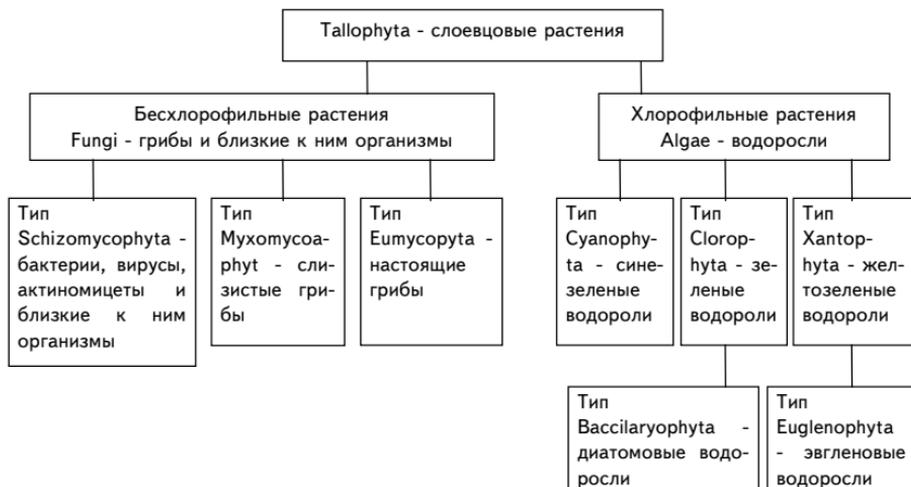
Задерживание песчаным фильтром микроорганизмов [11]

| Микроорганизмы, мкм                       | Удаление до, %     |                                 |
|---|--------------------|---------------------------------|
|   | нормальные условия | в присутствии FeCl <sub>3</sub> |
| Яйца гельминтов, цисты простейших, 5 - 70 | 80                 | 95                              |
| Бактерии, 1 - 10                          | 50 - 60            | 90                              |
| Вирусы, 0,001 - 0,1                       | 40                 | 60                              |

гические и биохимические процессы взаимодействия населяющей почву микрофлоры с присутствующими в воде веществами.

Спектр населяющих почву микроорганизмов, которые по особенностям строения и функционирования относят главным образом к растительным организмам, чрезвычайно велик. Его видовой и количественный состав зависит от типа и свойств почвы.

Взаимосвязи между различными организмами согласно [36] можно показать с помощью следующей схемы:



В переработке веществ, поступающих в почву со сточной водой, ведущее место занимают бактерии. Это по численности наиболее представленный в почве класс растительных микроорганизмов. К бактериям в основном относятся одноклеточные бесхлорофильные микроорганизмы. Размеры бактерий существенно варьируют, но чаще всего в поперечнике составляют 0,5 - 1,0 мк, а в длине - 0,5 - 5,0 мк.

Очень велика роль в переработке органических веществ, обитающих в почве, актиномицетов и грибов. Бактерии, актиномицеты и грибы существуют как сапрофиты - организмы, использующие для питания органические вещества или паразитирующие на других высших и низших организмах. В верхних слоях почвы преобладают микроорганизмы - аэробы, использующие для жизни кислород. В нижних слоях почвы - анаэробы, которые могут существовать без доступа кислорода. В зонах, где содержание кислорода меняется, обычно поселяются факультативные микроорганизмы (или условные анаэробы), способные жить и присутствию кислорода и без кислорода.

В табл. 2.3 приведены данные по эффективности работы песчано-почвенных фильтров.

Т а б л и ц а 2.3

Эффективность работы песчано-почвенных фильтров (по данным [25]), %

| Фильтр                         | БПК <sub>5</sub> | ХПК | N <sub>общ.</sub> | NH <sub>4</sub> | P <sub>общ.</sub> | Колиндекс |
|--------------------------------|------------------|-----|-------------------|-----------------|-------------------|-----------|
| Песчаный                       | 97               | 78  | 43                | -               | -                 | 99        |
| Песчано-почвенный              | 92               | -   | 95                | 92              | 99                | -         |
| Песчано-почвенно-растительный* | 95               | 89  | -                 | 91              | > 89              | > 99      |

\* Последовательно соединены песчаный и почвенно-растительный фильтры.

### 2.2.2. Песчано-гравийные фильтры

Конструктивно песчано-гравийные фильтры решаются в виде котлована или траншеи, заполненной фильтрующим материалом, внутри которого размещают на расстоянии 1 - 1,5 м друг от друга трубы оросительной и дренажной сетей. Обычно используют асбестоцементные или пластиковые трубы диаметром не меньше 100 мм.

Типичный песчано-гравийный фильтр описан в работе [37]. Схема фильтра приведена на рис. 2.11. Фильтр представляет собой углубление, на дно которого насыпан слой гравия или щебня и проложены трубы для отвода профильтрованной воды. На гравии находится слой крупно- и среднезернистого песка. На песок насыпан верхний слой гравия, в котором размещены трубы с пропилами для подачи на фильтр очищаемой воды. Фильтр закрыт слоем грунта с посадками растений.

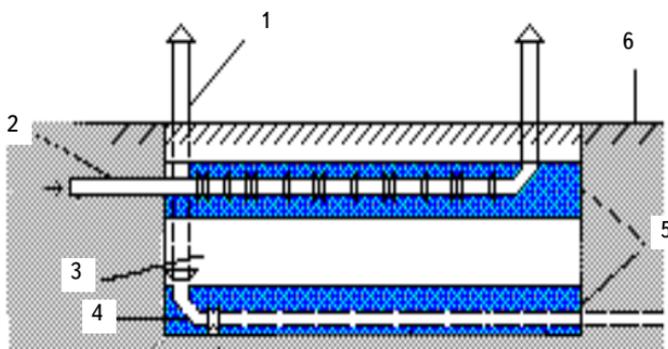


Рис. 2.11. Песчано-гравийный фильтр [37]:

1- вентиляционный стояк; 2 - распределительная труба; 3 - песок; 4 - труба с пропилами для сбора фильтрата; 5 - гравий; 6 - грунт с посадками растений. См. также [20, 37, 38].

Эффективность очистки в песчано-гравийном фильтре возрастает с увеличением толщины слоя загрузки, поэтому высота слоя песка в фильтре обычно выдерживается не менее 0,5 м. Вместе с тем, производительность фильтра тем выше, чем больше площадь горизонтальной поверхности фильтра. Площадь котлована или траншеи определяют в зависимости от объема сточных вод. По данным [20], при постоянном отводе дренированных вод через 1 м<sup>3</sup> горизонтальной поверхности фильтра проходит 60 - 100 л сточной воды в сутки.

Разновидностями песчано-гравийных фильтров являются фильтрующий колодец и фильтрующая кассета. Эти сооружения предназначены не только для очистки или доочистки сточных вод, но и для инфильтрации очищенной воды в грунт.

*Фильтрующий колодец* наиболее широко применяется в практике канализования индивидуальных домов при количестве сточных вод не более 1 м<sup>3</sup>. Это наиболее простое и дешевое очистное сооружение, представляющее собой колодец глубиной от 1 до 3 - 4 м, заполненный фильтрующим материалом. В качестве фильтрующего материала обычно используют гранитный и кирпичный щебень, гальку, шлак, кокс, торф, крупно- и мелкозернистый песок [20].

Заполняют фильтрующий материал слоями, располагая снизу и у стен колодца наиболее мелкие фракции. Высота фильтрующей засыпки обычно равна 1 - 2 м. Конструкция типичного фильтрующего колодца представлена на рис. 2.12.

СНиП [12] рекомендуют устраивать основание колодца выше уровня грунтовых вод не менее, чем на 1 м. С учетом того, что подводящий воду трубопровод следует закладывать на глубине около 80 см, минимальная глубина нахождения грунтовых вод в месте строительства фильтрующего колодца должна быть около 2 м.

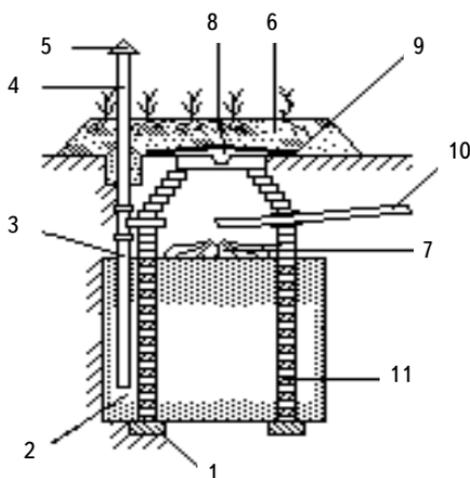


Рис. 2.12. Фильтрующий колодец [37]:

1 - основание (плита); 2 - фильтрующий материал; 3 - перфорированная труба стояка; 4 - вентиляционный стояк; 5 - флюгерка; 6 - насыпной грунт; 7 - распределительный лоток; 8 - чугунный люк; 9 - гидроизоляция; 10 - подающая труба; 11 - кирпичная кладка в разбежку. См. также [20].

Производительность фильтрующих колодцев зависит от характеристик поглощающего грунта и площади соприкосновения с ним сточных вод. По некоторым оценкам [20], при объеме сточных вод около 600 л в сутки фильтрующая поверхность песчаных грунтов, принимающая стоки из фильтрующего колодца, должна быть 6 - 10 м<sup>2</sup>, а на супесчаных 12 - 20 м<sup>2</sup>. Это в основном согласуется с рекомендациями СНиП [12], в соответствии с которыми нагрузка на 1 м<sup>2</sup> фильтрующей поверхности на песках должна быть 80 л/сут и на 1 м<sup>3</sup> супесчаных грунтов около 40 л/сут. При значительных объемах сбрасываемых вод рекомендуют устраивать несколько фильтрующих колодцев, располагая их на расстоянии двух - трех внешних диаметров. При засорении фильтрующего колодца меняют засыпку или устраивают новый фильтрующий колодец.

Фильтрующие колодцы строят на хорошо фильтрующих грунтах. Для слабофильтрующих грунтов рекомендуют использовать фильтрующую кассету. *Не допускается устройство фильтрующих колодцев в трещиноватых грунтах.*

Фильтрующая кассета разработана в ЦНИИЭП инженерного оборудования [4] специально для очистки и отведения в грунт сточных вод особняков и групп особняков. Кассету рекомендуют использовать в случаях, когда недопустим поверхностный сброс очищенных стоков и неприменимы традиционные сооружения подземной фильтрации, например, на слабофильтрующих грунтах. Общий вид кассеты приведен на рис. 2.13.

Фильтрующая кассета представляет собой подземную воздушную полость 1, закрытую сверху ребристой железобетонной плитой перекрытия 2. Свободную циркуляцию воздуха, необходимого для протекания биологических процессов внутри полости кассеты, обеспечивает вытяжная труба 3. На дне полости находится слой песка, на который равномерно насыпан гравий или иной крупнодисперсный материал. Очищаемая вода подается по трубопроводу 4. В грунте под кассетой происходит глубокая доочистка стоков.

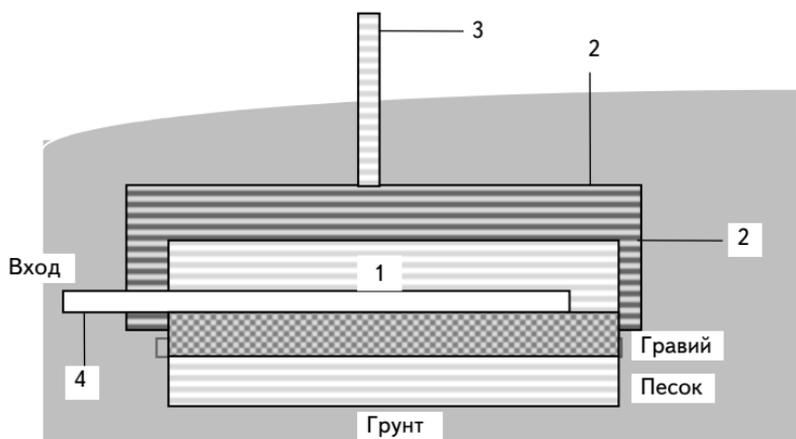


Рис. 2.13. Фильтрующая кассета [4]

Размеры и конструкцию кассет подбирают в зависимости от инженерно-геологических, гидро-геологических и других местных условий.

*Фильтрующие траншеи* являются разновидностью песчано-гравийных фильтров<sup>1</sup>. Поэтому их, как и песчано-гравийные фильтры, СНиП [12] рекомендуют при количестве сточных вод не более 15 м<sup>3</sup>/сут проектировать в водонепроницаемых или слабофильтрующих грунтах при наивысшем уровне грунтовых вод на 1 м ниже лотка отводящей дрена.

Вид фильтрующей траншеи в разрезе представлен на рисунке 2.14.

В некоторых разновидностях фильтрующих траншей объем песчано-гравийной загрузки делают меньше, размещая подающие сточную воду трубы непосредственно в гравии на песке, как это показано на рис. 2.15.

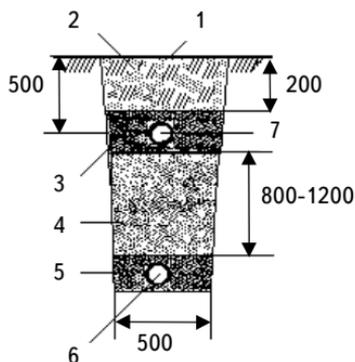


Рис 2.14. Вид фильтрующей траншеи в разрезе [37]:

1 - гидроизоляция; 2 - насыпной грунт; 3, 5 - крупнозернистый фильтрующий материал; 4 - крупный и среднезернистый песок; 6 - труба дренажной сети; 7 - труба оросительной сети.

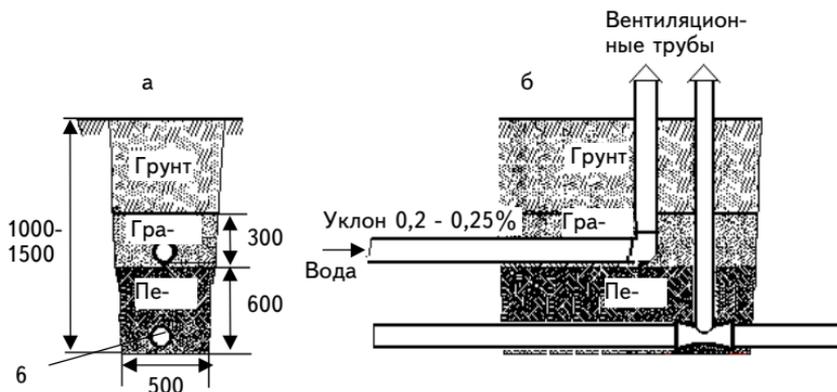


Рис. 2.15. Вариант фильтрующей траншеи [18]: а) поперечный разрез; б) продольный разрез.

<sup>1</sup> Отдельные авторы [15] относят фильтрующие траншеи к полям подземной фильтрации.

Ширина фильтрующей траншеи у дна обычно берется не меньше 0,5 м, а глубина 1,2 - 1,5 м. Стенки при необходимости укрепляют досками. Дренажные трубы укладывают с небольшим уклоном 1 : 500 до 1 : 400. Через каждые 30 м рекомендуют делать смотровой колодец. Если ведут несколько фильтрующих траншей параллельно друг другу, то выдерживают расстояние между ними около 2 м и более.

Наиболее часто для транспорта и распределения воды используют керамические трубы с внутренним диаметром около 10 см. Чтобы избежать засорение труб песком, их в местах соединения покрывают на 2/3 диаметра полосками толи. Считается [18], что вода может свободно выходить из труб через места стыковки. Наличие прорезей на трубах оправдано только в том случае, если сточная вода быстро попадает в нижние слои почвы. В противном случае нельзя исключить попадание в трубы грязи и ее загнивание там.

На рис. 2.16 показаны типичные варианты фильтрующих траншей: прерывного (а) и непрерывного (б) действия.

Согласно рекомендациям СНиП [12], очищенную воду из траншей следует собирать в накопители (для последующего использования при орошении) или сбрасывать в водные объекты с соблюдением "Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами". Кроме того, СНиП рекомендуют рассчитывать длину фильтрующих траншей исходя из нагрузки на оросительные трубы, но не более 30 м при ширине траншеи по низу не менее 0,5 м.

По оценкам, приведенным в работе [18], для отвода в почву сточных вод от одного человека требуется трубопровод длиной 10 м для гравийных или песчаных грунтов, 15 м для супесей и 20 м для суглинков. Трубы должны быть уложены с уклоном от 1 : 500 до 1 : 400 так, чтобы конец трубопровода длиной около 20 м был расположен на 4 - 5 см глубже его начала. Сверху распределительную трубу следует присыпать зернистым материалом, например, крупнозернистым песком, слоем около 5 см.

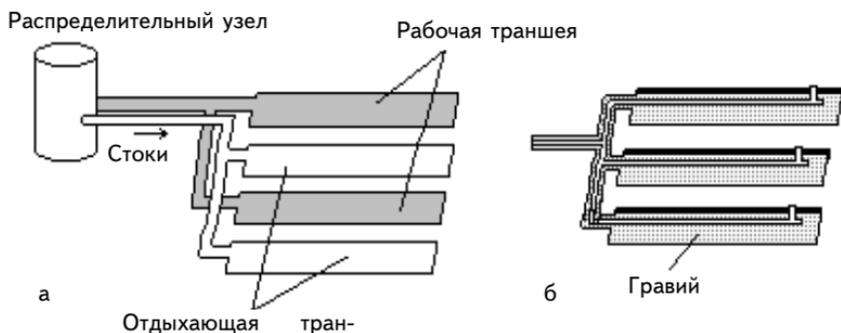


Рис. 2.16. Фильтрующие траншеи, вид сверху: траншеи прерывного (а) и непрерывного (б) действия [1, 20, 37].

В процессах очистки в траншеях преобладает фильтрация через песок. Кроме того, в присутствии сточной жидкости на поверхности частиц фильтрующего материала образуются сообщества микроорганизмов, перерабатывающие органическое вещество сточных вод.

Благодаря теплу, выделяемому микроорганизмами и приносимому сточной водой, песчано-гравийные фильтры редко замерзают зимой.

### 2.2.3. Ботанические площадки

Ботанические площадки, по определению Л.О. Эйнора [38], представляют собой «широкий спектр водотоков, заросших макрофитами естественным путем или высаженных на них искусственно». Таким образом, площадки могут быть естественного и искусственного происхождения. К первым относятся болотистые участки с замедленным током воды на пути к более крупным водоемам, ко вторым - площадки, созданные человеком. Типичные примеры ботанических площадок искусственного происхождения представляют собой заглибление, ложе которого заполнено песком, битым камнем, галькой, другим крупнодисперсным химически инертным материалом с посадками камыша либо другой водной растительности.

Обычно площадки размещают на слабофильтрующих грунтах. Часто дно грунтового ложа изолируют водонепроницаемой пленкой. Сточную жидкость подают сверху. Очищенная вода испаряется растениями и просачивается глубже в грунт или направляется на дальнейшую обработку через отводные трубы. Общий вид ботанической площадки искусственного происхождения представлен на рис. 2.17.

Основным наполнителем площадки, как видно из рисунка, является крупно-дисперсная загрузка, на которой на слое песка высажены растения. Особенно распространены посадки камыша. Ниже на примере камышево-гравийных площадок рассматриваются основные варианты конструкций и процессы в искусственно созданных ботанических площадках.

Выделяют следующие варианты камышево-гравийных площадок, в том числе с потоком сточных вод:

- подземным горизонтальным;
- поверхностным;
- вертикальным.

Различные варианты площадок сравниваются на рис. 2.18.

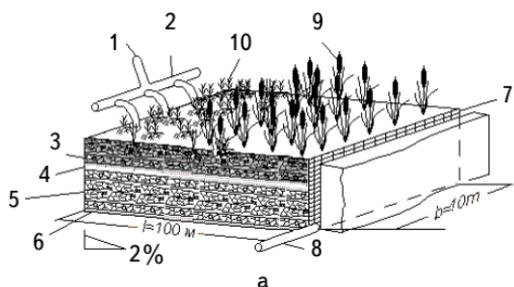


Рис. 2.17. Ботаническая площадка для доочистки сточных вод [38]:

1 - входная труба; 2 - распределительная гребенка; 3 - корневищный грунт; 4 - песок; 5 - гравий или щебень; 6 - подложка; 7 - приемная траншея; 8 - выпускная труба; 9 - тростник; 10 - рогоз.

б

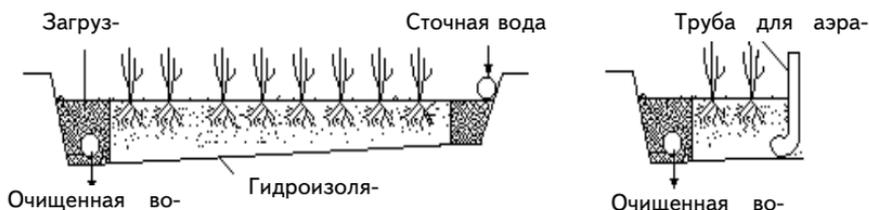


Рис. 2.18. Камышево-гравийная площадка [39]: а - система Кикуса; б - система Сейдаль. См. также [1, 2, 25, 38].

Площадки с горизонтальным потоком сточных вод предложил Кикус (Kickuth system). Имеются две разновидности площадок Кикуса (см. рис. 2.18а). Они отличаются тем, что в одной вода выходит наружу, образуя водную поверхность, в другой, вода скапливается внутри фильтра. Площадки системы Кикуса могут лишь в деталях конструктивно отличаться между собой. Например, расположением дренажных труб ближе или дальше от ложа площадки, характером засыпки, длиной и уклоном водонепроницаемого ложа и т. д. Считается, что для очистки воды с использованием системы Кикуса на человека должно приходиться около 3 - 5 м<sup>2</sup> рабочей площади.

Площадку с вертикальным потоком очищаемой жидкости (рис. 2.18б) разработала Сейдаль (Seidal system). Площадки Сейдаль конструктивно отличаются от площадок Кикуса тем, что внутрь засыпки до уровня ложа площадки для дополнительной аэрации рабочей зоны вводят вентиляционные трубы. Чтобы оптимизировать аэрацию, организуют только вертикальный поток сточной воды за счет ее дозированной подачи. Основное аэрирование, как и в системе Кикуса, осуществляется стеблями камыша. Благодаря дополнительному аэрированию производительность площадок системы Сейдаль почти в 3 - 4 раза выше, чем производительность площадок системы Кикуса.

Любые варианты ботанических площадок характеризуют следующие основные процессы:

- Водообмен между горизонтами внутри площадки обеспечивается слабым током жидкости и перемешиванием поднимающихся снизу газов и опусканием мелких частиц.

- Грубодисперсные взвешенные частицы компостируются в верхнем слое загрузки, образованной из опавшей листвы, стеблей растений.

- Биологическая переработка примесей из воды идет на фоне субстрата, насыщенного этими примесями.

- Примеси перерабатываются бактериями, обитающими на частицах загрузки (почвы, песка, гравия).

- Кислород поглощается листьями растений и проходит вниз к корням по толстым пустотелым стеблям и корням.

- Толстые корни камыша растут вертикально и горизонтально, разрыхляя почву и гравий.

Следует отметить, что механизмы отдельных процессов и соотношения между ними пока не выяснены. Фильтруясь через частицы засыпки и корневую ризосферу, вода подвергается биологической, физической и физико-химической обработке.

По-видимому, в физико-химической обработке преобладает адсорбционная составляющая. Особенно велика ее роль в начальный период<sup>1</sup> работы площадки. В [40] исследована в условиях теплицы эффективность очистки сточной воды от фосфора в емкостях, заполненных различными материалами субстрата (боксит, шлак, леко, глинистый сланец) с посадками на нем тростника (*Phragmites australis*). Оказалось, что в начальный период работы примерно 98% фосфора извлекается за счет взаимодействия воды с субстратом, не содержащим посадок растений, и 99% этого элемента извлекается на аналогичных субстратах, засаженных растительностью. Авторы предположили, что на первом этапе извлечение фосфора идет главным образом за счет адсорбции и привели данные по максимальному поглощению фосфора различными минералами. Максимальное поглощение около 650 - 700 мг/кг у глинистого сланца, минимальное - у зольных отходов.

В табл. 2.4 приведены данные по эффективности очистки сточных вод на площадках, засаженных камышом с разной загрузкой.

На основании результатов своей работы авторы [40] рекомендуют в качестве субстрата для ботанических площадок использовать минерал shale. Вместе с тем, они признают, что в механизме извлечения фосфора субстратом много неясного. Остается не раскрытым механизм усвоения примесей растениями и микрофлорой. Этот механизм должен определять процесс в целом в условиях насыщения фосфором субстрата, что в реальных условиях и имеет место. Эффективная очистка сточных вод будет, по-видимому, зависеть от биодоступности отдельных компонентов и сбаланси-

---

<sup>1</sup> Имеется в виду период насыщения загрузки фосфором. По разным данным он колеблется от 70 [40] до 20 [41] дней.

рованности действия всех видов биоты, обитающей внутри площадки и образующей единый биоценоз.

Т а б л и ц а 2.4

Эффективность очистки сточных вод ботаническими площадками, %

| Ботаническая площадка с загрузкой | БПК | ХПК | N <sub>общ.</sub> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | P <sub>общ.</sub> |
|-----------------------------------|-----|-----|-------------------|------------------------------|-------------------|
| леко [41]*                        | 85  |     | 59                |                              | 95                |
| гравия [25]                       | 97  | 95  |                   | 82                           | 60                |

\* Среднее 3,5 лет эксплуатации

Видовой состав микроорганизмов по длине площадки меняется. Это связано с тем, что очищаемая вода проходит по ней медленно, создавая условия для пространственного последовательного разделения микроорганизмов - деструкторов на твердом носителе и как следствие, оптимизации процесса водообработки в целом.

Летом значительный вклад в процессы очистки вносят растения. Они не только поглощают большое количество примесей из воды, но и обеспечивают оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов, значительная масса которых сосредоточена в корневой ризосфере. Некоторые растения (камыш, тростник) насыщают зону корней кислородом.

По мнению Л.О. Эйнора [38], в условиях России наиболее подходят для расселения на площадках тростник, камыш и рогоз. У этих растений есть свои особенности. Тростник, например, хорошо переносит солевые нагрузки, но более чувствителен, чем рогоз, к высоким концентрациям органических отходов. Рогоз легко укореняется, но плохо переносит затопление и растет при низких уровнях воды. Часто оптимальным вариантом оказываются смешанные посадки тростника и рогоза. В холодное время года, когда отмирает наземная часть растений, процессы продолжают в корневой зоне, которая благодаря наличию в ней связанной воды и других особенностей не замерзает.

Основные технологические параметры ботанической площадки для Подмоскovie приведены в работе [38]. Автор рассчитал скорость фильтрации ( $v$ ) в нижнем горизонте по уравнению Дарси:  $v = k \cdot i$  ( $k$  - коэффициент фильтрации, численно равный 3,5 см/с для гравия и щебня диаметром 4 - 7 мм,  $i$  - гидравлический уклон). Величина  $v$  оказалась равной 0,07 см/с. Вместе с тем, из данных лабораторных исследований им было получено, что оптимальная продолжительность разрушения загрязняющих веществ в присутствии макрофитов составляет 1 сутки. Принимая 1 сутки за время прохождения водой всей площадки, он оценил оптимальные размеры площадки. Длина площадки должна быть около 100 м. Ширина площадки определяет расход очищаемой жидкости. В качестве примера были приведены следующие параметры. Если объем жидкости на площадке составляет 40% от расчетного при ширине площадки равной 10 м и длине 100 м, то расход воды на ней должен равняться примерно 5 л/с.

По данным того же автора на 1990 г. стоимость сооружения ботанической площадки составляла до 15 руб. за 1 м<sup>2</sup>.

Следует иметь в виду, что после сооружения площадка некоторое время должна «созреть». Созревание включает формирование биоценоза, расселение микрофлоры и другие сложные процессы саморегулирования биоты. Естественным в это время являются минимальная загрузка площадки и исключение возможности залповых выбросов с повышенными концентрациями токсичных для биоты веществ.

### *2.2.3.1. Почвенно-растительные фильтры*

Сущность очистки стоков на почвенно-растительных фильтрах состоит в том, что очищаемую воду пропускают через слой почвы с посадками высших растений. Как правило, ее применяют после механической или вторичной биологической очистки с целью глубокой доочистки сточных вод.

Почвенно-растительные фильтры стали сравнительно недавно вводить в практику очистки стоков от жилого дома. Как и в случае гидрботанической очистки, серьезным препятствием широкому внедрению метода служит сезонный характер его использования. Для практики индивидуального домостроения представляют интерес варианты почвенно-растительных фильтров на основе полей орошения и полива по склону с растительностью, а также поля фильтрации и лесные массивы, засаженные древесной растительностью.

*Полив по склону* применяют на холмах, возвышенностях со слабо-фильтрующими почвами и уклоном 2 - 6°. Метод, по-видимому, наиболее пригоден для доочистки стоков отдельно стоящих домов, ферм в сельской местности или в лесу.

В литературе описаны два варианта полива по склону:

- поверхностный сток;
- подземный сток.

*Поверхностный сток.* Типичное устройство для обработки воды поливом по склону приведено на рис. 2.19.

Сточную воду подают вверх склона и затем разбрызгивают или распределяют по поверхности для создания равномерно стекающего по склону потока. Через каждые 60 - 90 м поперек склона рекомендуют [43] прокладывать перехватывающие каналы.

Для устройства системы выбирают участок с уклоном 2 - 8° на маловодпроницаемых грунтах. На месте выпуска сточных вод оборудуют гравийное покрытие, которое защищает поверхность земли от эрозии и способствует равномерному распределению очищаемой воды по поверхности склона.

Очистка происходит главным образом при прохождении воды через траву и перегной. Окислительно-восстановительный потенциал водной среды соответствует промежуточным условиям для анаэробного и аэробного процессов. Поэтому в зоне очистки неприятных запахов не образуется.

*Подземный сток* организуют на местности с небольшим уклоном. В процессе очистки вода движется под землей от одного колодца на склоне

к другому. Таким образом как бы увеличивается расстояние до грунтовых вод, которое сточная вода должна пройти при инфильтрации.

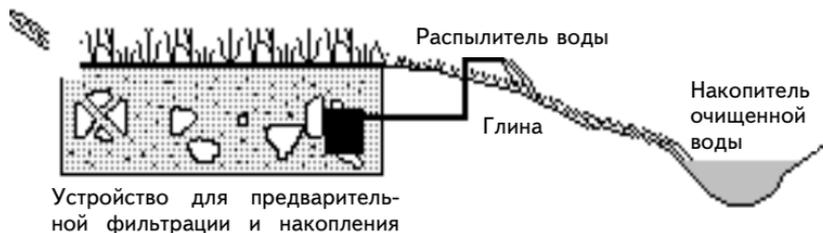


Рис. 2.19. Устройство для обработки воды на поверхности склона. См. также [1, 39, 42, 43]

Оптимальные условия для очистки воды создаются при локализации подземного потока воды в корневой зоне растений, на глубине около 40 см. Это позволяет, по мнению авторов работы [44], значительно повысить эффективность очистки. Есть также рекомендации: перед подачей воды на подземный сток пропускать ее через песчаный фильтр.

*Поля орошения.* В качестве полей орошения используют как естественные луга с травянистой растительностью, так и поля с посадками сельскохозяйственных культур или площадки для игр, лужайки. Поля орошения заливают сточной водой, которая, фильтруясь через почвенно-растительный покров, уходит в грунт. Травы после фильтрации скашивают.

Расход воды на полях орошения определяется нормой среднегодового количества осадков и видом засеваемых культур.

Превышение расхода воды над суммой среднегодовых осадков для выращиваемых культур составляет [18]:

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| Пропашные:              |        |
| в общем случае          | 1      |
| в частном случае        | 2      |
| Луговые травы           | 5 - 10 |
| Комбинированные посадки | 4 - 5  |

Ориентировочно в работе [18] считается, что для отвода стоков от семьи из 4 человек требуется 50 - 100 м<sup>2</sup> легких песчаных грунтов и 100 - 200 м<sup>2</sup> тяжелых грунтов. Этими же стоками можно орошать в зависимости от типа почвы примерно 500 - 600 м<sup>2</sup> площади сада. По данным этой же работы для обработки стоков от 200 жителей требуется примерно 1 га сельскохозяйственных полей, на легких грунтах объем стоков может быть несколько больше.

В последнее время обратили внимание на полив земель лесных участков. В литературе [42] отмечается, что древесные породы по сравнению с травами хуже утилизируют азот и фосфор. Вместе с тем древесина служит хорошим топливом. Поэтому при правильно выбранной технологии доочи-

стка и инфильтрация воды в лесном массиве может оказаться вполне оправданной. Особенно перспективным считается полив участков, засаженных ивняком вида *Salix viminalis* [45].

Серьезными недостатками полей орошения являются:

- размещение на прилегающих территориях;
- опасность заражения людей и животных;
- ограниченный регулируемый полив;
- неприятный запах.

*Поля фильтрации* представляют собой почвенные площадки с хорошо фильтрующим грунтом, через который фильтруют сточные воды, соединяя их с грунтовыми водами. На полях фильтрации сельскохозяйственную продукцию, в отличие от полей орошения, не выращивают. Нагрузка на полях фильтрации может превышать нагрузки на полях орошения примерно в 10 раз.

Применяют поля фильтрации с поверхностным и подземным орошением. Для подземного орошения устанавливают дрены из пластиковых или асбестоцементных труб на расстоянии около 4 - 6 м друг от друга и на глубине примерно 1,25 - 1,5 м [18]. Выбор конкретного типа полей определяется гидравлической и очистной производительностью, которые в свою очередь непосредственно связаны с характеристиками почв, сточных вод и гидрогеологическими особенностями местности. Обычно чем выше фильтрующая способность грунтов, тем выше и эффективность почвенной фильтрации. Поэтому качество инженерно-геологических изысканий на месте будущих полей фильтрации является определяющим фактором для их успешной эксплуатации.

Поля подземной фильтрации по сути представляют собой фильтрующие траншеи (см. раздел 2.2.2).

На почвенно-растительных фильтрах вода частично испаряется, усваивается растениями и фильтруется в грунт. В табл. 2.5 показан водный баланс при обработке сточных вод на почвенно-растительных фильтрах. Баланс составлен по данным, приведенным в работе [42].

Очистка в почве выполняется под действием различных физико-химических факторов (фильтрация, сорбция, обменные процессы в почве, гетерокоагуляция и т. д.). В прикорневой зоне существенную роль играет биологическая составляющая. Сосредоточенная там микрофлора использует для своего питания воду и растворенные в ней вещества. Часть воды и примесей усваивается растениями и идет на рост зеленой массы.

Таким образом, при очистке на почвенно-растительном фильтре сочетаются физические, химические и биологические виды обработки сточных вод между собой и биологической утилизацией ценных органических и минеральных веществ, растворенных в сточной воде. С одной стороны, частицы почвы механически отфильтровывают микро- и грубодисперсные фракции (более  $10^{-5}$  см в поперечнике) взвешенных в сточной воде веществ, частично адсорбируют растворенные в воде и находящиеся на коллоидных частицах ионы и молекулы. В результате облегчается коагуляция тонкодисперсной фракции взвешенного вещества и некоторых микроорганизмов. С другой стороны, растения потребляют содержащиеся в воде в

виде примесей ценные органические и минеральные вещества, возвращают их в биологический оборот.

Для правильного выбора типа фильтра существенную роль играют почвенно-климатические особенности местности, где предполагается выполнять обработку воды. Предварительные оценки их влияния можно сделать с помощью табл. 2.6.

Т а б л и ц а 2.5

Водный баланс на почвенно-растительных фильтрах, %

| Тип фильтра   | Испарение | Усвоение растениями | Фильтрация в грунт |
|---------------|-----------|---------------------|--------------------|
| Склон         | 20 - 30   | 60 - 70             | 10                 |
| Поля орошения | 70        | 70                  | 30                 |

Т а б л и ц а 2.6

Почвенно-климатические факторы местности, влияющие на работу почвенно-растительных фильтров (по данным [42] и [46])

| Характеристика                    | Поля орошения            | Поля фильтрации         | Полив по склону          | Подпочвенное орошение |
|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Предварительная очистка           | Осаждение                | Осаждение               | Механическая очистка     | Осаждение             |
| Вегетационный период              | Учитывается              | Не учитывается          | Учитывается              | Не учитывается        |
| Уклон поверхности                 | < 0,02                   | -                       | 0,02 - 0,08              | Любой                 |
| Проницаемость почвы               | От низкой до умеренной   | Хорошая (пески, супеси) | Низкая (глины)           | От низкой до хорошей  |
| Допускаемый уровень грунтовых вод | 0,6 - 0,9                | 3                       | Любой                    | < 0,6                 |
| Климатические ограничения         | Зимой воды накапливаются | Отсутствуют             | Зимой воды накапливаются | Отсутствуют           |

Следует отметить, что в странах с холодным климатом используются преимущественно почвенно-растительные фильтры на основе полей фильтрации и полей подпочвенного орошения. Растительно-гравийные фильтры пока находят только сезонное применение в теплое время года. Тем не менее, возможность очистки сточных вод на этих фильтрах зимой изучаются. Авторы работы [47] считают, что их можно использовать в прибрежных зонах Норвегии и в холодное время года, если обеспечить дополнительное укрытие фильтра сверху, особенно в малоснежные периоды, а также оптимизировать гидродинамический режим внутри фильтра.

Эффективность очистки сточных вод почвенно-растительными фильтрами после предварительной биологической очистки показана в табл. 2.7.

Из табл. 2.7 видно, что при примерно одинаковом уровне обеззараживания очищаемых вод поливом по склону и на полях орошения последние более эффективно удаляют азот и фосфор. Вместе с тем, по данным работы [49], качество очистки воды от фосфатов явно низкое. Авторы последней работы отмечают, что оно, в частности, не удовлетворяет требованиям стандарта для воды плавательных бассейнов.

Т а б л и ц а 2.7

Эффективность очистки сточных вод почвенно-растительными фильтрами,  
%

| Тип фильтра   | N <sub>общ.</sub> | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | P <sub>общ.</sub>    | Колититр |
|---------------|-------------------|-------------------------------|----------------------|----------|
| Склон         | 85 [41]           | -                             | 85 [41] 30 - 60 [42] | 95 [42]  |
| Поля орошения | 94 [48]           | 23 [49]                       | 90 [48]              | 94 [49]  |

#### 2.2.4. Водные объекты

Водные объекты часто включают в системы водоочистки автономных потребителей с небольшим расходом воды. В результате этого удается успешно сочетать собственно водоочистку и выращивание аквакультуры, а также частично окупить затраты на сооружение и эксплуатацию водного объекта, удешевляя водоочистку в целом. Это делает привлекательным использование водных сооружений и естественных водоемов в системе водоочистки вообще и для автономной водоочистки в частности. Поэтому в мировой литературе проблемы очистки сточных вод в водных объектах и аквакультуры освещаются достаточно широко. Обзоры по этой тематике опубликованы, например, в [50, 51].

Существенным недостатком технологий очистки стоков с использованием водоемов является зависимость состава воды в этих водоемах от состава пропускаемых через них сточных вод и особенностей формирующегося при участии компонентов стоков биологического сообщества. Это обстоятельство существенно ограничивает использование водоемов для полномасштабной очистки стоков, хотя и не исключает возможность выполнения в естественных водоемах глубокой доочистки бытовых стоков.

Особенно привлекательными для целей автономной водоочистки представляются искусственные водоемы, среди которых ведущее место занимают пруды различного назначения, в том числе отстойники, усреднители, бокс - пруды, пруды доочистки, резервуары и пруды для хранения воды разной степени очистки.

*Открытые водоемы большого объема.* Анализ литературы позволяет выделить несколько направлений в разработках очистных сооружений на основе использования водных объектов, в том числе:

- ландшафтно-инженерные решения;
- рекомендации по флоре и фауне водоемов;

- способы интенсификации процессов водоочистки;
- технологии предварительной очистки сточной воды, ориентированные на ее доочистку в конкретном водоеме.

Ландшафтно-инженерные решения [15] рассчитаны на использование достаточно больших естественных водоемов с водной растительностью, способных перерабатывать значительные объемы воды (например, от бытовых предприятий или поселков). Такие системы для децентрализованной очистки сточных вод от жилых домов с небольшим приусадебным участком особенно в условиях холодного климата непригодны и поэтому здесь не рассматриваются.

Вместе с тем, представляется целесообразным проанализировать рекомендации по подбору флоры и фауны водоемов и способы интенсификации процессов водоочистки в них, имея в виду возможность применения этих рекомендаций для небольших водоемов, встраиваемых в системы искусственной гидробиологической водоочистки при жилом доме.

Искусственные открытые водоемы в настоящее время применяют для целей очистки бытовых сточных вод достаточно широко [9, 15, 47, 52].

Однако внедрению в практику индивидуального домостроения искусственных открытых водоемов препятствует ряд ограничений. Для водоемов больших размеров ограничения связаны прежде всего с дефицитом земли, не позволяющим внутри отдельного хозяйства создавать достаточно большие водоемы. Применение небольших водоемов ограничивают главным образом, их невысокая очищающая способность, возможность при малом стоке пересыхания и нарушения условий жизни биоценоза. Общим недостатком для любых открытых водоемов является необходимость размещать искусственные водоемы на слабофильтрующих грунтах. В противном случае необходимо обеспечить дорогостоящую гидроизоляции. Кроме того, в местах с холодной зимой применение открытых водоемов сдерживает небольшой вегетационный период для заселяющих водоем растений и животных.

*Сооружения для искусственной гидробиологической очистки.* Очистку воды на водных объектах, засаженных растительностью, часто называют биогидрботанической очисткой. Сущность этого способа очистки состоит в том, что бытовые сточные воды пропускают через водоемы с высшими водными растениями.

Биогидрботаническая очистка сточных вод в естественных условиях наиболее интенсивно происходит на болотах, а в искусственных условиях в биологических прудах с застойной или медленно текущей водой. Существует обширная литература, например [53 - 55], посвященная очистке стоков в прудах.

Представляет интерес описанный в работе [55] способ биологической очистки воды в прудах глубиной 3 - 4 м, разделенных подводными поперечными дамбами. На этих дамбах предлагается высаживать тростник, а на междамбовых участках культивировать макроводоросли. Оптимальная площадь дамб, по рекомендации авторов, составляет 1/3 от всей площади пруда. Средняя ширина дамбы должна быть около 6 - 20 м. Глубина затопления дамбы - около 1 м.

Нередко для очистки используют систему прудов разного уровня очистки, сообщающихся между собой посредством каналов биологической очистки [56 - 57]. Эти каналы служат как для транспорта, так и для дополнительной очистки частично очищенной воды.

В японском патенте [57] на канале биологической очистки твердая фильтрующая загрузка заменена насадкой для иммобилизации микроорганизмов и аэратором (см. рис. 2.20).

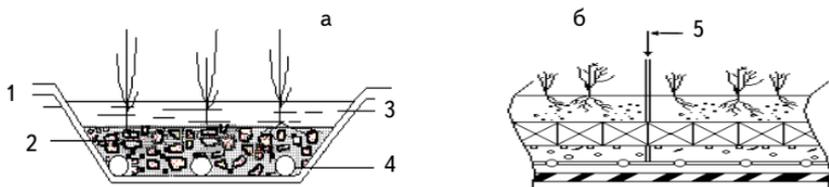


Рис. 2.20. Канал биологической очистки с твердой фильтрующей загрузкой (а) [56] и аэратором (б) [57]:

1- гидроизоляция; 2 - фильтрующий материал; 3 - вода; 4 - водоприменные дрены отвода профильтрованной воды; 5 - аэратор.

В верхней части канала высажены водные растения. Ниже корней этих растений расположен слой насадки 1 для иммобилизации микроорганизмов. После слоя 2 вода поступает в нижнюю часть канала, где расположено аэрирующее устройство. Поступая сверху, вода последовательно проходит зоны очистки микроорганизмами и высшими растениями.

Во многих случаях создают компактные сооружения для искусственной гидробиологической очистки. Простейшее сооружение, пригодное для доочистки стоков от жилого дома, представляет собой бассейн с нефилтующим дном, на котором уложена фильтрующая загрузка. На загрузку обычно высаживают водные растения, а под загрузкой размещают самотечные дрены и отводящий трубопровод, как в работе [58]. Авторы этой работы рекомендуют подбирать состав фильтрующей загрузки в бассейне с учетом кислотности очищаемой воды таким образом, чтобы наряду с песком в нее входил бы и отсев из щелочных или кислых пород. Чтобы стабилизировать гидродинамический режим в бассейне, воду из него отводят с помощью самотечных дрен и приемка с загрузкой, создающих стабильный напор воды.

Очистку вод с высоким содержанием солей авторы работы [59] предлагают выполнять, пропуская очищаемую воду через корневую зону насаждений солеустойчивых галофитов - циперус европейский и сведа приморская - с плотностью посадки до 30 тысяч растений на 1 га.

Нередко предлагается выполнять процесс очистки в сооружениях оранжерейного типа, выращивая плавающие водные растения в чанах или иных резервуарах с водой [60 - 62]. Для оранжерейного варианта, по мнению авторов работы [60], наиболее подходят посадки тропического растения - циперуса однолистного. Для этого в оранжерее сооружают бетонный

проточный канал глубиной 0,7 - 1,0 м, куда на сетках погружают растения. При температуре 25°C расход воды в канале не более 100 л/сут на 1 м<sup>2</sup> площади, занятой растениями. Через каждые 20 дней удаляется примерно 15% биомассы циперуса. Из воды, поступившей из вторичных отстойников, извлекается 93 - 100% соединений NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> и около 53% NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Аэрирование воды в баках выполняют разными способами. Есть предложения аэрировать баки, нагнетая воздух через специальные отверстия в продольных стенках баков [63] или кислородом, полученным электрохимическим путем [64].

Обычно выделяют два случая реализации гидрботанического способа очистки стоков: с плавающими растениями, корни которых размещаются не в грунте, а в толще воды, и с растениями, закрепленными корнями на дне. В прикорневой зоне растений формируется биологическое экосообщество, включающее корни растений и микроорганизмы, активно перерабатывающие примеси. Часть примесей из воды растения усваивают самостоятельно.

Для открытых водоемов используют типичные для данной местности озерно-болотные растения - макрофиты: камыш озерный, рогоз узколистный, тростник обыкновенный, аир тростниковый и др. [9, 56]. Для повышения эффективности водоочистки в системах замкнутого цикла предлагается выполнять последовательную обработку воды в биосекциях, в которых произрастают различные растения: в первой секции поручейник и роголистник, затем валлиснерия и в последней секции кладофора.

Чтобы достигнуть степени очистки по N<sub>общ</sub> = 94% и P<sub>общ</sub> = 90%, в работе [56] рекомендуется применять следующие плотности посадки растений, кг/м<sup>3</sup>:

|             |           |
|-------------|-----------|
| Поручейник  | 2,0 - 2,5 |
| Роголистник | 5,6 - 7,7 |
| Валлиснерия | 2,7 - 3,2 |
| Кладофора   | 2,3 - 2,4 |

Есть рекомендации [65] по культивированию в открытых водоемах плавающих высших водных растений с мощной корневой системой, в зоне которой идет очистка воды, и низших растений [15, 41, 66 - 69], например, водорослей. Эффективно удаляет примеси азота и фосфорсодержащих соединений культивируемый в отстойнике для загрязненной воды планктон [67].

В последнее время в литературе [15, 52] широко обсуждаются возможности использовать для водоочистки пруды, заселенные ряской (*Lemna minor*). Запатентованный метод [69] использования ряски на прудах-отстойниках основан на применении плавающей пластмассовой решетки, препятствующей переносу и распространению ряски по всей поверхности водоема. Рясковый покров ограничивает проникновение света, вызывает гибель водорослей и тем самым повышает эффективность работы пруда-отстойника. Вместе с тем, в работе [15] отмечается, что метод недостаточно изучен, требует больших капиталовложений, которые могут окупиться за счет потенциального спроса на белок ряски.

Обстоятельное изучение рясковой технологии выполнили польские ученые [52] на очистных сооружениях, основу которых представляют два сообщающихся пруда глубиной 2 - 4 м. В первом пруде проводилось аэрирование воды. Ряска находилась во втором пруде. Пруды снабжались также камерами нитрификации и коагуляции фосфатов.

Было сделано заключение, что рекомендуемый в Польше для очистных сооружений вид ряски *Lemna minor* в условиях умеренного, и тем более, холодного климата малоперспективен. Стоимость культивирования растений, сбора урожая и его использования не соответствуют эффективности ряски в водоочистке. Кроме того, рясковые технологии недостаточно отработаны, поэтому пока их нельзя рекомендовать для широкого внедрения в практику. Тем не менее, в работе отмечается, что технологии с использованием ряски достаточно пластичны и у них есть перспективы, связанные с использованием новых клонов ряски, применение которых возможно окажется эффективным в условиях холодного климата.

Для интенсификации водоочистки различные авторы предлагают аэрировать воду. В [27, 41] для этой цели насыщают воду в открытых водоемах кислородом воздуха с помощью плавающего аэратора любой конструкции. Источником кислорода в воде могут стать и специально добавленные в водоем водоросли. Как отмечают авторы [68], дикорастущие водоросли типа вольвоксовых, эвгленовых, диатомовых и протококковых в процессе очистки выделяют кислород и подавляют развитие сине-зеленых водорослей. Это в целом повышает очистительные свойства водоема. В некоторых случаях (пруды-отстойники) наличие в водоеме водорослей оказывается нежелательно. Тогда рекомендуют описанный выше способ подавления развития водорослей с помощью ряски.

## 2.2.5. Биореакторы микробиологической очистки

Биореактор - это сооружение для биологической очистки сточных вод. Значительное количество патентов, описывающих биореакторы, представлено в сборнике рефератов патентов, охватывающем период с 1983 по 1990 гг. [70]. Имея в виду это обстоятельство и то, что объем настоящей работы ограничен, мы приводим лишь наиболее характерные решения для этого периода и за последнее десятилетие.

В общем случае в любом биореакторе одновременно протекают и аэробные и анаэробные процессы. При достаточном количестве кислорода преобладают аэробные, а при недостатке кислорода - анаэробные процессы. Поэтому, регулируя содержание кислорода в одном и том же биореакторе, в принципе можно осуществлять желаемый (аэробный или анаэробный) процесс.

Чтобы подчеркнуть роль кислорода и природу населяющих биореакторы микроорганизмов, обычно различают аэрируемые (азротенки, биофильтры) и неаэрируемые реакторы (метантенки). Конструктивно аэробные реакторы отличаются от анаэробных главным образом наличием системы аэрации и способом размещения рабочей микрофлоры. Последняя может быть закреплена на специальной загрузке или находиться в составе сво-

бодного активного ила, перемещаясь с ним по всему объему биофильтра. По особенностям загрузочного материала выделяют биофильтры с объемной загрузкой, с плоскостной загрузкой и т. д.

Конструкции большей части биофильтров предназначены для заводского изготовления. Инженерно-конструкторские возможности оптимизации биоочистки в искусственных резервуарах - биофильтрах описаны широко [71, 72]. Основные различия в конструкциях отдельных узлов биореакторов связаны преимущественно со способами интенсификации процесса очистки.

### 2.2.5.1. Аэробные биофильтры

Аэробный биофильтр - это *азрируемый реактор для очистки сточных вод с помощью закрепленного на поверхности, как правило, инертного носителя микрофлоры.*

Типичный биофильтр представляет собой резервуар с двойным дном, заполненный инертным крупнозернистым фильтрующим материалом. Высота фильтрующего слоя составляет 1,5 - 2 м. Внизу фильтрующей загрузки располагают наиболее крупные частицы размером до 100 мм, сверху - более мелкие размером до 30 - 50 мм. Расстояние между днищами выдерживается не менее 0,4 м. При прохождении через фильтр сточной воды на поверхности частиц загрузки образуется биологическая пленка из скопленных простейших организмов (микрофлора), окисляющих и минерализующих органическое вещество.

Следует отметить, что конструкции и характеристики элементов загрузки во многом определяют эффективность аэрации, а значит и биологической очистки. Оригинальную конструкцию отдельного элемента загрузки предложили авторы работы [73]: увеличить площадь контакта между сточными водами и элементами загрузки можно, если выполнять последний в виде перфорированного короткого цилиндра с внутренней крестообразной перегородкой, закрученной в спираль, и эластичными ребрами на наружной поверхности кольца. Вид элемента представлен на рис. 2.21.

При движении сверху вниз или снизу вверх в корпусе биофильтра сточная вода обтекает цилиндрические кольца 1, эластичные ребра 2 и крестообразные перегородки 3, закрученные в спираль. Перфорация 4, выполненная на разных участках элемента, способствует равномерному обтеканию элемента.

Элемент изготавливают в различных вариантах, отличающихся перфорацией и местом ее выполнения.

Авторы из Великобритании [74] рекомендуют аэробный биофильтр, в котором высокая эффективность работы достигается за счет использования новейших составов для носителей микрофлоры из высокопористых керамических материалов с удельной поверхностью примерно в 25 раз большей, чем у обычно используемых пластмассовых элементов.

В патенте Германии [75] также предлагается биофильтр с носителем микрофлоры на мягких керамических элементах. Однако в этом случае используют носители с размером пор в 20 - 25 раз превышающим размер пор у распространенных пластмассовых элементов. Благодаря этому вво-

димый снизу воздух, проходя через поры, лучше аэрирует рабочее пространство биофильтра.

Иногда микрофлору закрепляют на полимерных сетках, жестко укрепленных в биофильтре [71], или на плавающей загрузке из легких пластмасс. Конструкция реактора с плавающей загрузкой существенно отличается от конструкций реакторов с фиксированной загрузкой. Она содержит набор перегородок снизу и сверху реактора, регулирующих перемещение осадка активного ила и локализацию плавающей загрузки.

### **Ошибка! Ошибка связи.**

Схема варианта 2 биофильтра с 1 плавающей загрузкой, пригодного для использования на локальных очистных сооружениях, приведена на рис. 2.22.

Биофил 3 работает следующим образом. Сточные воды по трубопроводу 11 подают в камеру аэрации 6. Здесь они перемешиваются аэратором 10 с мелкозернистой загрузкой, покрытой биопленкой и взвешенным активным илом. Перемешанная смесь 4 оседает через верхнюю перегородку 2 и поступает в камеру флокуляции 1, где при Рис. 2.21. Элемент для загрузки происходит укрупнение взвешенных частиц аэрирующей загрузки [73] и. Затем жидкость поступает в камеру 8, фильтруется через слой плавающей загрузки при восходящем движении потока. При прохождении потока под перегородкой 4 из камеры 7 в камеру 8 происходит гравитационное разделение частиц загрузки и хлопьев ила. Загрузка всплывает в камере 8, а ил оседает в осадочной части 12 и эрлифтом 13 возвращается в камеру аэрации. Профильтрованная вода проходит камеру 9 и отводится по трубе 16. Из верхней части камеры фильтрации загрузка через перегородку 3 переходит в камеру 9 и эрлифтом перекачивается в камеру аэрации. Избыток взвешенной биомассы задерживается в загрузке фильтра, оседает на частицах загрузки и отделяется от нее в камере 9, а затем отводится по трубе 15.

Важным для конструкции аэробного биофильтра являются способ и устройства для аэрирования. В большинстве биофильтров аэрирование осуществляется продувкой воздуха, разбрызгиванием очищаемой жидкости над прикрепленной микрофлорой, интенсивным перемешиванием сточной жидкости, периодическим погружением прикрепленной микрофлоры в сточную воду и другими способами.

В последнее время широкое распространение получили погружные дисковые (роторные) биофильтры. Конструктивно такие биофильтры выпол-

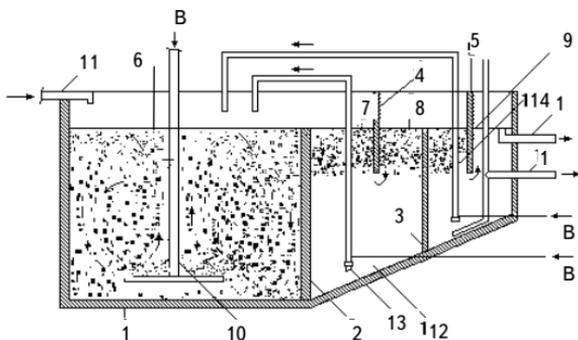


Рис. 2.22. Биофильтр с плавающей загрузкой [72]:

1 - корпус; 2, 3 - перегородки, доходящие до дна; 4, 5 - перегородки, не доходящие до дна; 6 - 9 - рабочие камеры; 10 - аэратор; 11 - трубопровод подачи сточных вод; 13 - 14 - эрлифты для перекачки ила и отбора и возврата загрузки соответственно; 15 - 16 - трубы для удаления избыточного активного ила и отвода очищенной воды.

нены в виде резервуара, заполняемого сточной жидкостью. Выше уровня жидкости располагается вал с насадкой на дисках. Расстояние между дисками составляет примерно 10 - 30 мм. Крупность засыпной загрузки 10 - 50 мм. При вращении вала поверхность дисков или барабана попеременно погружается в воду и выходит на воздух. Это создает оптимальные условия для жизнедеятельности микроорганизмов [68].

В России во ВНИИ ВОДГЕО разработаны компактные установки с роторным биодиском (КУРБ) производительностью 2, 12, 25, 140 и 250 м<sup>3</sup>/сут. Установки, по данным [76], обеспечивают полную биоочистку бытовых сточных вод до уровня загрязнения по БПК<sub>полн.</sub> и взвешенным веществам не более 15 - 20 мг/л.

Дисковые биофильтры изготавливаются в заводских условиях. Их не представляет труда смонтировать на месте. Поэтому, по мнению авторов [68], они удобны для применения в системах локальной очистки бытовых сточных вод.

Серьезным препятствием для использования биофильтров на малых очистных сооружениях (например, от отдельных домов) может служить то, что биофильтры, как правило, устанавливаются на некоторой глубине в земле. Однако при этом возникают ограничения, связанные не только с расположением грунтовых вод, но и главным образом с аэрацией и очисткой реакторов от избыточного активного ила.

Очистку сточных вод в биофильтре выполняет активный ил, который представляет собой биоценоз различных организмов, формирующийся в виде пленки на поверхности носителя. Микроорганизмы, питаясь загрязне-

ниями, переводят их в общую массу активного ила, который эпизодически удаляется из биофильтра.

Активный ил образуется из микроорганизмов, преобладающих в очищаемой воде. Его видовой состав и интенсивность прироста зависят от многих факторов, в том числе от состава поступающей на очистку воды, интенсивности аэрирования, удельной поверхности и характера загрузки, а также других условий водоочистки. По данным лабораторных исследований авторов работы [71], при доочистке низкоконцентрированных бытовых вод (БПК исходной воды 50 - 300 мг/л) в биоценозе биопленки при удельной площади загрузки 10 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> преобладали нитчатые бактерии и присутствовали *Aspidisca costata*, *Vorticella*, коловратки *Rotatorio*, *Cathepuna*. Увеличение удельной поверхности способствовало видовому перераспределению в сторону уменьшения нитчатых бактерий и увеличения числа коловраток. Это объясняется авторами изменением величины нагрузки органического вещества на единицу площади поверхности загрузки. Устойчивый биоценоз по данным авторов [71] появляется примерно через 1 - 1,5 месяца со дня запуска биофильтра.

Переработка органического вещества в биореакторе представляет собой многостадийный процесс. В простейшем случае всю гамму стадий можно свести к двум основным:

1. Разложения сложных органических молекул на более простые молекулы, углекислый газ и аммиак.

2. Нитрификации.

На первой стадии расщепление различных органических веществ микроорганизмами происходит под действием специфических катализаторов (ферментов), вырабатываемых различными микроорганизмами. Поэтому в биопленке живут разные виды организмов, перерабатывающие определенные классы соединений. Обычно продукты переработки веществ одними бактериями являются пищей для других бактерий. Например, аминокислоты - структурные основные элементы белков - разлагаются грибами, актиномицетами и бактериями аммонификаторами, такими как *Proteus vulgaris*, *Bacillus mycoides* и другими.

На второй стадии аммиак в процессе нитрификации окисляется до нитритов и нитратов. Выделяют две фазы нитрификации:

Фаза образования нитритов:  $2\text{NH}_4^+ + 3\text{O}_2 = 4\text{H}^+ + 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$ .

Типичный возбудитель этой фазы *Nitrosomonas europaea*.

Фаза образования нитратов:  $2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 = 2\text{NO}_3^-$ .

Возбудитель этого процесса *Nitrobacter winogradskyi*.

Следует отметить, что нитрификация начинается только после того, как основная масса органического вещества будет переработана. Поэтому появление бактерий нитрификаторов иногда служит индикатором окончания процесса биологической очистки.

Характерной особенностью биопленки является то, что наиболее активные организмы - аэробы находятся на ее внешней стороне, где достаточно кислорода. На стороне, обращенной к носителю, кислорода мало. Здесь преобладают анаэробные процессы, в которых могут принимать уча-

стие микроорганизмы - денитрификаторы и процессы отмирания организмов - аэробов, которые не получают кислород. Поэтому в состав активного ила входят живые и отмершие микроорганизмы. Отмершая пленка смывается током жидкости и переходит в состав осадка или взвешенного активного ила. Осадком питаются преимущественно черви. Более подробно характер протекающих в биореакторах процессов описан в [77 - 79].

Эффективность очистки в биофильтрах существенно зависит от времени обработки сточной воды. Обычно разработчики конструкций биофильтров приводят формулы для расчета времени обработки воды до заданной степени удаления примесей. Например, время (t) обработки низко концентрированных вод в биофильтре с прикрепленной микрофлорой авторы работы [71] рекомендуют рассчитывать по формуле:

$$t = \frac{L_0 - L_T}{OM f K_2 + \alpha (1 - s) \rho K_1},$$

где  $L_0$  и  $L_T$  - концентрация органического вещества по БПК<sub>полн.</sub> мг/л в исходной сточной воде и в очищенной воде; f - удельная площадь поверхности загрузки в объеме реактора ( $m^2/m^3$ );  $K_1$  и  $K_2$  - температурные поправки;  $\alpha$  - доза активного ила в реакторе; s - зольность активного ила в долях;  $\rho$  - удельная скорость окисления органического вещества активным илом, мг/ч, по БПК<sub>полн.</sub> на 1 г беззольного вещества активного ила.

Формула упрощается, если расчет выполнять для очистки только на загрузке, так как в этих условиях  $\alpha = 0$ . Тогда

$$t = \frac{L_0 - L_T}{OM f K_2}.$$

Следует отметить, что для аэрофильтров имеются ограничения по БПК подаваемых на очистку сточных вод. СНиП [12] рекомендуют согласовывать БПК<sub>полн.</sub> сточной воды с возможностями биореактора. Например, высоконагружаемые фильтры могут перерабатывать наиболее загрязненные органическим веществом стоки, т. е.:

| Характеристика фильтра    | БПК <sub>полн.</sub> , мг/л |
|---------------------------|-----------------------------|
| Высоконагружаемый         | меньше 300                  |
| С пластмассовой загрузкой | меньше 250                  |
| Капельный                 | меньше 220                  |

При больших БПК рекомендуется обязательно предусматривать рециркуляцию очищенных вод.

По данным, приведенным в [71], нами рассчитана эффективность очистки стоков в аэробном биофильтре с прикрепленной микрофлорой в течение 24 ч, %:

|                  |      |
|------------------|------|
| БПК              | 95,6 |
| ХПК              | 73,2 |
| $N_{\text{общ}}$ | -    |
| $NH_4^+$         | 95,5 |
| Фосфаты          | 69,2 |
| Колититр         | -    |

### 2.2.5.2. Аэротенки

Аэротенки - биореакторы для очистки сточных вод на свободном (незакрепленном на носителе) активном иле - представляют собой бетонный или железобетонный резервуар, разделенный перегородками на коридоры, оснащенные аэраторами для подачи воздуха, а иногда кислорода или озонозвоздушной смеси. На практике используют два основных типа аэротенков: аэротенк - вытеснитель и аэротенк - смеситель. В первом типе аэротенков сточную воду подают в начало аэротенка. В процессе обработки вода проходит вдоль реактора, постепенно вытесняет содержащуюся в нем уже обработанную жидкость и выходит в конце аэротенка. В аэротенке - смесителе загрязненная вода смешивается по всему объему с присутствующей там жидкостью. Ниже приведен рисунок аэротенка - вытеснителя, снабжаемого озонозвоздушной смесью (рис. 2.23).

Аэротенк представляет собой прямоугольный коридор, образованный боковыми стенками и дном. Коридор разделен на секции поперечными перегородками с прорезями внизу и сплошной продольной перегородкой,

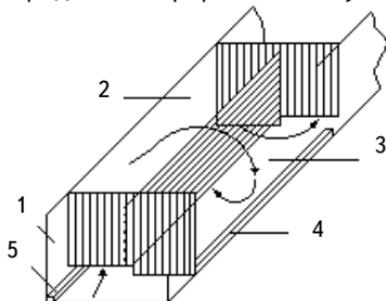


Рис. 2.23. Аэротенк - вытеснитель [80]:

1 - коридор; 2 - камера аэрации; 3 - камера озонирования; 4 - система подачи озонозвоздушной смеси; 5 - система пневматической аэрации.

примыкающей торцами к поперечным перегородкам. Вдоль коридора у дна размещены у одной боковой стены система пневматической аэрации активного ила 5, у противоположной боковой стены - система подачи озонозвоздушной смеси 4.

Аэротенк работает следующим образом. Иловая смесь по мере движения вдоль аэротенка через вырез в поперечной перегородке входит в ка-

меру аэрации 2, здесь с помощью системы пневматической аэрации она насыщается кислородом и на ее основе образуется эмульсия, которая движется вверх, переливаясь через верхнюю кромку продольной перегородки в камеру озонирования. В камере озонирования происходит обработка воды и активного ила озонем. Из камеры озонирования через раз-рез внизу второй поперечной перегородки иловая смесь и обработанная вода движутся к выходу. Дозирование подачи воздуха и озоноздушная смесь позволяет организовать несколько циклов аэрирование - озонирование - аэрирование.

Авторы работы [9] на основании анализа литературных данных считают, что для доочистки малых количеств бытовых сточных вод на Крайнем Севере единственно приемлемым будет метод удаления азота с использованием процессов нитрификации и денитрификации, реализованный в конструкции азротенка. Метод реализуется в азротенке - смесителе, представленном на рис. 2.24.

Особенностью представленного на рис. 2.24 азротенка является то, что он не требует дополнительного углеродного питания. Очищаемые сточные воды подают в неаэрируемую камеру - денитрификатор 2. Сюда же подводят нитрифицированный возвратный ил в объеме, превышающем объем сточных вод примерно в 3 - 4 раза. Смесь медленно перемешивают механической мешалкой и переводят в аэрационную камеру - нитрификатор 3, а затем во вторичный отстойник 4. Эффект очистки по азоту достигает 75 - 85%.

В отличие от биофильтров в азротенках микрофлора не закреплена на носителях и находится в составе активного ила, свободно перемещающегося при перемешивании. Это определяет состав и специфику развития активного ила в азротенках. Активный ил азротенков, в частности, хорошо коагулирует коллоидные и другие взвешенные частицы из сточной воды, включая их в свой состав.

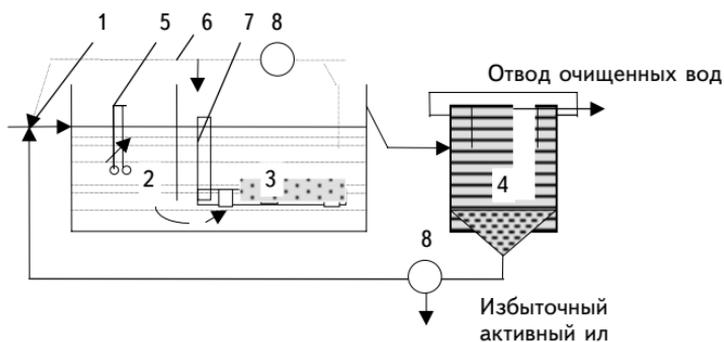


Рис. 2.24. Принципиальная схема двухкамерного азротенка, работающего в режиме нитрификации - денитрификации [9]:

1 - приток сточных вод; 2 - денитрификатор; 3 - азротенк - нитрификатор; 4 - вторичный отстойник; 5 - смеситель; 6 - возвратный ил; 7 - воздуховод; 8 - насос.

Различают следующие фазы развития активного ила:

1 - биосорбция органического вещества активным илом. Прирост массы активного ила.

2 - фаза логарифмического роста - биохимическое окисление легкоокисляемых органических веществ сточной жидкости с выделением энергии. Прирост массы ила идет наиболее интенсивно.

3 - фаза замедленного роста (стационарная фаза). Синтез клеточного вещества активного ила происходит при замедленной скорости роста. Масса ила остается сравнительно постоянной.

4 - фаза эндогенного дыхания. Отмирание или постепенное уменьшение массы активного ила. Органическое вещество клеток биомассы окисляется до конечных продуктов  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $NO_3$ .

5 - фаза глубокого самоокисления активного ила. Активный ил деградируется, подвергаясь нитрификации, денитрификации, минерализации.

Все фазы характеризуются определенным соотношением между количеством органического вещества и активного ила. Соотношение уменьшается при переходе к более высоким фазам. Этим обстоятельством обычно пользуются в технологии метода полного окисления (продленной аэрации). В этом случае обеспечивая низкие нагрузки на активный ил, выполняют процесс в фазе замедленного роста, прирост активного ила существенно снижается, что позволяет упростить удаление и обработку активного ила. Способ рекомендуется [9] для применения в очистных сооружениях малых населенных пунктов.

Авторы работы [9] отмечают следующие специфические свойства, присутствующие активному илу в стадии полного окисления: бедный видовой состав (всего 6 - 8 видов), малое общее количество микроорганизмов (7 - 8 тыс. в 1 мл), низкое потребление кислорода, меньшие значения окислительной способности и окислительно-восстановительного потенциала. Процесс сопровождается глубокой нитрификацией и минерализацией активного ила. Прирост активного ила снижается в 2 - 3 раза по сравнению с приростом активного ила, работающего в более высоких режимах нагрузок по органическому веществу.

Сточную воду и воздух подают в аэротенк непрерывно. Поэтому оптимизируют работу аэротенка, регулируя концентрацию активного ила, интенсивность аэрации и концентрацию органических веществ в очищаемой сточной воде. Очень часто эти характеристики подбирают экспериментально. На основании опытных данных, например, рекомендуют [81] не превышать содержание органического вещества перед аэротенком выше 1000 мг/л и поддерживать концентрацию активного ила равной примерно 3 г/л по сухому веществу.

Интенсивность аэрации регулируют в связи с необходимостью обеспечить требуемую концентрацию растворенного кислорода ( $C_p$ ) в аэротенке. Величина  $C_p$  в свою очередь зависит от гидродинамической обстановки, т. е. глубины аэротенка  $H$ , отношения ширины к глубине  $B/H$ , отношения площади аэраторов к площади дна, типа аэратора, продольной скорости течения воды в нем и других особенностей. Указанные гидродинамические

характеристики можно задавать, и поэтому интенсивность аэрации, связанную с  $C_p$ , можно рассчитывать, например, по формуле [81]:

$$I = \left( \frac{M H^{1/3}}{a b C_p n_1 n_2 d} \right)^{1/m},$$

где  $a$  - константа аэратора,  $b$ ,  $m$  - коэффициент и показатель степени, учитывающие роль гидродинамики в аэротенке в зависимости от соотношения между площадями аэратора и аэротенка,  $M$  - скорость переноса кислорода в реальных условиях,  $d$  - дефицит кислорода в воде, мг/л.

Представляет интерес выполненное японскими исследователями [82] сравнительное исследование эффективности различных систем очистки на основе биофильтров. Оказалось, что процесс обработки бытовых сточных вод свободным активным илом обеспечивает более высокую эффективность очистки по БПК, общему азоту и фосфору, чем при использовании биопленок. При этом периодическая аэрация дает наибольшую степень очистки по общему фосфору. При использовании биопленки наименьшая эффективность очистки имела место при применении в качестве загрузки дробленых камней. Это, по мнению авторов, не обеспечивало достаточное время пребывания сточной воды в биофильтре.

Анаэробный биофильтр (метантенк) - это биореактор для очистки сточной воды с помощью микроорганизмов-анаэробов, закрепленных на носителе - предназначен для переработки с помощью анаэробных бактерий высококонцентрированных сточных вод в режиме получения метана.

Конструктивно они отличаются от аэробных биофильтров повышенной герметичностью и тем, что снабжены узлами для отведения и накопления газа. Часто реакторы оборудованы теплообменником для предварительного прогрева сырья и поддержания биохимического процесса при температурах термофильного брожения (53 - 55°C).

Активную биомассу в метантенке обычно иммобилизуют на поверхности специально подобранного носителя. В некоторых метантенках в качестве загрузки - носителя прикрепленной микрофлоры - рекомендуют использовать растительные отходы. Например, в работе [83] описан способ анаэробного сбраживания органических отходов в реакторе, загруженном кукурузными початками. Авторы считают, что для анаэробного сбраживания стоков животноводческих ферм неорганическая загрузка неэффективна, поскольку вязкие и коллоидные структуры стоков способны забивать микро- и макропоры инертной загрузки, создавая неблагоприятные условия для жизнедеятельности микроорганизмов, образующих биопленку. Преимущества початков связаны с многослойностью и хорошей смачиваемостью их поверхности, а также наличием яиц.

Существуют два варианта метантенков - одно- и двухступенчатые.

Условия сбраживания в обычном одноступенчатом метантенке регулируются таким образом, чтобы они были оптимальными главным образом для медленно растущих метановых бактерий. В таком случае кислотообра-

зующие бактерии нарабатывают недостаточно продуктов, чтобы обеспечить интенсивную работу метанообразующих бактерий. Повышение нагрузки по органическому веществу приводит к интенсификации работы кислотообразующих бактерий и образованию значительно большего, чем это надо для деятельности метанообразующих бактерий, количества кислот. В результате происходит резкое снижение производительности работы одноступенчатого метантенка.

В двухступенчатом реакторе процессы кислото- и метанообразования разделены, благодаря культивированию разных видов бактерий в отдельных камерах. Поэтому для отделенных друг от друга кислото- и метаногенов создаются более благоприятные условия для интенсивной работы. Например, по данным [78] скорость процесса метанообразования в двухступенчатом реакторе возрастает в несколько раз.

### 2.2.5.3. Биосорберы

Биосорберы - это гибридные (комбинированные) устройства для очистки сточных вод, сочетающие в одной конструкции узлы биологической и физико-химической обработки воды.

Биологическая очистка может выполняться как в аэробном, так и в анаэробном режимах. Среди физико-химических процессов чаще всего используются сорбция, фильтрование, отстаивание и др. Конструкция биосорбера позволяет быстро насыщать реакционную смесь кислородом и обеспечивает устойчивость загрузки и водораспределительных систем против коагуляции и засорения биомассой или взвешенными веществами сточных вод. В литературе описаны биосорберы для доочистки природных и сточных вод, а также для очистки высококонцентрированных бытовых сточных вод.

В настоящее время имеются две группы биосорберов для очистки:

- природных и доочистки сточных вод;
- концентрированных сточных вод.

Биосорберы первой группы разработаны сравнительно недавно во ВНИИ ВОДГЕО [84] на основе сочетания биологических и сорбционных процессов. Установки могут быть использованы для ускоренной доочистки больших объемов (от 25 до 10000 м<sup>3</sup>/сут) биологически очищенных городских сточных вод. Согласно [84] биосорберы с активированным углем обеспечивают глубокое удаление любых органических веществ (в том числе и небiorазлагаемых) до показателей, не достижимых в известных биологических методах очистки.

Биосорбционный процесс доочистки осуществляется в двухслойном реакторе в зонах псевдооживленного слоя и слоя гранулированной фильтрующей загрузки (активированный уголь). Загрузка может использоваться многократно без регенерации. Принципиальная схема биосорбера для доочистки сточных вод показана на рис. 2.25.

Разделение загрузки материала на плотный и псевдооживленный слои осуществляется гидравлически в динамических условиях при соответствующей организации подачи, распределения и сбора воды. Псевдоожив-

жение начинается при скорости восходящего потока жидкости 5 - 6 м/ч, а устойчивый псевдооживленный слой образуется при скорости 35 - 40 м/ч и степени расширения загрузочного материала 30 - 40%.

Наибольшая масса растворенных органических веществ окисляется в псевдооживленном слое активированного угля в аэробных и анаэробных условиях. Доокисление органического вещества и удаление взвешенных частиц происходит в плотном слое угля при фильтровании жидкости в восходящем или нисходящем потоке.

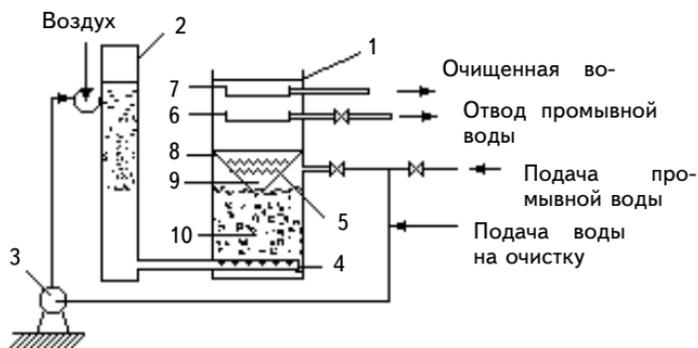


Рис. 2.25. Принципиальная схема биосорбера [84]:

1 - биосорбер; 2 - аэрационная камера; 3 - насос; 4 - водораспределительное устройство; 5 - водосборное устройство; 6 - лоток отвода промывной воды; 7 - лоток отвода очищенной воды; 8 - коническое устройство; 9 - плотный фильтрующий слой; 10 - псевдооживленный слой угля.

Биосорберы второй группы, предназначенные для очистки высококонцентрированных бытовых сточных вод, разработаны Нижегородской государственной архитектурно-строительной академией [85]. В этих устройствах объединены процессы биохимического окисления органического вещества до биогаза и процессы двухступенчатого отстаивания, фильтрования, стабилизации ила.

В основе очистки сточных вод биосорберами лежит биоокисление примесей в воде микроорганизмами, иммобилизованными на поверхности частиц загрузки. Опыты показали, что эффективная очистка происходит в том случае, если материал загрузки обладает хорошими адсорбционными свойствами. Поэтому разработчики биосорбера для доочистки сточных вод рекомендуют применять загрузку из гранулированного активированного угля.

По мере накопления в фильтрующем слое взвешенных веществ автоматически проводится его гидродинамическая промывка. Биоразлагаемые примеси окисляются в биопленке по механизму, качественно аналогичному окислению в свободном объеме или на инертных носителях. Биорезистентные компоненты окисляются за счет того, что при их адсорбции на частиц-

ках загрузки они под действием ферментов иммобилизованных микроорганизмов переходят в биоразлагаемую форму.

Данные по эффективности работы рассмотренных типов биосорберов приведены в табл. 2.8.

Следует отметить, что использование биосорберов для децентрализованной очистки сточных вод от бытовых объектов с небольшим расходом воды (меньше 25 м<sup>3</sup>/сут) пока представляется проблематичным, поскольку:

- связано с высокими капитальными и эксплуатационными затратами;
- для размещения установки требуется отдельное помещение;
- рекомендуемые [84] объемы очищаемой в биосорбере воды превышают 25 м<sup>3</sup>/сут;

в качестве рабочего материала используют дорогой активный уголь.

#### 2.2.5.4. Анализ основных показателей биореакторов, специализированных для очистки стоков от индивидуального дома

Существует огромный выбор конструкций биореакторов, ориентированных на работу в индивидуальном доме (см. [70], а также список литературы в приложении). Конструкции биореакторов отличаются способом аэрации и транспорта очищаемой воды внутри реактора, конфигурацией и размещением внутри общего модуля отдельных узлов. Эти различия влияют главным образом на производительность работы установки и гораздо в меньшей степени на качество очистки, поскольку в большинстве реакторов заложены одни и те же базовые микробиологические процессы, а собственно очистка выполняется до начала стадии нитрификации.

Т а б л и ц а 2.8

#### Эффективность работы биосорберов

| Показатель | Исходная вода | Очищенная вода | Удаление, % |
|------------|---------------|----------------|-------------|
|------------|---------------|----------------|-------------|

#### Биосорбер ВНИИ ВОДГЕО [84]

|                                      |                             |  |         |
|--------------------------------------|-----------------------------|--|---------|
| ХПК, мг/л                            | После биологической очистки | -                                      | 40 - 50 |
| БПК <sub>полн</sub> , мг/л           | то же                       | 2 - 3                                  | -       |
| Взвешенное вещество, мг/л            | то же                       | 2 - 3                                  | -       |
| Нефтепродукты, СПАВ, NH <sub>4</sub> | то же                       | До нормативов воды рыбохоз. назначения | -       |

#### Биосорбер НАСА [85]

|                           |             |           |         |
|---------------------------|-------------|-----------|---------|
| ХПК, мг/л                 | 200 - 35000 | 50 - 1500 | 75 - 95 |
| БПК, мг/л                 | -           | 3 - 300   | -       |
| Взвешенное вещество, мг/л | 500 - 2500  | 5 - 40    | 98 - 99 |

*Строго говоря, биореактор служит для разрушения сложных макромолекул органических веществ до более простых молекул органических и неорганических веществ под действием микрофлоры, составляющей активный ил. Поэтому удаление примесей из воды связывается с наработкой и удалением микрофлоры.*

Качество обработки сточных вод для основной массы биореакторов примерно одинаково, если перерабатываются одинаковые по составу воды. Качество водообработки в биореакторе зависит прежде всего от однородности состава перерабатываемой воды и отсутствия в ней моющих средств. Последние, как показано нашими исследованиями, губительно действуют на микрофлору, угнетая ее или уничтожая вовсе (эффект зависит от концентрации и вида применяемых СПАВ).

Лучшие показатели у биореактора могут быть достигнуты только при обработке однородных по составу бытовых стоков, не содержащих моющих средств. Стабилизация состава исходных стоков достигается подачей их из усреднителя или септика.

В табл. 2.9 приведены сравнительные данные по эффективности очистки сточных вод при помощи биореактора Майнакского завода конструкции ВНИИ инженерного оборудования (Москва) с носителем микрофлоры на полимерной сетке и распространенных фильтров для децентрализованной очистки. БПК исходной воды для биореактора около 40 мг/л [71] для песчаного и почвенно-растительного фильтров соответствует БПК серых вод в септике [25].

Сравнение основных показателей биореакторов и устройств для естественной очистки сточных вод от индивидуального дома, по нашему мнению, не дает особых преимуществ биореакторам. Действительно:

- Использование только биореактора для автономной очистки сточных вод бессмысленно - необходимы устройства предочистки и доочистки.
- 

Т а б л и ц а 2.9

Эффективность очистки с помощью биореакторов и фильтров

| Оборудование для очистки воды | БПК <sub>полн.</sub> , мг/л очищенной воды | Фосфаты |
|-------------------------------|--|---------|
| Биореактор                    | 95,6                                       | 69,2    |
| Песчаный                      | 97   | —       |
| Песчано-растительный          | 95   | > 89    |

- Основным преимуществом биореактора перед фильтрами естественной очистки (почвенно-растительным и др.) являются малые габариты. Однако ввиду того, что в оптимальном варианте воду в реактор следует подавать из септика или фильтра-усреднителя, также имеющих немалые размеры, это преимущество представляется сомнительным.

- Сооружение и эксплуатация биореактора обходятся гораздо дороже. Особенно дорого создавать биореактор для очистки только сточных вод из

кухни, поскольку удельный объем последних в общей массе стоков невелик.

- Биореактор не снимает проблему утилизации очищенных вод. Качество воды по показателям, связанным с органическим веществом, например БПК, в биореакторе не лучше, чем в обычном песчаном фильтре тех же размеров и хуже по неорганической составляющей, например по азоту, фосфору, металлам и др. (см. табл. 2.9). При эксплуатации любого биореактора в условиях индивидуального дома невозможно проконтролировать наличие сбоев в работе. Сбои в работе песчаных фильтров маловероятны.

- Биореактор не допускает прекращения подачи энергии или воды, т. е. требует непрерывного обслуживания.

*Биореактор индивидуального пользования оправдано использовать лишь для тех ситуаций, когда нельзя воспользоваться естественными устройствами очистки.*

#### 2.2.6. Устройства для переработки твердых отходов и осадков, образующихся при очистке бытовых стоков

*Компостер* разработан недавно в Германии [98]. Он предназначен для выделения и компостирования осадков из сточных вод небольших поселков. Конструктивно его можно представить в виде разделенной на отделения емкости. Стенки и дно компостера делают проницаемыми для оттекающей жидкости. Стоки подают сверху. Сюда же раз или два в месяц вводят для создания оптимальных условий компостирования древесную щепу или солому. Заполнение и выгрузку содержимого из разных отделений компостера выполняют поочередно. Это позволяет использовать компостер непрерывно в течение длительного времени. Срок созревания компоста составляет примерно 2 года. С учетом этого срока и желаемой производительности очистных сооружений задают размеры отделений компостера.

Следует отметить, что к настоящему времени известны лишь единичные опытные образцы компостеров. Поэтому технология компостирования отходов в них до конца еще не отлажена.

*Биотуалет.* Прототипом биотуалета являются выгреб [2, 20, 99], упоминавшиеся в предыдущем разделе. В выгребах собираются черные стоки от жилого дома. Содержимое выгребов эпизодически опорожняется с помощью ассенизаторской машины.

В результате совершенствования систем местной канализации было предложено различные типы стоков не объединять, а напротив очищать и утилизировать отдельно. В такой схеме биотуалет оказывается одной из составных частей общей системы очистки стоков от жилого дома. Различают два основных типа биотуалетов: водный и сухой.

Примером биотуалета водного типа является перегниватель [99]. Основная часть перегнивателя - бетонный цилиндрический резервуар, заглубленный в грунт под унитазом. Для семьи из четырех, пяти человек резервуар делают объемом около 1 м<sup>3</sup>. По принципу работы перегниватель напоминает септик, в который нечистоты поступают из унитаза. Унитаз промывается небольшим количеством воды, примерно равным 0,6 - 1,1 л.

Необходимый уровень воды в резервуаре поддерживается за счет поступления водных стоков из унитаза и умывальника. Избыток отстоявшейся в резервуаре жидкости вместе с растворенными органическими и минеральными веществами отводится по выпускной трубе к месту подземной фильтрации. Безусловным преимуществом перегнивателя является непрерывный отвод в грунт части вещества из приемного резервуара перегнивателя, что несколько пролонгирует периоды между чистками перегнивателя.

Однако серьезные трудности в эксплуатации перегнивателя и других водных биотуалетов связаны с агрессивностью водной среды и сложностями с организацией вентиляции. Для обеспечения устойчивого удаления воздуха из подобных систем предложено много решений, одно из них [20]: для усиления вентиляции в зимнее время подогревать воздух вентиляционного стояка с помощью электрической лампочки. В работе [100] рекомендуют вытягивать воздух из стульчака при помощи обогреваемых вытяжных каналов, согласованных с дымоходом печного отопления. Проблема вентиляции биотуалета существенно упрощается, если пользоваться земляным клозетом или пудр-клозетом [100]. Сущность действия земляных клозетов состоит в посыпании экскрементов сухой мелкой землей. В результате этого исчезает запах, а полученная смесь через некоторое время превращается в хороший компост.

Простейшая форма земляного клозета представляет собой яму или подвижный сосуд, дно которого покрывают слоем земли. Невдалеке устанавливают ящик с землей, которой время от времени посыпают экскременты либо вручную, либо автоматически при помощи простейших устройств. Известны варианты сухого биотуалета без добавления земли.

В России выпускают серийно биотуалет, представляющий собой металлический ящик с двумя камерами, где с помощью электричества происходит биоразложение и пастеризация содержимого [37]. Периодически примерно раз в 3 - 4 месяца осадок удаляют. Авторы работы справедливо отмечают, что ни описанный выше вариант сухого биотуалета, ни распространенные сегодня примитивные системы туалетов типа: люфт-клозет, пудр-клозет или дворные уборные с выгребом не обеспечивают санитарно-гигиенические условия и вызывают дополнительные эксплуатационные расходы.

Заслуживает внимания вариант биотуалета, разработанный АОЗТ "Экодом" (Новосибирск). Краткое описание его приводится в работе [101]. Биотуалет разработан по прототипу безводного биотуалета Klivus Multrum, имеющего сертификат Шведской академии наук и эксплуатируемого с 1937 г. в странах Западной Европы. Он представляет собой наклонный контейнер размером 3×1,2×2,9 м с входящими в него вертикальными стояками для унитазов и мусоропроводов и вентиляционной трубой. Органические отходы из унитаза и кухни подают по стоякам на верхнюю часть наклонного дна контейнера, покрытого слоем грунта, где они перерабатываются в компост в результате микробиологических процессов, протекающих с выделением тепла. Необходимые условия и длительность переработки отходов обеспечиваются перемещением накапливаемой в контейнере массы под действием силы тяжести за счет наклона контейнера в зону выемки готово-

го компоста, аэрацией массы и регулированием отдельного поступления отходов из санузлов и из кухни с помощью перегородок в контейнере.

Аэрация массы и вентиляция системы осуществляется через вентиляционную трубу с выходом над крышей дома за счет естественной тяги, создаваемой нагретым биомассой воздухом. Более холодный воздух для аэрации всасывается через отверстия в туалете и мусоропроводе. Постоянно действующая тяга исключает запахи в доме. Сухое почвообразное вещество - компост (гумус) - удаляется из контейнера раз в 1 - 2 года и используется для удобрения почвы.

Таким образом достигается замкнутый цикл утилизации отходов, при котором не только отсутствует загрязнение окружающей среды, но и улучшается ее состояние. Биотуалет не требует смывной воды. Загрязнение исключается расширяющейся книзу формой унитаза, переходящего в широкую вертикальную трубу с гладкими стенками. Допускается промывка унитаза с использованием небольших количеств воды и не токсичных для человека и микроорганизмов моющих веществ. Исключается использование стиральных порошков.

Все процессы в биотуалете протекают автономно и не требуют подвода дополнительной энергии. Размеры контейнера позволяют накапливать и перерабатывать отходы от семьи из 4 - 6 человек.

Последний вариант сухого биотуалета наиболее привлекателен с точки зрения концепции экодому. Он не требует дополнительной энергии и воды, соответствует принципам энерго- и ресурсосбережения, а полученный в нем продукт легко утилизируется в качестве удобрения в теплице и на приусадебном участке, обеспечивая безотходный круговорот продуктов питания в цикле: выращивание растений - питание - переработка отходов.

В США [102] запатентована автономная система очистки стоков после промывки туалетов. Сточная вода направляется в многоступенчатую установку, включающую анаэробный многослойный фильтр, контактный аэратор, осадительную секцию для удаления взвешенного вещества и узел регулирования pH с угольной адсорбционной колонкой. Очищенная вода пригодна для повторного использования в технических целях.

Определенный интерес представляет запатентованная в США установка для обработки фекальных стоков от небольшого здания [103]. Установка позволяет выделять и доразлагать на биологических фильтрах твердые частицы, а осветленную воду использовать повторно.

### **2.3. Устройства для физико-химической обработки сточных вод**

Устройства для физико-химической обработки применяются, прежде всего, для обеззараживания очищенных вод или интенсификации основных процессов очистки.

На очистных сооружениях малой мощности наиболее часто применяются устройства для обработки воды в электрическом [86 - 88], несколько реже магнитном поле [89], а также УФ-излучением [90].

*Электрохимическая обработка.* Электрохимическую обработку воды рекомендуют применять для обеззараживания воды в электрическом поле, корректировки pH и  $e_h$ , получения кислорода и хлора, используемых в основных процессах [87, 88]. Электрохимическое корректирование pH и  $e_h$  выполняется в электролизерах с электродами, разделенными диафрагмой. В результате электролиза изменяются различные физико-химические характеристики воды. Это, по мнению авторов работы [88], обеспечивает ее биологическую "активность" и расширяет возможности вторичного применения воды после электрохимической обработки. Такая вода, в частности, обладает лучшими обезжиривающими и моющими свойствами.

Для использования в системах водооборота индивидуальных жилых домов как наиболее приемлемую выделяют технологию хлорирования соединениями хлора, получаемыми в результате электролиза хлорсодержащих вод. Применяют два варианта:

- электролиз в установках с разделенными диафрагмой анодным и катодным пространствами;
- электролиз в установках без диафрагмы.

Второй вариант считается более энергоемким, но он проще в аппаратном оформлении. Сущность метода заключается в хлорировании пресной воды за счет разряда на нерастворимом аноде примесей хлорид-ионов, присутствующих в воде. Метод позволяет строго дозировать количество выделяемого активного хлора, сочетая регулирование силы тока и скорость протекания очищаемой воды через электролизер. При этом воздействие электрического поля на микрофлору усиливает дезинфицирующее действие хлора.

К основным недостаткам методов электрохимической обработки бытовых сточных вод следует отнести: сложные конструкции электролизеров, отсутствие доступных малоизнашиваемых анодов, лимит дешевой электроэнергии.

*Обработка УФ-излучением<sup>1</sup>.* В последнее время появилось немало работ, например, [90 - 91], посвященных одновременной обработке сточных вод ультрафиолетовым облучением и озоном. Наиболее эффективными признаются те конструкции, в которых лампа - источник УФ-излучения погружена в обрабатываемую жидкость. Например, в работе [90] описано устройство, общий вид которого показан на рис. 2.26.

Воду подают в зазор между корпусом и источником УФ-излучения и затем отводят через патрубок, расположенный в нижней части корпуса установки. Лампу изолируют от прямого контакта с водой с помощью квар-

---

<sup>1</sup> УФ-излучение - невидимое глазом электромагнитное излучение, находящееся в области спектра от 400 до 10 нм. В водообработке используется главным образом излучение, соответствующее спектральной области 240 - 280 нм.

цевого кожуха, покрытого полиэтиленовой пленкой, чтобы предупредить образование непрозрачных отложений.

Устройство рекомендуется применять для обеззараживания предварительно очищенных вод [92].

Имеются также конструкции устройств, в которых выполняется одновременная обработка сточной воды озоном и УФ-излучением с длиной волны равной 253 нм [93]. Схема одного из таких устройств приведена на рис. 2.27.

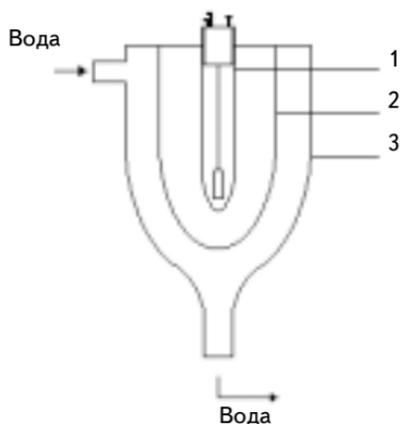


Рис. 2.26. Устройство для обработки воды ультрафиолетовым излучением [90]:

1 - лампа УФ-излучения; 2 - изолирующий кожух; 3 - корпус реактора.

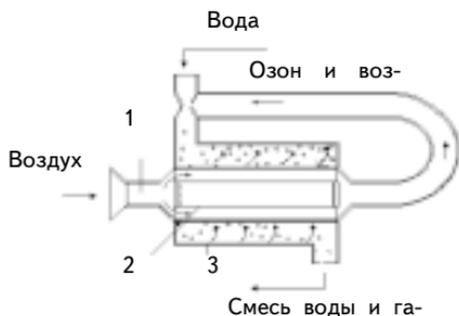


Рис. 2.27. Устройство для обработки сточной воды УФ-излучением в присутствии озона [91]:

1 - полость для прокачки воздуха; 2 - лампа УФ-излучения; 3 - реакционная полость.

Устройство работает следующим образом: через полость 1 вблизи лампы 2 прокачивают предварительно осушенный воздух. В нем под действием УФ-излучения с длиной волны около 260 нм образуется озон. Озон - воздушная смесь в дальнейшем поступает в соседнюю полость - реактор 3, изготовленную из проницаемого для УФ-излучения материала. Сюда же

направляется и обрабатываемая вода. В полости - реакторе ультрафиолетовое излучение и озон - воздушная смесь взаимодействуют с органическими примесями, микроорганизмами и другими загрязнителями воды. Регулируя подачу воздуха и очищаемой воды оптимизируют время этого взаимодействия, а значит и эффект обработки воды в целом.

Это устройство, по мнению автора, по стоимости и эффективности водообработки вполне пригодно для использования в домашних условиях, например, для обеззараживания воды перед выпуском ее в бассейн.

УФ-излучение используется на последнем этапе обработки сточных вод как для обеззараживания очищенных вод, так и для разрушения остаточных органических веществ. Оно оказывает на микроорганизмы губительное и мутагенное действие. По чувствительности к УФ-излучению микроорганизмы сильно различаются. Эффект действия излучения существенно зависит от многих факторов, определяющими из которых являются физиологическое состояние микроорганизмов и условия их обитания.

Наиболее эффективно разрушение органического вещества под действием УФ-излучения происходит в присутствии сенсibilизаторов - веществ, усиливающих действие фотохимических реакций.

В табл. 2.10 приведены условия обработки сточных вод, содержащих органические вещества, УФ-излучением в присутствии сенсibilизатора.

Согласно [94] в результате озонирования и УФ-облучения получают 1,6-, 3,6- и 4,5- бенз(а)-пирены и др. Биологические свойства продуктов трансформации бенз(а)пирена, образующихся при воздействии различных химических физических и биологических факторов изучены недостаточно.

На основании результатов опытов с мышами А.П. Игольницкий и соавт. [94] заключают, что продукты трансформации канцерогенных ПАВ, образующихся при хлорировании и озонировании питьевых и сточных вод не обладают способностью вызывать злокачественные новообразования у

Т а б л и ц а 2.10

Условия обработки УФ-излучением вод, содержащих органические вещества [90]

| Рабочий диапазон волн, нм | Сенсibilизатор   | Разлагаемые вещества  | Условия применения, эффект                         |
|---------------------------|--|---|--|
| 230 - 570                 | ZnO  | Ксантогенаты, хлорированная вода, нефтепродукты, сосновые масла | Аппарат лоткового типа; слой 2 - 3 см              |
| 313 - 315                 | -  | Нефтяные пленки в присутствии O <sub>2</sub>                    | -  |
| 200 - 370                 | Эозин  | Фенол в присутствии O <sub>2</sub>                              | pH 6,5   |
| 240                       | Метиленовый голубой (4 мг/л) или бенгальский розовый (10 мг/л) | Биологически очищенные воды (ХПК 376 мг/л, колититр 5200)       | Полная дезинфекция за 30 - 60 мин                  |
| 222 - 300                 | -  | Стоки после азротенков, ХПК 25 - 40 мгО/л                       | Снижение содержания общего углерода с 10 до 4 мг/л |

теплокровных животных и по всей вероятности могут рассматриваться как безопасные для человека. Поэтому они считают, что "...при очистке питьевых и в особенности сточных вод, содержащих канцерогенные п-нитрозосоединения, предпочтение следует отдавать озонированию, несмотря на более высокие эксплуатационные расходы", поскольку применяемые в настоящее время методы улучшения качества воды на водопроводных станциях не обеспечивают надлежащей степени обеззараживания от канцерогенных веществ. В отношении озонирования вод имеются и более осторожные суждения. Например, в работе [95] указывается, что применение одного озонирования недостаточно для надежного обеззараживания воды, ввиду слишком малого периода его действия в проточных установках. Кроме того, есть предположение, что озон с некоторыми компонентами сточных вод способен образовывать устойчивые канцерогенные перекисные соединения.

Среди ПАВ наиболее устойчив к действию УФ-облучения бенз(а)пирен. Тем не менее, удастся найти условия, при которых УФ-облучение эффективно его разрушает. Это подтверждают результаты исследований, выполненных с лампой ПРК-4 с интегральным спектром 257, 270, 280, 300 и 400 нм. При воздействии в течение не менее 30 мин для низких исходных концентраций получены следующие результаты [94]:

при концентрации бенз(а)пирена 0,04 мкг/л разрушается 92% этого вещества, при 0,44 мкг/л - 74%.

Следует отметить, что в литературе [96, 97] обсуждается главным образом применение озона для подготовки питьевых вод. Сравнительно немного работ посвящено озонированию сточных вод. По-видимому, причиной этому является высокая стоимость генераторов озона и недостаточность исследований, связанных с изучением экологических последствий обработки сточных вод озоном.

## **2.4. Химическая обработка сточных вод**

Химическую обработку сточных вод выполняют главным образом с целью: обеззараживания уже очищенных сточных вод;

повышения эффективности работы очистных сооружений и для доочистки;

очистки воды, содержащей нефтепродукты.

Сравнительно новой областью применения химикатов в водоочистке является их использование для обработки активного ила с целью борьбы с нитчатыми бактериями.

Для обеззараживания обычно используют хлор и хлорпроизводные вещества, озон и некоторые другие химикаты. Методы химического обеззараживания постоянно совершенствуются и по ним имеется обширная литература, в том числе и обзорная, например, [104]. Поэтому здесь эти методы не рассматриваются.

Сравнительно немного информации о применении химикатов для децентрализованной очистки бытовых сточных вод. Особенно полезным считается применение химикатов в периоды пиковых нагрузок на очистные сооружения. Эти реагенты коагулируют примеси из сточной воды или способствуют их коагуляции и осаждению.

Для использования на небольших очистных сооружениях фирма "Аллайд Коллоидс" (Гамбург) [105] рекомендует использовать химические реагенты, описанные в табл. 2.11.

Расход реагентов и их эффективность зависят главным образом от типа хозяйственно-бытовых стоков и концентрации в них примесей. Кроме того дозы и тип флокулянта зависят от состава и количества первичного коагулянта. Обычная доза составляет 0,5 - 2,0 мг/л.

Было показано, например, что введение 0,5 - 2 мг/л продукта ЗЕТАГ повышает седиментацию на 40%. В случае доочистки особенно с помощью песчаных фильтров достаточна доза продукта ЗЕТАГ равная 0,2 мг/л.

Перспективной представляется очистка сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, с помощью сорбентов. К числу таких вод можно отнести промывные воды автомоечных станций. Для потребителей Сибирского региона и, возможно, России определен интерес для использования на автомойках может представлять сорбент "Гуминол" [106]. Это многокомпонентное природное образование на основе торфа и сапропеля в количестве 95 - 99,5 вес. % и модификатора на основе солей гуминовых кислот. При взаимодействии сорбента с нефтепродуктами и другими органическими загрязнениями образуется хлопьевидное, плавающее по поверхности жидкости вещество, которое можно легко собрать традиционными методами.

Т а б л и ц а 2.11

Химические реагенты фирмы "Аллайд Коллоидс",  
применяемые в водоочистке

| Реагент    | Характеристика   | Назначение   |
|------------|--|--|
| ЗЕТАГ      | Катионный флокулянт, твердое вещество (или жидкая дисперсия) | Способствует седиментации, аэрации, фильтрации                   |
| ОРГАНОСОРБ | Коагулянт  | Способствует седиментации, сочетают с флокулянтами типа ЗЕТАГ    |
| МАГНАФЛОК  | Анионные флокулянты, твердые вещества (или жидкие дисперсии) | Сочетают с ОРГАНОСОРБ или коагуляторами на основе солей металлов |
| МАГНАСОЛ   | Смесь коагулянтов и флокулянтов. Таблетки, гранулы, жидкости | Вызывает коагуляцию  |

Производство Гуминола отлажено в Новосибирской области из имеющихся здесь месторождений торфа и сапропеля. Разработчики утверждают, что концентраты загрязнений с этим сорбентом хорошо брикетируются и пригодны для использования в качестве топлива.

## 2.5. Гидроизоляционные материалы

Проблема гидроизоляции является важнейшей при строительстве водоочистных сооружений вообще и центральной при сооружении любых водоемов. Гидроизоляция служит, с одной стороны, для защиты конструкций сооружений от действия грунтовых и технологических вод, а с другой - для герметизации узлов, содержащих воду. В настоящее время имеется обширный набор материалов, используемых для гидроизоляции. Среди них, в соответствии с назначением гидроизоляции, различают антифильтрационные, антикоррозионные и герметизирующие материалы.

Основные технические характеристики наиболее распространенных изолирующих материалов приведены в табл. 2.12 и 2.13, составленных по данным работы [107] и рекламным материалам Сибирской торговой ярмарки [108 - 110].

Из приведенных в табл. 2.12 материалов наиболее дорогим является металл, а наиболее дешевым - глина. Последнюю часто используют в качестве простейшей гидроизоляции открытых водоемов на малофильтрующих грунтах. Для этого глину рассыпают по дну сооружения ровным слоем и дополнительно утрамбовывают. Иногда сверху глину покрывают слоем механически более прочного материала, например, щебнем. Вместе с тем качество гидроизоляции из глины не позволяет рекомендовать ее к использованию на хорошо фильтрующих грунтах.

Т а б л и ц а 2.12

Характеристики материалов для гидроизоляции

| Материал | Основной состав                               | Природа разрушения        | Срок эксплуатации                                  | Водопроницаемость                      |
|----------|---|---------------------------|--|--|
| Асфальты | Битумы + минеральные наполнители              | Температурное воздействие | Определяется внешним воздействием                  | Отсутствует                            |
| Цемент   | Гидросиликаты, гидрооксиды, алюминаты кальция | Коррозия                  | Ограничен. Определяется свойствами среды и цемента | Определяется характеристиками покрытия |
| Бетон    | Гравий + вяжущие соединения*                  | То же                     | Определяется свойствами среды и бетона             | Определяется характеристиками бетона   |
| Металл   | Обычно сталь                                  | То же                     | Определяется свойствами среды и металла            | Отсутствует                            |

|                   |                        |  |  |                                 |
|-------------------|------------------------|--|--|---------------------------------|
| Полимеры          | Синтетические полимеры | Структурное старение                         | Определяется качеством полимера, температурным режимом | Определяется качеством полимера |
| Глина             | Двуокись кремния       | Механическое и гидродинамическое воздействие | Ограничен  | Слабая                          |
| Бентонитовый гель | Бентонит + вода        | Механическое воздействие                     | Неограничен  | Отсутствует                     |

\* Различают бетоны, содержащие в качестве вяжущего вещества цемент и реактивные смолы (полиэфир, эпоксидная смола). Бетоны на реактивных смолах имеют наиболее высокие антикоррозийные и механические характеристики, но стоят чрезвычайно дорого. Поэтому для использования в индивидуальном строительстве они не рекомендуются. Ниже будет идти речь только о бетонах с цементом.

К сравнительно недорогим гидроизоляционным материалам относятся асфальты. Они используются в виде нефтяных битумов с добавками минеральных наполнителей, в том числе песка и гравия. Промышленность изготавливает жидкие и твердые битумы. Нередко битумы модифицируют с помощью полимеров (например, латекса), придавая им нужную пластичность. Для гидроизоляционной обмазки обычно применяют полутвердые битумно-полимерные композиции. Чаще всего асфальты используют для гидроизоляции конструкций сооружений от почвенной или грунтовой влаги.

Т а б л и ц а 2.13

Составы и характеристики защитных покрытий для бетонов [108 - 109]

| Состав | Название/фирма | Характеристика | Назначение |
|--------|----------------|----------------|------------|
|--------|----------------|----------------|------------|

### Полимерная основа

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| Пенополиуретановая преполимерная жидкость | Кат (Cut), Флекс LV (Flex LV)<br>Эластик (Elastic) | Образует герметичный слой, устойчивый к действию химикатов и микроорганизмов* | Заполнение пустот, пор в гравии, швов, устранение инфильтрации |
|   | Мультигель/De Neef Construction Chemicals          | Раствор гелевого типа образует гибкую прокладку                               | Стабилизация грунта. Сантехнические работы                     |
| Полиакрилат                               | Вандекс CRS - краска/Vandex Ltd                    | Устойчив к действию щелочей   | Краска многоцелевого назначения                                |

### Основа - портланд - цемент + полимеры

|               |                         |  |                      |
|---------------|-------------------------|--|----------------------|
| + полиакрилат | Вандекс CRS /Vandex Ltd | Высокощелочной. Хорошая адгезия к металлу и бетону | Защита стали, бетона |
|---------------|-------------------------|--|----------------------|

## Основа портланд - цемент + активные добавки

|                   |   |   |  |
|-------------------|---|---|--|
| + кварцевый песок | Вандекс - супер /Vandex Ltd.                                      |   |  |
| + глинозем        | Торосил (Toro-seal)<br>Торосил АЕК 200**<br>Торосил SPM/Toro N.V. | Со смесью с Акрил 60 и водой образует плотный гидроизолирующий слой | Гидроизоляция санузлов, резервуаров для воды |

\* При взаимодействии с водой жидкость увеличивается в объеме (Кат в 13 - 15 раз, образуя жесткую структуру; Флекс LV - в 5 - 7 раз, образуя эластичную структуру). Составы нетоксичны и соответствуют стандартам питьевой воды.

\*\* Морозостоек, устойчив к действию хлоридов и сульфатов.

Широкое распространение для гидроизоляции получили бетон и железобетон. Эти материалы наряду с доступной стоимостью обладают прекрасными механическими свойствами, что делает их исключительно подходящим для индивидуального строительства. Недостатком бетонной гидроизоляции является подверженность бетона водной коррозии. Следствием коррозии может быть появление в бетоне коррозионных ходов и пор. Это резко увеличивает проницаемость бетона.

В небольшой степени коррозия бетона зависит и от характера грунтов, на которых располагается очистное сооружение. Классификация грунтов по степени агрессивности к бетону, по данным работы [107], следующая:

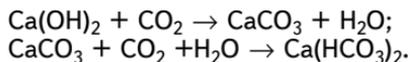
| Грунт                          | Степень агрессивности |
|--------------------------------|-----------------------|
| Песок, гравий, известняк       | Не агрессивны         |
| Гипс (ангидрит), серный гравий | Агрессивны            |
| Глина, торф, сапрпель, болото  | Очень агрессивны      |

Коррозия бетона включает химические, физические и биологические процессы.

Химическая составляющая коррозии обусловлена главным образом реакциями взаимодействия входящих в бетон кальциевых солей с агрессивными загрязнителями воды.

Выделяют следующие группы реакций, вызывающих коррозию бетона [107]:

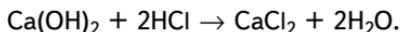
- *Взаимодействие с углекислым газом - карбонизация.* Предполагаются реакции:



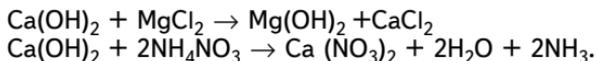
Карбонизация является основным фактором химической коррозии бетонов, поскольку углекислый газ всегда и в достаточном количестве поступает в воду из атмосферы.

- *Реакции с кислотами.*

В сточных водах, содержащих органические или минеральные кислоты, в разрушении бетона участвует кислота:



- *Реакции обмена.* В этих реакциях участвует гидроксид кальция. Особенно легко с ним взаимодействуют магниевые и аммонийные соли, образующие легкорастворимые в воде соединения:



В результате химической коррозии происходит растворение и вымывание компонентов бетона. Наиболее легко из бетонов вымываются кальциевые соединения.

Химические процессы коррозии усиливаются в проточной воде и в пористом бетоне. Поэтому слабым местом бетонных изделий являются пустоты, швы и углубления, возникающие в результате коррозии.

*Физико-химическая составляющая коррозии.* В результате физико-химических процессов, включающих заполнение пор и полостей бетона сульфатсодержащими водами и образование внутри бетона кристаллогидратов солей, объемы которых значительно превышают объемы негидратированных молекул соединений, входящих в состав цемента, происходит расширение бетона. Следствием этого является возникновение в бетоне внутренних напряжений и трещин.

*Биогенная коррозия* связана с наработкой в сооружениях очистки сточных вод сероводорода. Сероводород окисляется на влажных поверхностях серными бактериями с выделением агрессивной к бетону серной кислоты. По данным авторов работы [107], даже небольшие концентрации сероводорода (около 0,5 мг/л) способны вызвать повреждения бетона. Особенно велика опасность биогенной коррозии в очистных сооружениях, содержащих значительные количества органического вещества, и при повышенных температурах.

Антикоррозионные свойства бетона в немалой степени зависят от технологии его приготовления, соотношения цемент - вода, наличия гидрофобных добавок и защитных покрытий.

Следует отметить, что водонепроницаемость и коррозионная стойкость находятся в прямой зависимости. Поэтому при обработке свежеприготовленной бетонной смеси рекомендуют не допускать ее расслоение и обеспечивать полное схватывание, которое достигается обычно в течение не менее 28 дней. Кроме того, поверхность бетона рекомендуют затирать цементным раствором или тестом. Покрытия, содержащие цемент, в настоящее время являются наиболее доступным средством для защиты бетона от коррозии. Однако эти покрытия не достаточно долговечны и их рекомендуют обновлять ежегодно.

К основным методам защиты бетонов относят следующие:

- образование поверхностных защитных слоев из составов на основе цемента, полимеров, битумной массы и более сложных композиций;
- образование пленки при твердении растворителя (хлоркаучук) или реакции с влагой (полиуретан);
- импергнирование реактивной смолой.

На Международной сибирской торговой ярмарке осенью 1997 г. широко рекламировались различные материалы для гидроизоляции бетонных и других поверхностей. Наиболее широко представленные и пригодные для использования в жилищном строительстве составы и их характеристики сведены в табл. 2.13. Для составления таблицы использованы рекламные материалы фирм - изготовителей [108 - 109].

Металл безусловно является самым эффективным и прочным материалом для гидроизоляции. Однако он чрезвычайно дорог и к тому же подвержен коррозии. С целью защиты от коррозии металлы в условиях бытовых объектов обычно покрывают защитными покрытиями из некорродирующих пленочных покрытий. Это дополнительно повышает стоимость гидроизоляции на основе металла, делая ее недоступной для большинства потребителей.

Достаточно успешно с металлической гидроизоляцией конкурирует гидроизоляция из полимерных пленок. Особый интерес представляют полимерные покрытия, армированные металлом. Однако дешевые виды пленки малодолговечны и недостаточно прочны, а дорогие и стойкие пленочные материалы по стоимости сравниваются со стоимостью металла. Кроме того, к серьезным недостатком большинства полимерных материалов следует отнести их нестабильность в условиях очень холодного климата, каким является климат Сибири. Это также сдерживает их применение.

В последнее время появились новые технологии создания гидроизоляционных слоев. Значительный интерес представляет изоляция гидрогелем на основе бентонита [110]. Последний готовится из глинистого минерала бентонита с добавками некоторых модифицирующих веществ. Методика подготовки изолирующего слоя на основе бентонита напоминает таковую для гидроизоляции глиной и заключается в следующем. Бентонит измельчают, перемешивают с необходимыми добавками и смесь равномерно распределяют по дну и пологим стенкам будущего водного объекта. Сверху для создания механической прочности формируют защитный слой из грунта, щебня или гравия. После заполнения объекта водой бентонит реагирует с водой, образует гидрогель и набухает. Гидрогель по мере набухания плотно закрывает различные поры в изолируемом материале, обеспечивая полную непроницаемость для воды. Такую гидроизоляцию можно рекомендовать к использованию при строительстве водохранилищ лагунного типа, прудов, каналов. Общий вид гидроизоляции на основе бентонитового геля показан на рис. 2.28.

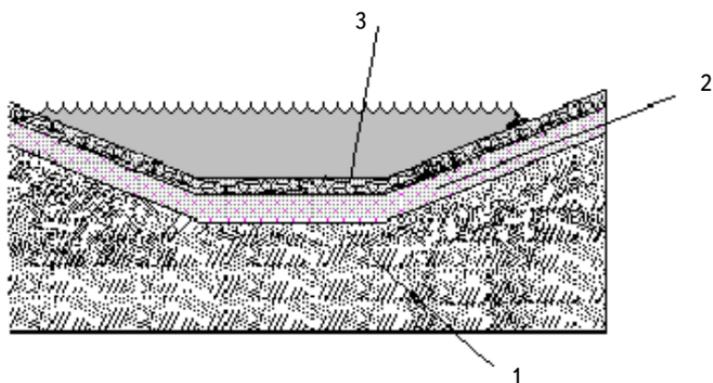


Рис. 2.28. Гидроизоляция на основе бентонитового гидрогеля [110]:

1 - ложе водоема; 2 - гидрогель; 3- защитный слой (гравий, щебень).

По грубым оценкам стоимость бентонитовой гидроизоляции несколько ниже или соразмерна со стоимостью гидроизоляции из бетона. Однако по долговечности и простоте изготовления бентонитовая гидроизоляция во много раз превышает бетонную изоляцию, а для больших водоемов на хорошо фильтрующих грунтах она, по-видимому, вне конкуренции.

*Для того, чтобы заботиться о земле, недостаточно только покупать необходимое. Помните о Трио: сокращайте, используйте повторно, перерабатывайте.*  
A. Ludwig

### Глава 3. ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ

Различия в технологических подходах к решению проблемы очистки сточных вод от индивидуального жилого дома связаны главным образом с характером и объемами очищаемой воды, а также способами ее утилизации. Сокращение объемов потребляемой воды способствует не только экономии воды как ценного продукта, но и меньшей нагрузке очистных сооружений. Сокращение объемов потребляемой чистой воды достигают, прежде всего за счет использования более экономичных установок и максимально возможного контроля и предупреждения непредвиденных утечек чистой воды. Отдельной строкой идут мероприятия по замене чистой воды дождевой водой [111].

В немалой степени выбор конкретной технологии определяется и возможностями предлагаемого к использованию базового устройства водоочистки. Эффективность работы наиболее распространенных в технологиях децентрализованной очистки базовых устройств приведена в табл. 3.1.

Наиболее перспективными для использования на малых децентрализованных очистных сооружениях являются, по-видимому, технологии, привлекающие биологические методы обработки сточных вод. Они хорошо экологически обоснованы, требуют небольших затрат энергии, практически не создают отходов.

Особенно привлекательными следует признать технологии, в которых рабочая биота и условия ее жизнедеятельности создаются искусственно. Эти технологии представляются более гибкими и эффективными по сравнению с технологиями естественной биологической очистки, а в ряде случаев они единственно возможны.

В случае искусственной биологической очистки сточных вод появляются дополнительные возможности для интенсификации процесса, связанные, главным образом:

- с использованием микроорганизмов, искусственно выращенных в виде биомассы (штамма, ассоциации или консорциума микроорганизмов);
- созданием оптимальных условий для развития и жизнедеятельности биоценозов с заданными характеристиками с помощью инженерно-конструкторских решений и средств автоматизации;
- применением микроорганизмов в качестве биокоагулянтов тяжелых металлов, заменителей химических реагентов;
- сочетанием процессов биологической и физико-химической очистки стоков, использованием физико-химического или физического воздействия на биоту.

### 3.1. Схемы и технологии, рекомендуемые для очистки серых или черных стоков

#### 3.1.1. Схемы на основе септиков и фильтров-усреднителей

В настоящее время широко применяется децентрализованная технология очистки и инфильтрации черных и серых стоков. Исторически сложилось так, что варианты технологий с использованием септиков для предварительной обработки бытовых стоков оказались наиболее распространены. Этому способствовали простота конструкций септиков и сравнительно невысокая стоимость их сооружения. В дальнейшем оказалось, что применение септиков не всегда оправдано с позиций экологии (см. раздел 2.1). Поэтому технологии с использованием септиков в последнее время начали вытесняться другими экологически обоснованными технологиями очистки сточных вод.

Варианты основных технологических схем представлены на рис. 3.1 и 3.2.

В обоих вариантах сточные воды поступают на фильтр грубой очистки (ФГО), например, процеживатель жидкости, где из них удаляются крупные частички загрязнений, а затем - в специальные отстойники - септики. Из септиков осветленная вода поступает при реализации первого варианта (рис. 3.1а) на инфильтрацию через подходящий почвенный фильтр (ПФ). В качестве почвенного фильтра чаще всего используют фильтрующие колодцы, фильтрующие кассеты, фильтрующие траншеи или поля фильтрации.

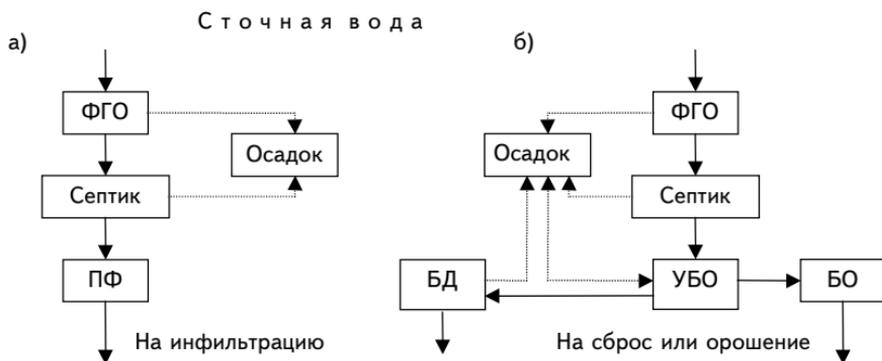


Рис. 3.1. Блок-схема технологии очистки бытовых стоков с предварительной подготовкой воды в септике:

Пунктир - движение осадков. Сплошные линии - потоки жидкостей. ФГО - фильтр грубой очистки; ПФ - почвенный фильтр; БД - блок доочистки; УБО - устройство основной (базовой) стадии очистки; БО - блок обеззараживания.

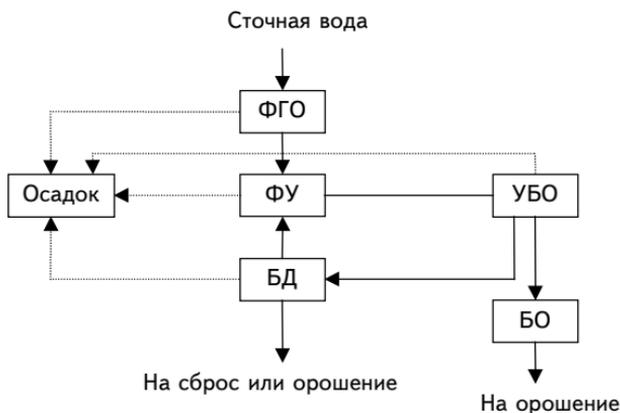


Рис. 3.2. Блок-схема технологии очистки стоков с предварительной подготовкой воды в фильтре-усреднителе

Пунктир - движение осадков. Сплошные линии - потоки жидкостей. ФГО - фильтр грубой очистки; ФУ - фильтр-усреднитель; БД - блок доочистки; УБО - устройство основной (базовой) стадии очистки; БО - блок обеззараживания.

При реализации второго варианта (рис. 3.16) воду из септика подают на переработку в устройство базовой очистки (УБО). Базовая очистка обычно выполняется на песчаном фильтре, биореакторе или поливом по склону. Иногда основную очистку выполняют с помощью ботанических площадок. При необходимости воду из устройства базовой очистки направляют в блок доочистки. Часто доочистку выполняют на ботанических площадках, полях орошения, в водоемах и т.п.

Очищенную воду рекомендуют использовать для подземного орошения растений либо сбрасывать в низины или другие места для естественной доочистки.

При работе по схеме 3.2 часто не достигают высокого качества очистки воды. Это связано, главным образом, с недостаточной способностью септика усреднять состав поступающих на очистку сточных вод. Кроме того, как отмечалось выше, септики не всегда отвечают требованиям экологической безопасности. Поэтому применение этой схемы в последнее время сокращается.

Более эффективной представляется очистка по схеме 3.2 с использованием для предварительной подготовки стоков фильтров-усреднителей. Достоинством фильтра-усреднителя является не только хорошее усреднение состава поступающих на очистку сточных вод, но и ряд других технических преимуществ. К числу этих преимуществ можно отнести, например:

- состав поступающей на очистку воды регулируется в заданных пределах;

- размеры фильтра-усреднителя обычно меньше размеров септика той же производительности;
- фильтр-усреднитель можно расположить непосредственно в доме, что облегчает его обслуживание.

Обработка воды после фильтра-усреднителя, как видно из рис. 3.2, аналогична обработке воды после септика в варианте 3.1б.

Основное различие между схемами состоит в том, что в схеме с усреднителем часть воды из блока биологической доочистки возвращается в фильтр-усреднитель для разбавления в нем до заданного уровня концентраций примесей. Поэтому и базовая очистка и доочистка выполняются на водах мало отличающихся по составу. Это создает оптимальные условия для процесса в целом и исключает сбои в работе очистных сооружений, связанные с залповыми сбросами высококонцентрированных сточных вод. Кроме того, облегчается непрерывный физико-химический контроль состава технологических вод, что в свою очередь благоприятствует внедрению средств автоматизации.

Септики также, как и усреднители, способны снижать эффект залповых сбросов, но в значительно меньшей мере.

### 3.1.2. Комбинированные технологии, не использующие септики и усреднители

Большинство из описанных в литературе схем очистки бытовых сточных вод на небольших автономных очистных сооружениях вполне вписываются в рамки представленных на рис. 3.1 и 3.2 принципиальных схем. Другие схемы и технологии очистки серых стоков от небольших бытовых объектов выполнены на уровне авторских свидетельств последних лет и поэтому пока недостаточно проверены практикой. Тем не менее, многие из них следует признать перспективными.

Есть предложение обработку осадков и предварительную очистку стоков от взвешенных частиц выполнять в компостере. Авторы работы [98] разработали технологию очистки сточных вод для небольших поселков в Германии на основе компостера и песчано-гравийного фильтра с вертикальной фильтрацией стоков, засаженного растительностью. Площадка опытного фильтра была разделена на два участка. Первый участок состоял из 24 секций, каждая площадью  $7,5 \times 2 \text{ м}^2$ ; второй - из 16 секций, каждая площадью  $6 \times 2 \text{ м}^2$ .

Черные сточные воды подавали на первый участок. Они проходили через растительный, песчаный и гравийный слой и накапливались внизу, стекая в специальное углубление. Затем из этого углубления с помощью насоса воду направляли на дополнительную очистку в зону первого и второго участков фильтра. На последней стадии очистки вода из второго участка фильтра выводилась на почвенный фильтр или на орошаемую площадку с ивняком.

На полигоне были испытаны разные виды растительности, в том числе: *Salix viminalis* "Motzow", *Populus canadensis*, *Populus snensis*, *Phragmites australis* var. *pseudodonax*, *Miscanthus sinensis* "Giganteus", *Misanthus*

sacchariflorus, Andropogon gerardii, Sorghastrum nutans. Один вид растений занимает 4 секции песчано-гравийного фильтра.

По оценкам авторов [98], очистные сооружения с компостером обеспечивают достаточную очистку сточной воды по основным параметрам (табл. 3.2).

Часто песчаные фильтры сочетают с другими фильтрующими устройствами. В работе [112] описано применение комбинации песчано-гравийного и почвенно-растительного фильтров для очистки стоков от отдельного жилого дома. Стоки пропускают через вертикальный песчаный фильтр высотой около 1 м в подземный накопитель. Благодаря тому, что ложе песчаного фильтра изолировано от земли полиэтиленовой пленкой очищенная вода накапливается внизу фильтра. Ее с помощью насоса подают на горизонтальный песчано-растительный фильтр и затем инфильтруют в грунт. Такая очистная система, по данным авторов [25], способна работать с производительностью 90 л на человека в сутки, если площади песчаного и почвенно-растительного фильтров составляют 12 м<sup>2</sup> и 26 м<sup>2</sup> соответственно.

Представляет интерес описанный в обзоре [25] сдвоенный песчано-растительный фильтр. Фильтр представляет собой площадку из двух участков размером 4,5 м<sup>2</sup>. После обработки на площадке вода собирается, дезинфицируется УФ-излучением и используется в технических целях. Зимой работает только один из участков площадки. Это позволяет аккумулировать тепло на небольшом участке и обеспечить непрерывную работу фильтра.

Очень часто очистку сточных вод от небольших населенных пунктов выполняют, пропуская очищаемую воду через систему связанных между собой прудов разного назначения [47, 53].

Существует два основных варианта очистки сточных вод в прудах. В первом варианте обрабатывают неочищенные стоки. Их направляют в пруд - отстойник, откуда затем подают в очистные пруды. В каждом пруде вода находится заданное время. Например, для условий Прибалтики, по мнению автора работы [53], это время должно быть равным примерно 3 - 4 дня. Очищаемую воду следует аэрировать дополнительно либо непосредственно в прудах [53], либо в подводящих каналах на водяной лесенке [47]. В каждом из прудов создают определенный видовой набор растений и животных, поэтому в разных прудах вода доводится до разного уровня очистки. Это оптимизирует процесс в целом. На выходе из последнего пруда очищаемая вода приобретает желаемое качество и ее обычно используют для орошения полей.

Т а б л и ц а 3.2

Эффективность доочистки воды после компостера на почвенном фильтре

| Место отбора пробы    | Кислород | ХПК | NH <sub>4</sub> - N | NO <sub>3</sub> - N | PO <sub>4</sub> - P |
|-----------------------|----------|-----|---------------------|---------------------|---------------------|
| На входе, n=11        | 4,9      | 315 | > 45 - 66           | 3,1                 | > 8 - 10,7          |
| Сток на выходе:       |          |     |                     |                     |                     |
| свободный, n=3        | 8,0      | 18  | < 2                 | 40,7                | 0,5                 |
| на глубине 10 см, n=8 | 4,7      | 24  | 3,6                 | 29,9                | 0,7                 |

Во втором варианте систему прудов используют для глубокой естественной доочистки уже подработанных сточных вод.

### 3.1.3. Устройства, размещаемые частично или полностью в обогреваемых помещениях

Для использования в массовом строительстве большой интерес представляют компактные устройства искусственной очистки, размещаемые частично или полностью в обогреваемых помещениях. Эффективность водоочистки в помещении не зависит от погодных условий и других внешних условий. Устройства хорошо вписываются в системы естественной доочистки и утилизации излишков очищенной воды.

В патенте США [113] для очистки и повторного использования сточных вод из душевых, ваннных комнат или прачечных рекомендуют отработанную воду собирать в специальные сборники, затем фильтровать через слой графия и активированного угля, обеззараживать, смешивая с хлорированной водой, и повторно использовать в технических нуждах.

В другом патенте США представлена система очистки воды [114], в которой потоки из кухни и ванной проходят отдельную первичную обработку в септиках, затем смешиваются и обрабатываются в песчаном биофильтре и ультрафильтре, после чего обеззараживаются и направляются частично на технические нужды, а частично на обессоливание и в систему водоснабжения кухни. Поток воды с высоким содержанием солей сливается в канализацию.

В патенте Японии [115] представлена установка с замкнутой схемой очистки загрязненных (фекальных) вод. Она содержит очистное устройство с разбитым на секции баком для водообработки. Секции заполнены волокнистым растительным наполнителем с иммобилизованными микроорганизмами (первая секция), слоем гранулированного низкосортного угля с микроорганизмами (вторая секция). Последняя секция служит для накопления обработанной воды. Вода проходит последовательную обработку в секциях с наполнителями, после чего поступает в накопитель, а оттуда для повторного использования в сливной бачок.

В [116] предлагается сочетать способы очистки стоков активным илом в аэротенках и во вторичных отстойниках с целью повышения степени извлечения азота и фосфора с последующей биоочисткой путем контакта с лекарственным растением аиром тростниковым - *Acorus calamus* Z. В [117] рекомендуется сочетать очистку водными растениями с очисткой введенными культурами микроводорослей и моллюсков рода *Anodonta*, а также очисткой в кассетных биофильтрах с искусственной волокнистой загрузкой.

Отдельные сооружения очистки стоков от жилого дома ориентированы на работу в условиях круглогодичной теплицы.

В Германии, согласно [25], предложена конструкция соединенных последовательно и расположенных в теплице трех фильтров. Первый фильтр содержит крупную крошку камня с посадками тростника (*Phragmites australis*); второй фильтр является промежуточным. Он содержит более тонкую фракцию каменной крошки и засажен видом (*Schoenoplectus*

lacustris). Последний фильтр представляет собой песчаный фильтр, засаженный ирисами (*Iris pseudacorus*). Вода поступает на поверхность первого фильтра со скоростью около 160 л в день. Пройдя первый фильтр по вертикали, вода проходит по горизонтали второй и третий фильтры. Для обслуживания двух человек рекомендуется общая площадь фильтров 6 м<sup>2</sup> и заглубление 0,4 м.

Пример устройства, в котором сочетаются в рамках единой технологии очистка и утилизация стоков от жилого дома, разработан в НГТУ и описан в работе [118]. Блок-схема устройства приведена на рис. 3.3.

Устройство работает следующим образом. Сточная вода после механической очистки от грубодисперсных частиц поступает через теплообменник 1 в фильтр-усреднитель 2. Здесь она освобождается от взвешенных частиц и кондиционируется до заданных характеристик по составу, подается через промежуточную емкость 3 на один из секторов наклонного почвенно-растительного фильтра 4, насыщает его и частично испаряется. Основная масса воды, фильтруясь, проходит по склону в траншею с водными растениями 5, откуда ее избыток стекает в анаэробный фильтр-коллектор 6. Затем очищенная вода из фильтра-коллектора 6 снова подается через одну из секций промежуточной емкости 3 на другой сектор почвенно-растительного фильтра 4, проходит более глубокую очистку, после чего через траншею 5 и дренажный канал возвращается в фильтр-коллектор 6. Узел автоматизации перераспределяет потоки воды в теплообменник и на склон.

Таким образом, вода многократно обрабатывается в цепочке почвенно-растительный фильтр - траншея с водной растительностью - подземный дренажный канал - анаэробный фильтр-коллектор. Это позволяет достигнуть нужное качество обрабатываемой воды.

Ступенчатое кондиционирование состава воды в фильтре-усреднителе, а также в анаэробном фильтре способствует максимальному сближению ее характеристик до характеристик прикорневой жидкости растений для выbranного биоценоза почвенно-растительного фильтра.

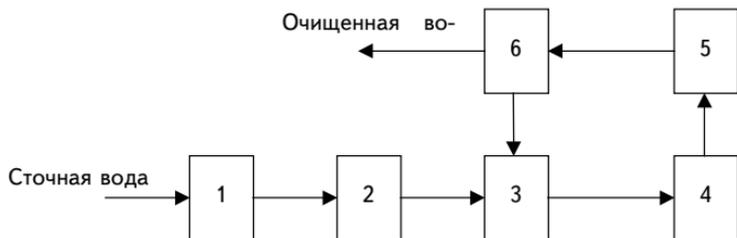


Рис. 3.3. Блок-схема технологии очистки стоков от жилого дома [118]

Организация замкнутого цикла водообработки, компактное расположение узлов устройства, обеспечение заданного температурного режима с помощью теплообменника и теплонакопителя, а также повышенная влагоемкость всего устройства позволяют увеличить эффективность обработки, утилизации воды и устойчивую работу всего водоочистного комплекса в любое время года при размещении устройства водообработки на сравнительно небольших площадях в пределах размеров наклонного почвенно-растительного фильтра.

Утилизация стоков заключается в использовании очищенной и доведенной до соответствующей кондиции воды и растворенных в ней питательных веществ для полива растений теплицы (круглогодично) и открытого грунта, а также интенсивном испарении избыточной влаги. Часть воды накапливается в зимний период времени в пределах специально подготовленной траншеи, расположенной у основания склона открытого почвенно-растительного фильтра.

### **3.2. Схемы с раздельной обработкой вод разных типов**

Естественная классификация жидких стоков от жилого дома выделяет следующие основные типы сточных вод:

- стоки от туалета;
- воды, загрязненные ПАВ (компоненты моющих средств);
- воды, загрязненные пищевыми отходами (кухонные воды).

Очистка этих вод предполагает, во-первых, дезинфекцию и уничтожение вредной микрофлоры, во-вторых, удаление грязи и приведение химического состава в соответствие с нормами для очищенных вод.

Стоки от туалета хорошо гомогенизированы и наиболее концентрированы органическим веществом. Поэтому они представляют прекрасную среду для жизнедеятельности микроорганизмов. Именно в них содержится основное количество ценных питательных веществ, пригодных для вторичного использования в сельском хозяйстве. Поэтому представляется закономерной наметившаяся в последнее время устойчивая тенденция перерабатывать стоки от туалета отдельно, с целью получения компоста. Вместе с тем, представляется очевидным, что воды, загрязненные моющими средствами, требуют не столько дезинфекции, сколько физической очистки от ПАВ, поскольку токсичность этих вод связана именно с наличием этих веществ. Напротив, обработка кухонных вод должна включать прежде всего тщательную дезинфекцию, поскольку эти воды представляют собой хорошую питательную среду для развития микроорганизмов. Токсичность этих вод в значительно меньшей степени связана с их химическим составом.

Следует отметить, что при смешивании этих вод возможно появление новых химических соединений, не встречающихся в отдельно взятых типах вод. К тому же, при объединении объемов вод разных типов возрастает расход дезинфицирующего вещества и увеличивается нагрузка на все узлы

водоочистки. Эти обстоятельства и послужили причиной для разработки технологии раздельной очистки сточных вод из туалета, кухни и ванной.

Основная идея раздельной очистки стоков от жилого дома заключается в максимально возможном уменьшении разнообразия и количества компонентов примесей в очищаемой воде. Это позволяет, по мнению авторов [6, 119], выбрать более гибкие и высокоэффективные схемы обеззараживания, очистки и утилизации стоков от жилого дома, включая схемы, сочетающие принципиально отличающиеся биологические, химические и физико-химические методы обработки.

Вода из ванной или прачечной часто содержит примеси ПАВ, трудно разлагаемые биотой. Такую воду целесообразно очищать физико-химическими способами. Вместе с тем, компоненты воды из туалета или кухни хорошо усваиваются живыми организмами. Это делает высокоэффективной биологическую очистку.

Возможная схема раздельной очистки бытовых стоков от потребителя с небольшим расходом воды приведена в работе [6]. Согласно этой схеме стоки из туалета и твердые пищевые отходы обрабатываются в биотуалете. Воды из ванной и кухни очищаются без смешивания на одних и тех же базовых устройствах очистки в последовательности, показанной на рис. 3.4.

Кухонные воды проходят предочистку на фильтре грубой очистки 1, а воды из ванной осветляются в блоке очистки растворов моющих средств 2. Затем попеременно, не смешиваясь, воды одного типа собираются в фильтре-усреднителе 3 и через теплообменник 4 поступают на почвенно-растительный или ему подобный, например, песчано-гравийный фильтр 5. Очищенная на фильтре 5 вода поступает в анаэробный биореактор 6 и оттуда часть воды направляется в кондиционер воды по составу 7 для подготовки ее для полива растений; другая часть воды подается для глубокой доочистки в аэробный биореактор 8 и в накопитель воды 9.

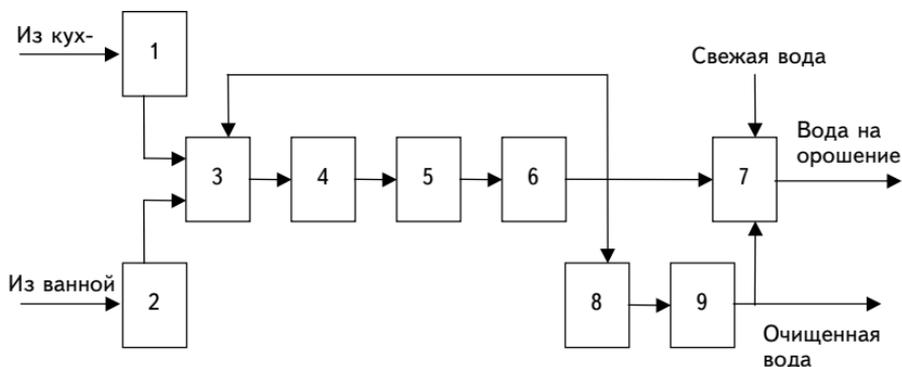


Рис. 3.4. Блок-схема раздельной очистки стоков от жилого дома

Схема предусматривает двойное кондиционирование воды по составу. Первое выполняется в фильтре-усреднителе водами из анаэробного биореактора. Второе кондиционирование производится в блоке 7. Оно состоит в разбавлении воды для полива дополнительно очищенной водой из накопителя 9 или свежей питьевой водой. При необходимости воду для полива обеззараживают УФ-излучением.

Технологии с отдельной обработкой различных по качеству вод, будучи узко направленными на индивидуальный жилой дом, имеют ряд преимуществ и представляются достаточно перспективными. Они позволяют для очистки соответствующих типов воды применять наиболее подходящие и эффективные способы, вплоть до сочетания в одной системе водоочистки принципиально отличающихся методов биологической и физико-химической очистки.

В работах [6, 119] показано, что практически реализовать схему отдельной очистки удобно с помощью новейших, но достаточно доступных средств автоматизации и контроля. Автоматизация также обеспечивает не только высокое качество очистки и производительность работы очистных сооружений, но и жесткие санитарно-экологические нормы, облегчает повторное использование и утилизацию сточной воды с полезными компонентами.

### **3.3. Схемы на основе концепции “живые машины”**

Из нетрадиционных подходов к решению проблемы очистки бытовых стоков можно отметить концепцию “живые машины” (Living Machines), разработанную американскими учеными во главе с Дж. Тодом [8, 120, 121]. Концепция предполагает создание самоорганизующейся и самоуправляемой системы водоочистки в виде набора взаимозависимых и дополняющих друг друга экосообществ, перерабатывающих сточную воду определенного качества.

В рамках этой концепции водоочистка включается в естественную систему переработки отходов на земле (пищевую цепь). Такая система характеризуется тем, что продукты жизнедеятельности одних живых существ являются пищей для других живых организмов. В основании цепи лежит переработка отходов микроорганизмами. Усвоение продуктов этой переработки растениями и более высокоорганизованными животными приводит к развиту пищевой цепи. Наверху этой цепи находится человек.

Конструкции живых машин существенно зависят от их функций. Типичная живая машина представляет собой набор взаимосвязанных экосообществ. Каждое экосообщество заселяют в емкость (обычно цилиндр) и связывают с сообществами, живущими в других цилиндрах трубопроводами. Отходы, производимые одним сообществом, служат питанием для другого сообщества и передаются с потоком воды из одного цилиндра-биореактора в другой. Схема живой машины представлена на рис. 3.5.

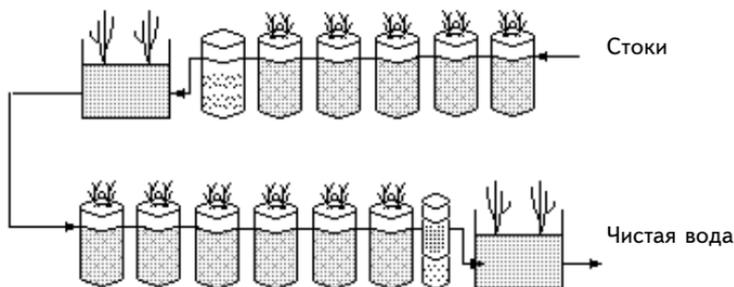


Рис. 3.5. Схема системы очистки сточных вод по принципу “живая машина” [121]

Первичным источником энергии для живой машины служит солнечный свет. Расселение каждого экосообщества формируется соответственно характеру отходов.

К сожалению, система “живая машина” пока недостаточно отработана. В известной нам литературе не описано применение таких систем для очистки сточных вод от индивидуального дома. По данным работы [8] в Соединенных Штатах Америки разработано и работает около десятка систем “живые машины”. Эти системы предназначены для переработки больших объемов воды. Судя по информации Центра водных исследований (OAI) [120], особенно отлажена с помощью таких систем очистка воды поверхностных водоемов, например, озер, прудов.

Принципы, заложенные в технологиях “живых машин”, легче всего осуществляются в водоочистных устройствах, построенных на основе аквакультуры (процессов очистки сточных вод с помощью водной флоры и фауны).

Очень интенсивно технология аквакультуры развивается в Швеции, в Стендсундском центре экотехнологий [122]. Работающая там установка включает 7 емкостей с различными водными культурами, водную лесенку с порогами и биопруд. Общая водная поверхность этих сооружений составляет  $62 \text{ м}^2$ , а общий объем воды -  $195 \text{ м}^3$ .

В процессе очистки вода подается со скоростью  $6,2 \text{ м}^3$  в сутки из одного резервуара в другой, проходя 9 стадий обработки. Краткое описание резервуаров и процессов в них приведено ниже. Порядок описания соответствует последовательности стадий.

1. Бак-накопитель. Имеет емкость  $28 \text{ м}^3$ . Служит для сбора сточной воды после грубой очистки.

2. Анаэробный танк на  $20 \text{ м}^3$ . Этот танк представляет собой выполненный из бетона цилиндр высотой 4 м. Здесь идет разложение органического вещества в анаэробных условиях и осаждение ионов металлов в составе сульфидов.

3. Аэрируемый биофильтр. Конструкция биофильтра совершенствуется. Блок предназначен для биологической минерализации, обеззараживания и нитрификации сточных вод.

4. Блок культивирования фитопланктона. Представляет собой резервуар, имеющий одну стеклянную стенку, обращенную на южную сторону, объем примерно  $20 \text{ м}^3$  и высоту около 2 м. Конструкция и размещение блока облегчают населяющей флоре воспринимать солнечное излучение. В пасмурные дни предусмотрено освещение искусственным светом. В биоте преобладают пресноводные водоросли: *Ankistrodemus*, *Scenedesmus* и *Chlorella*. Блок предназначен для наработки первичной продукции. В нем реализуется первое звено пищевой цепи.

5. Блок культивирования зоопланктона. Представляет собой емкость глубиной 2,5 м, объемом  $40 \text{ м}^3$  и рабочей поверхностью  $20 \text{ м}^2$ . В основном заселен видами *Daphnia*, *Ceriodaphnia*, *Copepoda*, *Rotifera*, *Ostracoda*, *Protozoa*. Здесь происходит дальнейшая переработка органического вещества.

6. Бассейн для выращивания рыбы и тропических водных растений. Разделен на две секции. Один танк имеет глубину 2,3 м, площадь поверхности  $12 \text{ м}^2$  и объем  $27 \text{ м}^3$ . Второй танк, предназначенный для водных растений и рыб, имеет объем равный  $9 \text{ м}^3$ . Культивируют водные растения: *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Hydrocleis nymphoides* и тропические папоротники видов: *Azolla filiculoides*, *Salvinia auriculata*, а также ряску *Lemna minor* (растение умеренной зоны). Здесь же культивируют рыбную поликультуру, представляющую собой смесь рыб умеренной и тропической зон, например, *Tilapia marie*, *Saroserodon sp.*, *pacu (Colossoma spp.)*, *algae grazer (Pterygoplichthys gibbiceps)* и различные виды карпов (*Cyprinus carpio*, *Carassius auratus*, *Stenopharyngodon idella*).

7. Блок гидропоники. Представляет собой 5 каналов каждый объемом по  $0,7 \text{ м}^3$  и размером: длина - 6 м, ширина - 0,4 м, глубина 0,3 м. Общая поверхность каналов составляет  $12 \text{ м}^2$ . Выращиваются растения типа томатов (*Lycopersicon sp.*) и ивы (*Salix dasyclados*).

8. Водная лесенка. Составляет часть архитектуры. Предназначена для аэрирования воды.

9. Предвыпускной биопруд. Общий объем  $40 \text{ м}^3$ . В нем культивируются благородные породы рыб вида *Astacus astacus*. Из этого пруда воду выпускают самотеком в заросли ивняка (*Salix dasyclados*). Здесь она профильтровывается через почву. Отсюда ее отводят в Балтийское море.

Пока трудно судить о себестоимости очистки воды на установках типа "живая машина". По-видимому, она достаточно высока и поэтому рано говорить о применении живых машин для водообработки в условиях индивидуального дома с небольшим расходом воды. Тем не менее, работа по адаптации технологии для очистки воды в индивидуальном доме ведется. В соответствии с этой технологией предполагается кухонные отходы обрабатывать отдельно от других бытовых отходов [8].

*Сегодня очевидно, что отходы жизнедеятельности человека имеют значительный потенциал, способный восполнить питательные вещества земли, отбираемые в процессе сельскохозяйственного производства.*

*B. Guterstam. Proceedings of the International Conference at Stedsund Folk College. Sweden March 24-28, 1991. - Sweden, 1991.*

## Глава 4. УТИЛИЗАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Возможности утилизации компонентов стоков от автономных бытовых объектов с небольшим расходом воды начали серьезно рассматривать только недавно в связи:

- с проблемой дальнейшего ухудшения экологии окружающей среды, особенно в местах компактной застройки жилыми домами, не подключенными к центральной канализации;
- необходимостью прекратить необоснованные потери ценных веществ, которые можно использовать как удобрение для растений;
- стремлением уменьшить нагрузку на очистные сооружения за счет уменьшения концентрации примесей в очищаемой воде.

Вкладывая в понятие “утилизация” смысл, *повторное использование*, обычно рассматривают следующие варианты децентрализованной очистки и утилизации стоков:

- очистка и полная утилизация стоков на месте;
- очистка и частичная утилизация стоков на месте. Избыточная вода инфильтруется в районе очистных сооружений или выводится за пределы участка.

Среди веществ, которые можно было бы эффективно утилизировать, находится значительная часть органических веществ, а также азот, фосфор, калий, микроэлементы. Это видно из табл. 4.1, показывающей состава вод септиков и мочи.

Между тем, значительное количество ценных питательных для растений веществ сбрасывается со сточными водами в реки, моря и океаны. В результате для человека эти вещества оказываются безвозвратно потерянными, а водоемам наносится значительный ущерб. Особенно критическая ситуация складывается с выносом фосфора. Простые оценки по данным авторов [125] показывают, что добываемых на земле запасов фосфора хватит всего на 100 - 150 лет. Через это время, если не будут приняты меры к возврату в оборот большей части фосфора сельское хозяйство останется без фосфорных удобрений.

Принципиальные подходы к разработкам технологий утилизации определяют прежде всего факторы:

Т а б л и ц а 4.1

Состав воды в септике и мочи

| Характеристика                     | Воды септика (по данным [25]) |                      |            | Моча (по данным) |                  |
|------------------------------------|-------------------------------|----------------------|------------|------------------|------------------|
|                                    | Brandes (a)                   | Schonborn & Zust (b) | Среднее*   | свежая [123]     | [124]**          |
| БПК, мг/л                          | 149                           | 142                  | 184 (6)*** | -                | -                |
| ХПК, мг/л                          | 366                           | 320                  | 427 (6)    | -                | -                |
| Растворенные твердые вещества, г/л | -                             | -                    | -          | -                | 40 (36 - 47)     |
| N <sub>общ</sub> , мл/л            | 11,5                          | -                    | 22,6 (3)   | 7200 - 8500      | 11,4 (9,1 - 21)  |
| NH <sub>4</sub> , мг/л             | 1,7                           | 95,7                 | 16,7 (3)   |                  | 0,6 (0,2 - 1,1)  |
| P <sub>общ</sub> , мг/л            | 1,4 d                         | 9,5                  | 6 (6)      | 940 - 980        | -                |
| Мочевина, mM N                     | -                             | -                    | -          | -                | 687 (467 - 1149) |
| Калий, mM                          | -                             | -                    | -          | -                | 70 (40 - 100)    |
| Кальций, mM                        | -                             | -                    | -          | -                | 5,9 (< 10)       |
| Магний, mM                         | -                             | -                    | -          | -                | 5,4 (2,5 - 8,3)  |
| Общий азот, mM N                   | -                             | -                    | -          | -                | 819 (650 - 1500) |
| Фосфаты, mM                        | -                             | -                    | -          | -                | 20               |

a - воды от стиральной машины исключены; b - включая мочу.

\* Пересчитано нами без учета данных столбцов a и b.

\*\* Оценки выполнены авторами на основе литературных данных и приведены к 1 л свежей мочи человека весом 70 кг. Моча отбиралась утром у 10 здоровых человек.

\*\*\* В скобках приведено число источников.

- Необходимость физического уничтожения отходов.
- Невозможность длительного складирования отходов.
- Ограниченное пространство для размещения очистных сооружений.
- Экологические и санитарно-гигиенические аспекты.
- Экономические требования.
- Возможности, а иногда и необходимость повторно использовать воду и полезные компоненты из нее.

Основные области утилизации сточной воды и компонентов включают:

1. Использование в сельском хозяйстве.
2. Повторное использование очищенных растворов моющих средств.
3. Получение метана из органических компонентов стоков и специально добавляемого в реактор растительного сырья.

*Использование в сельском хозяйстве.* Выделяют такие важнейшие направления сельскохозяйственного использования очищенных и специально подготовленных сточных вод:

- Полив растений открытого и закрытого грунта.
- Приготовление питательных смесей для выращивания гидропонных культур.
- Выращивание аквакультуры, в том числе рыбоводство.
- Получение органических удобрений (прямое компостирование и использование активного ила).

Экологические и санитарно-гигиенические аспекты орошения сельскохозяйственных угодий очищенными сточными водами широко обсуждаются в литературе, например, в работах [126 - 128].

В работе [127] приводятся доводы в пользу экономии воды, минеральных и органических удобрений и рассмотрены способы доочистки сточных вод, предполагаемых к повторному использованию. Одновременно приводятся стандарты и бактериальные нормативы для контроля сточных вод, рекомендованные ВОЗ в 1989 г. с учетом эпидемиологических данных по инфекционным заболеваниям за 50 лет. Эти стандарты смягчают требования в отношении фекальных колиформ, но оказываются более строгими по отношению яиц гельминтов (аскарид, власоглавок, анкилостомид), как наиболее опасных для здоровья людей и животных. Более 99,9% яиц гельминтов должно быть удалено из сточных вод во время предварительной подготовки. Рекомендовано также в качестве организма - индикатора для всех крупных осаждаемых патогенов (цисты лямблий, амеб и др.) рассматривать яйца кишечных нематод.

Бактериальный норматив составляет среднюю геометрическую, равную 1000 ФКФ (фекальных колиформ) на 100 мл сточной воды, предназначенной для свободного полива. Часть нормативной информации приведена в табл. 4.2.

Для воды, используемой в технологии аквакультуры, в работе [127] приводятся предварительные стандарты. Причем опасность по крупным патогенам рекомендуется контролировать по трематодам. Стандартом является отсутствие жизнеспособных яиц трематод (описторхисов, клонорхисов и др.).

Авторы работы [128] изложили новый экологический подход к экспертно-аналитической оценке качества оросительной воды в системе вода - почва - растение, исключающий засоление и загрязнение орошаемых почв. Экологическую безопасность функционирования этой системы, по мнению авторов, должно обеспечить сбалансированное взаимодействие природных и антропогенных факторов. Был сформулирован ряд основных требований к качеству оросительной воды, в том числе:

- орошение не должно приводить к увеличению содержания водорастворимых солей, концентрации обменных ионов натрия и магния, повышению щелочности почвенного раствора и концентрации токсикантов;
- в результате орошения не должны изменяться агрономические и гидрофизические свойства почвы или содержание в ней гумуса.

Авторы считают, что для выполнения этих требований состав и минерализацию оросительной воды следует поддерживать близкими составу и минерализации почвенных растворов верхних горизонтов исходной почвы

до орошения. На основе этого подхода сравнительно недавно были выработаны конкретные экологические требования к орошению почв России [129].

Т а б л и ц а 4.2

Микробиологические и паразитологические показатели качества сточных вод (СВ), используемых на орошение (по данным ВОЗ, 1989 г.) [127]

| Класс СВ                           | Использование СВ   | Среднее арифмет. число яиц нематод на 1 л* | Среднее геомтр. число ФКФ на 100 мл** | Предлагаемая обработка СВ  |
|------------------------------------|--|--|---------------------------------------|--|
| <b>Для орошения растений</b>       |  |  |                                       |  |
| А                                  | Употребляемых в сыром виде, для спортивных площадок, парков            | ≤ 1  | 1000***                               | Серия стабилизационных прудов и др. или эквивалентное удаление патогенов               |
| Б                                  | Зерновых, технических, кормовых культур, пас-тбищ, деревьев****        | ≤ 1  | Нет стандарта                         | 8 - 10-дневная выдержка в стабилизационных прудах или эквивалентное удаление патогенов |
| В                                  | При локализованной ирригации по классу Б, если нет опасности для людей | Нет нормы                                  | Нет нормы                             | Обработка по технологии орошения не меньше первичной седиментации                      |
| <b>Для технологии аквакультуры</b> |  |  |                                       |  |
| Г                                  | В рыбопроизводных прудах, удобряемых сточными водами                   | -  | 1000                                  | -  |

\* Нематоды кишечные (аскариды, власоглавы, анкилостамиды).

\*\* В течение периода орошения.

\*\*\* Более жесткие рекомендации (200 ФКФ на 100 мл) относятся к паркам, площадкам для гольфа, лужайкам, посещаемым людьми.

\*\*\*\* При орошении фруктовых деревьев полив прекращается за 2 недели до сбора плодов. Последние запрещается собирать с земли. Дождение СВ не должно применяться.

Хотя требования распространяются на орошение поверхностными водами, тем не менее их можно положить в основу аналогичных требований для орошения сельскохозяйственных угодий очищенными бытовыми сточными водами. Предложено пригодность воды для орошения оценивать по 10 показателям, характеризующим состав воды, почвы и его возможные изменения при взаимодействии. Фрагмент, раскрывающий границы этих показателей, приведен в табл. 4.3.

Среди ценных, пригодных к утилизации компонентов бытовых стоков важное место занимает фосфор. Фосфор в природе не нарабатывается вновь. Поэтому его вторичное использование имеет первостепенное значение. Авторы работы [123] со ссылкой на литературные источники показали,

что 70% фосфора и 90% азота попадают в черные стоки с мочой. Эти же авторы указывают, что в моче в сбалансированном виде находятся многие необходимые для питания растений вещества.

Т а б л и ц а 4.3

Классы пригодности природной воды для орошения почв степной и сухостепной зоны и критерии их оценки [129]

| Класс                                       | $pH_n$  | $pH_B$     | $M_B$ | $M_B/M_n$ | $M_B/M_p$ | $SAR_n$     | $SAR_\sigma$ | $SAR_n/SAR_n$ | $\frac{(C_{Mg}/C_{Ca})_B}{(C_{Mg}/C_{Ca})_n}$ | $C_{iB}/C_{iндк}$ |
|---|---------|------------|-------|-----------|-----------|-------------|--------------|---------------|---|-------------------|
| <b>Вода, пригодная для орошения</b>         |         |            |       |           |           |             |              |               |   |                   |
| 1.1.  | < 8,3   | 6,5-8,3    | > 0,2 | $\leq 1$  | $\leq 1$  | $\leq 1(3)$ | $\leq 1(3)$  | -             | $\leq 1(1,5)$                                 | $\leq 0,5$        |
| 1.2.  | < 8,3   | 6,5-8,3    | > 0,2 | $\leq 1$  | $\leq 1$  | $> 1(3)$    | -            | $\leq 1$      | $\leq 1(1,5)$                                 | $\leq 0,5$        |
| 1.3.  | 8,3     | 6,5-8,3    | > 0,2 | $\leq 1$  | $\leq 1$  | $\leq 1$    | $\leq 1$     | -             | $\leq 1(1,5)$                                 | $\leq 0,5$        |
| <b>Вода, условно пригодная для орошения</b> |         |            |       |           |           |             |              |               |   |                   |
| 2.1.  | < 8,3   | 6,5-8,3    | > 0,2 | $\leq 1$  | $\leq 1$  | $\leq 1(3)$ | $\leq 1(3)$  | -             | $\leq 1(1,5)$                                 | 0,5-1             |
| 2.2.  | < 8,3   | 6,5-8,3    | > 0,2 | $\leq 1$  | $\leq 1$  | $> 1(3)$    |              | $\leq 1$      | $\leq 1(1,5)$                                 | 0,5-1             |
| <b>Вода, не пригодная для орошения</b>      |         |            |       |           |           |             |              |               |   |                   |
| 3.1.  | $> 6,0$ | $\leq 8,3$ | $> 0$ | $> 0$     | $> 0$     | $> 0$       | $> 0$        | $> 0$         | $> 0$   | $< 1$             |
| 3.2.  | $> 6,0$ | $< 6,5$    | $> 0$ | $> 0$     | $> 0$     | $> 0$       | $> 0$        | $> 0$         | $> 0$   | $< 1$             |

Обозначения: "п", "в", "р" - почва, вода, растение; м - минерализация (г/л) или удельная электропроводность ( $C_{м/м}$ ) раствора (оросительной воды или почвенного раствора);  $C_{mg}$  и  $C_{Ca}$  - концентрация ионов Mg и Ca (мг-экв/л);  $C_{iB}$  - концентрация i-го токсичного компонента, содержащегося в воде (единицы измерения те же, в которых представлена предельно допустимая концентрация этого же компонента  $C_{iндк}$ ).

При расчете  $M_B/M_n$  в качестве  $M_p$  используется максимальная минерализация или удельная электропроводность раствора, при которой биологическая продуктивность культуры не снижается. Значения в скобках относятся к оценке пригодности воды для орошения почв, содержащих в пахотном слое  $CO_2$  карбонатов больше 0,5%.

Это подтверждается данными, приведенными в табл. 4.1. По оценкам других авторов [130], в результате жизнедеятельности одного человека в сточные воды ежедневно поступает 2 г фосфора и 13 г азота. Такое количество фосфора и азота достаточно для того, чтобы обеспечить удобрениями 250 - 350 м<sup>2</sup> сельскохозяйственных угодий.

В связи с этим отмечается, что отделение мочи, ее накопление и применение в сельском хозяйстве может позволить существенно сократить сброс со сточными водами азота и фосфора. Это обстоятельство делает привлекательным накопление мочи и последующее использование в качестве удобрения в сельском хозяйстве.

В настоящее время в разных странах выполняются интенсивные исследования в области сбора и применения мочи в качестве удобрения. Первые

опыты в этом направлении в Европе были начаты примерно 10 лет назад. Наибольший опыт накоплен в Германии, Норвегии, Швейцарии, Швеции. Этому способствовало, по-видимому, принятие в указанных странах более жестких водоохранных нормативов, что в свою очередь приводит к появлению новых децентрализованных систем канализации, водоочистки и утилизации бытовых стоков.

В частности, муниципалитет шведского поселка Троса с населением около 10000 человек, расположенного на берегу Балтийского моря, предполагает осуществить проект, связанный со значительным уменьшением концентрации азота и фосфора в сбрасываемых в море сточных водах. С этой целью предлагается установить в поселке около 800 туалетов, позволяющих отделять и сохранять мочу без контакта с воздухом в специальных танках, оборудованных в доме [131]. Накопленную в течение года мочу предполагается вывозить на сельскохозяйственные поля и использовать в качестве удобрения. Это, по мнению разработчиков проекта, способно почти вдвое увеличить урожай зерновых. Ожидается также, что за счет отделения мочи удастся сократить сброс в море с бытовыми стоками примерно 90% азота и около 80% фосфора.

При утилизации очищенных сточных вод рекомендуют использовать только внутрпочвенное орошение с помощью слегка заглубленных в почву распределительных труб с прорезями для вытекания воды. Для индивидуального садоводства представляет интерес способ орошения отдельных деревьев через питающий мини-колодец (рис. 4.1).

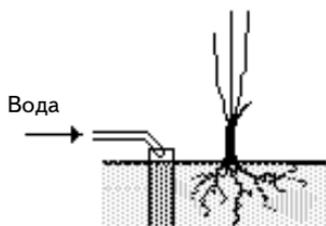


Рис. 4.1. Мини-колодец для орошения

Такой колодец представляет собой шурф, заполненный обычно песком или другим дисперсным материалом, например, соломой. Шурф подготавливают с помощью бура в радиусе приствольного круга дерева или закладывают непосредственно при посадке дерева. Для этого в посадочную яму вставляют трубу соответствующего диаметра. Заполняют ее наполнителем. После посадки дерева трубу вынимают, следя за тем, чтобы ее загрузка осталась в посадочной яме. Верх колодца оформляют обрезком трубы или деревянной конструкцией.

Многие авторы [6, 51, 132] предлагают зимой, в условиях холодного климата, утилизацию очищенной воды выполнять главным образом в круглогодичной теплице. Возможно применение различных технологий выращивания растений в теплице, в том числе: гидропоника, аэропоника, на тонких пленках, на почвенно-компостном субстрате, орошаемом разбавленными сточными водами и др.

Есть указания [133], что в условиях тепличной культуры на тонких пленках молодые растения способны извлекать из сточных вод фосфор до уровня меньше, чем 0,01 мг/л, сохраняя высокую продуктивность.

Расход воды на полив растений в теплице зависит прежде всего от меры водопотребления выращиваемой культуры. Особенно много воды требуется для нормального развития овощных культур. Для оценки водопотребления наиболее популярных тепличных растений сибирского региона огурцов и томатов можно воспользоваться данными, приведенными в работе [134], для растений выращиваемых на малообъемных субстратах типа минеральной ваты (табл. 4.4).

В сумму общего расхода воды должны также включаться водоудерживающая способность, погодные условия и фаза развития растений, температура, размеры самой теплицы и другие особенности. Для ориентировочных оценок в условиях индивидуальной теплицы можно принять расход воды равным 5 л/м<sup>2</sup> теплицы, как это рекомендуется в работе [135].

Весьма привлекательным представляется использование очищенных сточных вод для полива промышленных насаждений ивняка, используемого в качестве топлива [45, 98]. По мнению авторов работы [98], для этой цели экономически выгодно иметь орошаемую площадку около 20 га. Было показано, что в условиях Германии прирост растений превышает 2 м в год. Окружность стеблей на третий год после посадки достигает 26 см и их можно срезать для употребления.

Заслуживает внимания и осуществляемый в Германии проект получения энергии из метана, вырабатываемого в реакторах из смеси активного ила с измельченной травой [130]. Предполагается, что трава будет выращиваться на плантациях, орошаемых частично очищенной бытовой сточной водой. Из предварительных исследований разработчики проекта выяснили, что перспективным видом травы для возделывания на плантациях, орошаемых сточными водами является канареечник (*Phalaris arundinacea*). Растение извлекает почти 70% поступающего со сточными водами азота и дает значительный прирост, позволяющий за лето сделать два укоса.

*Утилизация растворов мощных средств.* Снижение концентрации примесей в очищаемой воде повышает эффективность очистных сооружений. Авторы работы [136] показали, что СПАВ являются опасным химическим токсикантом для прикрепленной микрофлоры, перерабатывающей сточные

## Водопотребление культуры огурца и томата [134]

| Месяц         | Огурец (3,5 растения на 1 м <sup>2</sup> ) |                                |                               | Томат (3,3 растения на 1 м <sup>2</sup> ) |                                |                               |
|---------------|--|--------------------------------|-------------------------------|---|--------------------------------|-------------------------------|
|               | На 1 растение,<br>л/сут                    | На 1 м <sup>2</sup> ,<br>л/сут | За месяц,<br>л/м <sup>2</sup> | На 1 растение,<br>л/сут                   | На 1 м <sup>2</sup> ,<br>л/сут | За месяц,<br>л/м <sup>2</sup> |
| Март          | 0,48                                       | 1,64                           | 35,81                         | 0,86                                      | 2,84                           | 87,98                         |
| Апрель        | 0,91                                       | 3,14                           | 94,33                         | 0,74                                      | 2,42                           | 72,75                         |
| Май           | 1,33                                       | 4,52                           | 141,75                        | 0,85                                      | 2,81                           | 86,96                         |
| Июнь          | 1,40                                       | 4,96                           | 148,65                        | 1,00                                      | 3,32                           | 99,60                         |
| Июль          | 1,53                                       | 5,40                           | 167,24                        | 1,06                                      | 3,50                           | 108,50                        |
| Август        | 1,33                                       | 4,60                           | 142,13                        | 0,92                                      | 3,03                           | 93,98                         |
| <b>Итого:</b> |  |                                | 729,92                        |   |                                | 611,122                       |

сточные воды в биореакторе. Поэтому даже частичное уменьшение концентрации СПАВ способно существенно повысить эффективность работы аэротенков. В частности, снижение концентрации СПАВ в сточных водах до 0,5 мг/л, как это требуют санитарные нормы, при доочистке воды в аэробном биореакторе с прикрепленной микрофлорой возможно в двух случаях:

- при увеличении времени обработки до 60 часов и выше;
- при снижении исходной концентрации СПАВ в поступающей на обработку воде до 2 - 3 мг/л. В этом случае время обработки может равняться 24 часам.

Следует отметить, что в масштабах крупных предприятий очистка растворов моющих средств отлажена очень хорошо. На эту тему имеется достаточно литературы, например [137]. Между тем, возможности регенерации и повторного использования растворов моющих средств в условиях децентрализованных систем водоочистки исследованы очень слабо.

Первые практические результаты в этом направлении были получены еще в 1933 г. Было показано [138], что при нагревании мицеллы мыла разрушаются, освобождая захваченные частички грязи. Это позволяет для очистки мыльных растворов воспользоваться способом, в котором предварительный нагрев отработанных растворов при температуре выше 100°C сочетается с последующим удалением грязи фильтрованием, центрифугированием или адсорбцией на подходящем адсорбенте.

Некоторое развитие применительно к бытовым моющим средствам, содержащим анионактивные СПАВ, идея регенерации моющих растворов получила в другой работе [139]: автор предлагает разрушать мицеллы мыла с захваченными частичками грязи при повышенных температурах (до 100°C) электродиализом и отделять загрязнения как и в предыдущей работе фильтрацией или центрифугированием. На основе этого предложения автор создал электрофильтр, который успешно работал на Киевском банно-прачечном комбинате.

Применение мембранных процессов (ультрафильтрация в сочетании с обратным осмосом) для очистки вод из душевых комнат описано в работе [140].

В настоящее время в связи с развитием биологических методов очистки сточных вод и ужесточенным экологическим контролем окружающей среды настоятельно рекомендуют применять в быту только биоразлагаемые моющие средства [1, 95]. Следует отметить, что выполнение этих рекомендаций не решает проблем, возникающих при залповом сбросе концентрированных растворов отработанных моющих средств или при недостаточном разбавлении поступающих на очистку моющих растворов.

*Другие применения компонентов сточных вод.* Использование в качестве органического удобрения активного ила, компостирование твердых примесей бытовых сточных вод и применение компоста весьма распространены в сельскохозяйственной практике многих стран [141]. Особенно перспективными оказываются, по мнению автора работы [142], мероприятия по рекультивации брошенных земель с помощью ила из очистных сооружений. Автор описал результаты эксперимента по восстановлению плодородия заброшенных земель в округе Сомерсет, США. Около 800 т воздушно-сухого компостированного ила вместе с добавкой извести были равномерно распределены на площади 4 га и смешаны с верхним слоем земли при помощи дисковой бороны. Затем участок был засеян смесью травы и бобов. Растения взошли и прекрасно развивались. Какого-либо отрицательного воздействия на окружающую среду в этом опыте замечено не было.

В литературе описаны и другие положительные результаты рекультивации земель с помощью ила. Однако, в целом эта область утилизации компонентов сточных вод имеет специфичную агрономическую направленность и поэтому здесь более подробно не рассматривается.

Существуют также различные варианты применения очищенных сточных вод в технических целях. Значительный интерес, например, может представить использование сточных вод в качестве теплоносителя. Следует отметить, что технические применения очищенных сточных вод представляют и самостоятельный интерес. Между тем, ограниченный объем и направленность настоящего обзора не позволяют их рассматривать в рамках данной работы.

## Глава 5. ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ АВТОНОМНОЙ ВОДООЧИСТКИ

### 5.1. Принципиальные подходы к построению автоматизированных систем

Наиболее эффективно управление процессом очистки и утилизации сточной воды может быть выполнено с помощью адаптивных (самонастраивающихся) систем управления. Примером такой системы являются живые машины (см. раздел 3.3). Однако разработка адаптивных автоматизированных систем для очистки сточных вод является чрезвычайно сложной задачей. Любое внешнее вмешательство в работу такой системы водоочистки должно быть крайне осторожным, иначе вместо повышения эффективности работы этой системы ей можно нанести ей непоправимый вред.

Более легко реализуемыми оказываются неадаптивные системы управления процессом водоочистки. В них для согласования работы отдельных базовых устройств водоочистки (узлов предочистки, основной обработки, дополнительной обработки, транспорта и утилизации отходов) используется общая система управления, работающая по заранее заданному алгоритму.

В литературе приводится описание отдельных опытных образцов неадаптивных систем управления процессом водоочистки бытовых сточных вод [2]. Однако даже для таких относительно простых систем ни в России, ни за рубежом не налажен серийный выпуск дешевого и надежного оборудования. Вследствие этого, по мнению авторов работы [119], создаваемые образцы автоматизированных систем водоочистки оказываются чрезвычайно дорогими, не всегда надежными и используют малую долю возможностей, которые может предоставить автоматизация.

Например, в работе [2] описана действующая автоматизированная линия очистки бытовых сточных вод на основе обратного песчаного фильтра. Система автоматизации с помощью компьютера управляет работой базового узла очистки - обратного песчаного фильтра и координирует капельное и подземное орошение чистой и сточной водами. Линия очистки в целом считается дорогой и, по мнению авторов работы [2], ее оправдано применять при расходе воды не менее  $0,8 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Тем не менее, представляется, что практически реализовать любую схему автономной технологии водоочистки удобно с помощью новейших, но достаточно доступных средств автоматизации и контроля. Автоматизация обеспечивает хорошее качество очистки, высокую производительность

работы очистных сооружений, но и жесткие санитарно-экологические нормы, облегчает повторное использование и утилизацию сточной воды и полезных компонентов.

Учитывая, что на сегодняшний день компьютер - это самый распространенный, надежный и сравнительно недорогой прибор, в работе [119] его рекомендуют использовать в качестве элемента системы регулирования процессом водоочистки, возложив на него функции управления системой сбора, хранения и обработки результатов поиска и выработки решений по оптимальному управлению процессом водоочистки.

Важными резервами снижения себестоимости очистки бытовых сточных вод на небольших автоматизированных автономных сооружениях являются подключение к ним большего числа потребителей и более полное использование возможностей автоматизации.

## **5.2. Основные средства автоматизированных систем**

Расширение возможностей автоматизации процесса водоочистки напрямую связано с наличием сравнительно дешевых, доступных массовому потребителю, средств получения информации на определенных стадиях водоочистки, т. е. первичных измерительных преобразователей (датчиков) измеряемый параметр - электрический сигнал, средств воздействия на определенные параметры технологического объекта управления (ТОУ), средств контроля и регулирования. Эти средства, как видно из приведенной ниже классификационной схемы (рис. 5.1), составляют фундамент автоматизированной системы любого уровня иерархии.

В рассматриваемой здесь системе управления процессом нижний уровень (1) - это средства получения информации о параметрах технологического объекта управления (датчики), средства непосредственного воздействия на ТОУ, включающие в себя внешние ингредиенты, необходимые для поддержания работоспособности ТОУ.

Второй уровень - это устройства первичного анализа, поступающей информации и выработки сигналов управления для технических средств первого уровня (дозаторов, регуляторов и других). В ряде случаев датчики и управляющие органы неотделимы. Поэтому ТОУ может получать управляющие воздействия от датчиков-регуляторов.

Третий уровень - средства централизованной обработки информации от датчиков и регуляторов ТОУ, а также внешней дополнительной информации, например адаптивных алгоритмов управления и выработки решений для регуляторов ТОУ с целью оптимизации процессов ТОУ для получения заданных критериев качества.

Высший четвертый уровень - это централизованная система управления целого комплекса технологических объектов, обеспечивающая контроль за работой локальных систем третьего уровня, статистический анализ качественных показателей отдельных ТОУ и выработки на этой основе частных оптимальных решений для конкретных систем третьего уровня.

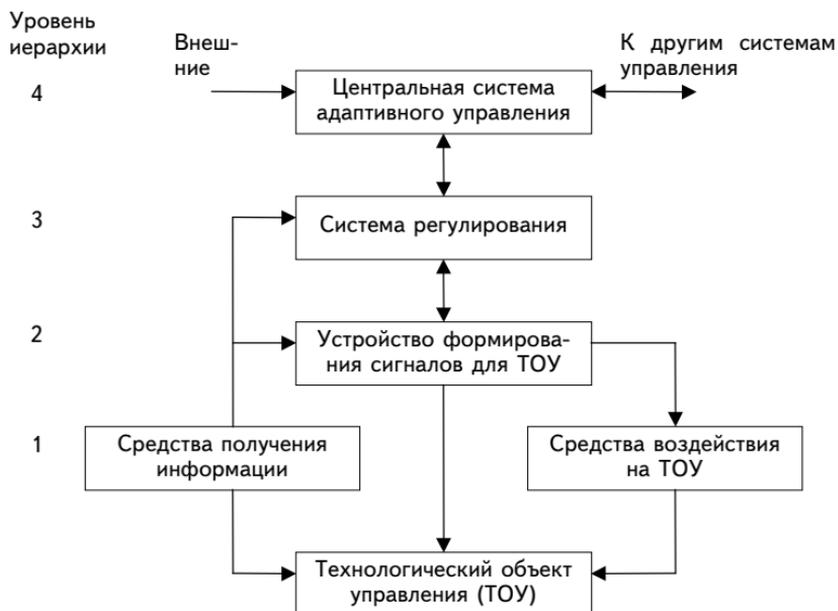


Рис. 5.1. Классификация основных средств автоматизированной системы

В литературе приводится обширная информация о различных простейших средствах автоматизации механического дозирования жидкостей и порошков по массе, объему, регулированию температуры, например, [135] и т. д. Сравнительно недавно появились описания датчиков состава воды, специализированных для использования на небольших автоматизированных системах водоочистки. В [143] описан опытный образец специализированного зонда для непрерывного контроля состава технологических вод при автоматизации децентрализованной очистки бытовых стоков. Основу зонда составляет проточная оптическая ячейка, снабженная узлами регистрации интенсивностей флуоресценции, светорассеяния и прошедшего света. Эти интегральные характеристики раствора позволяют оценивать сумму взвешенных и растворенных органических веществ, а также мутность анализируемой жидкости. Схема оптической ячейки представлена на рис. 5.2.

Мутность определяется по интенсивности рассеянного света для исследуемой жидкости и некоторой контрольной жидкости с использованием уравнения Рэлея.

Определенный интерес представляет автоматизированный микропроцессорный прибор для прямого потенциометрического экспресс-определения химического потребления кислорода (ХПК) в водных средах, разработанный фирмой "Потенциал" (Санкт-Петербург) [144].

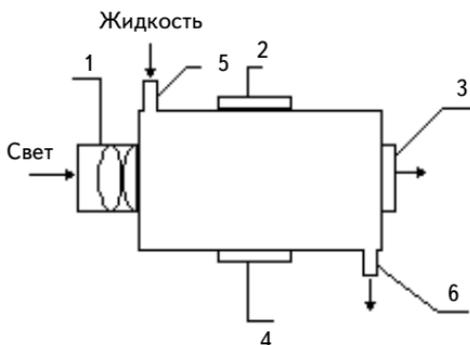


Рис. 5.2. Схема оптической ячейки:

1 - светофильтры возбуждающего потока света. Узлы регистрации световых эффектов: 2 - флуоресценции; 3 - прошедшего света; 4 - рассеянного света. Штуцеры ввода 5 и вывода 6 исследуемой жидкости.

По данным разработчиков измеритель ХПК позволяет:

- проводить непрерывный контроль за ходом окисления загрязнений вод с выводом сигнала на самопишущее устройство или компьютер;
- дифференцировать вклад в величину ХПК различных по скорости окисления групп органических веществ.

Серийно выпускаемый прибор имеет следующие технические характеристики:

| Время анализа | Диапазон определений | Погрешность определений |
|---------------|----------------------|-------------------------|
| 2 - 5 мин     | 30 - 25000 мгО/л     | 12 - 3%                 |

К сожалению, в известной нам литературе не описано применение этого прибора или датчиков ХПК без регистрирующего блока в системах автоматизированного контроля водоочистки. Это пока не позволяет оценить пригодность прибора для использования в небольших системах децентрализованной водоочистки.

### 5.2.1. Методы аналитического контроля сточных и технологических вод

На основе предварительных лабораторных исследований в [119] было показано, что для оптимальной работы блоков автономной очистки стоков по отдельной схеме (см. рис. 3.3) желательно поддерживать состав воды по компонентам и характеристикам, приведенным в табл. 5.1.

Методы определения этих веществ должны быть экспрессными, надежными и пригодными для использования в автоматизированных системах.

Т а б л и ц а 5.1

Компоненты и характеристики, по которым следует регулировать составы воды в блоках системы водоочистки

| Блок                          | Компоненты и характеристики                                      | Частота анализов   |
|-------------------------------|--|--------------------|
| Фильтр-усреднитель            | Органическое вещество, рН, общая минерализация, редокс-потенциал | 1 - 2 раза в сутки |
| Аэробный биофильтр            | Редокс-потенциал, рН, $\text{NO}_3^-$                            | По потребности     |
| Кондиционер воды для орошения | рН, $\text{NO}_3^-$ , $\text{Ca}^{2+}$ , органическое вещество   | По потребности     |
| Блок очистки ПАВ              | ПАВ  | По потребности     |

Анализ литературных данных показывает, что для оценок концентраций ионов наиболее перспективны методы потенциометрии [145], а для контроля содержания органических веществ и ПАВ метод измерения флуоресценции этих веществ [146] с использованием проточных измерительных ячеек.

В табл. 5.2 сопоставлены нормативы ПДК для воды разного качества и интервалы ионометрических определений некоторых ионов с помощью аттестованных методик. Табл. 5.2 представляет собой фрагмент таблицы из работы [147].

Выбор флуоресцентных методов определения сумму органических веществ связан с тем, что широко применяемые в настоящее время косвенные методы определения суммарного содержания органических веществ по химическому и биологическому потреблению кислорода (ХПК и БПК) не могут быть автоматизированы из-за многостадийности операций, являющихся трудоемкими, субъективными и требуют большого расхода реактивов.

Т а б л и ц а 5.2

Нормативы ПДК и интервалы ионометрических определений [147]

| Ион, рН | Интервал для очищенной сточной воды*, мг/л | ПДК, мг/л для воды |         |                  |
|---------|--|--------------------|---------|------------------|
|         |  | питьевой           | сточной | рыбохоз. назнач. |
| Аммоний | 0,4 - 180                                  | 0,5                | 8,0     | 0,5              |
| Медь    | 1,0 - 100                                  |                    | 0,1     | 0,001            |
| Нитрат  | 0,14 - 1400                                | 10                 | 10,4    | 40,0             |
| рН      | 1 - 12                                     | 6,0 - 9,0          | -       | -                |
| Фторид  | 0,1 - 1900                                 | 0,7 - 1,5          | 3,3     | 0,05             |

\*ПДК для сточных вод Новосибирской области.

Кроме того, эти методы не полностью обеспечивают контроль загрязнения сточных вод ввиду неполноты и неоднозначности окисления различных органических веществ.

Но применение этих методов сталкивается с определенными трудностями, связанными с адсорбцией на рабочих поверхностях электродов и кювет отдельных компонентов сточных вод. Особенно значительные нарушения возникают при ионометрических измерениях, поскольку электроды находятся в прямом контакте с исследуемой средой. В этом случае на поверхности индикаторных электродов часто протекают процессы, меняющие электродные характеристики и прежде всего крутизну электродной функции  $S$ . Это способно существенно изменить градуировку электрода.

Чтобы избежать значимые ошибки в результатах измерений индикаторные электроды следует эпизодически калибровать. Особенно важен контроль величины  $S$  при работе со старыми электродами или электродами, долго находящимися в сточной воде, содержащей потенциально яды для электродов, например гуматы и фульваты, основной поток которых поступает в очистные устройства из почвенно-растительного фильтра.

Для использования в системе автоматизации представляет интерес методика калибровки ионоселективных электродов [139] путем титрования исследуемой пробы с концентрацией определяемого вещества  $C_x$  добавками титранта с много большим содержанием определяемых ионов и обработкой данных по уравнению:

$$\Delta E = S \lg \Delta C - S \lg C_x.$$

Уравнение выполняется при условии, что  $\Delta C \gg C_x$ .

Здесь  $\Delta E = E$  (исходный раствор + добавка) -  $E$  (исходный раствор) - изменение потенциала индикаторного электрода при внесении добавки определяемого иона;

$\Delta C$  - изменение концентрации определяемого иона при внесении добавки;

$S$  - крутизна электродной функции, равная  $RT/nF$ .

Погрешность определения  $S$  рассчитывается по формуле

$$\delta = C_x / (C_x + \Delta C).$$

Следует отметить, что в данном методе вполне сохраняются преимущества техники стандартных добавок, делающие ненужными моделирование состава контролируемого раствора.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бытует мнение, что существующие технологии очистки бытовых сточных вод от объектов с небольшим расходом воды остаются на уровне развития конца XIX начала XX вв. Как правило, эти технологии недостаточно проработаны в экологическом плане и поэтому сегодня во многих случаях вступили в конфликт с экологическими проблемами населенных пунктов.

Первыми это почувствовали в Западной Европе. Законодатели ряда стран еще в 70-х гг. этого столетия ужесточили требования к системам очистки бытовых сточных вод не только в городе, но и в сельской местности. Это способствовало развитию новых, экологически обоснованных технологий, в том числе на основе естественных процессов водоочистки. В рамках разрабатываемых технологий стремятся увязать процессы очистки и утилизации компонентов бытовых стоков. Большие возможности для этого предоставляют современные средства физико-химического контроля и автоматизации технологии в целом.

Особенно привлекательными представляются технологии, использующие раздельную обработку стоков разного качества и технологии, вытекающие из концепции "живые машины". В соответствии с этой концепцией рабочими узлами водоочистной системы являются специально подобранные, связанные между собой биологические сообщества.

Выбор конкретной технологии в немалой степени зависит от местных климатических и гидрогеологических условий, а также финансовых возможностей. Снять многие ограничения позволяет размещение очистных сооружений в специальном теплом помещении. Но это значительно удорожает строительство и эксплуатацию этих сооружений. В большинстве случаев приходится искать компромиссные решения, которые удовлетворяли бы качеству очищенных вод и экологическим требованиям, и были бы достаточно дешевы в строительстве и в эксплуатации.

К сожалению, важность этого направления в экологическом малоэтажном домостроении в России сегодня мало кто учитывает. В России можно встретить лишь единичные издания, посвященные разработке технологий децентрализованной очистки бытовых стоков от потребителей с небольшим расходом воды. При этом в стране накоплен богатейший опыт централизованной очистки стоков и написано много прекрасной литературы по этой теме. Поэтому анализируя литературу на русском языке, в большинстве случаев автор включил в обзор и отдельные издания по централизованной водоочистке, стараясь выделить и привести в обзоре сведения, пригодные

для использования при разработке децентрализованных систем водоочистки.

Это неизбежно накладывает отпечаток субъективного в представлении отдельных вопросов. Тем не менее, автор надеется, что читатель правильно поймет выбор автора, а обзор в целом окажется полезным для него и поможет правильно определиться с выбором приемлемой системы автономной очистки сточных вод.

## СОКРАЩЕНИЯ

БПК - биологическое потребление кислорода

ВНИИ ВОДГЕО - Научно-исследовательский институт водоснабжения и гидрогеологии

НАСА - Нижегородская государственная архитектурно-строительная академия

НГТУ - Новосибирский государственный технический университет

ООУ - общий органический углерод

ПАВ - поверхностно-активные веществ

ПДК - предельно-допустимая концентрация

ПСЖ - процеживатель сточной жидкости

СПАВ - синтетические поверхностно-активные веществ

ФКФ - фекальные колиформы

ХПК - химическое потребление кислорода

ЦНИИЭП - Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Жуков Борис Дмитриевич - к.х.н., доцент НГТУ, ведущий сотрудник научно-производственной фирмы «Экодом».

Имеет патенты и является автором нескольких десятков научных статей в области исследований экологии водных сред, разработки технологий децентрализованной очистки бытовых стоков и методик физико-химического анализа водных сред.

## ЛИТЕРАТУРА

1. United States Environmental Protection Agency. Office of Water 830/F-92/001 May, 1992. Small Wastewater Systems Alternative Systems For Small Communities And Rural Areas, P. 8.
2. Art Ludwig. Create an Oasis with Graywater. - Santa Barbara, 1994. - P. 46.
3. Gunter Fehr. Dezentrale Abwasserbehandlung // GWA. - 1995. - Vol. 7. - P. 580-585.
4. Децентрализованная система канализации с фильтрующей кассетой: Информ. листок / ЦНИИЭП инженерного оборудования. - М., 1986.
5. Huser M., Argenton H., Long T. Kleinklaranlagen. Praktische Erfahrungen aus dem Kanton Basel-Landschaft // GWA. - 1995. - Vol. 7. - P. 565 - 568.
6. Zhukov B.D. Project of autonomous treatment of sewages from Siberian ecological house. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Recycling the Resource. Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the 2<sup>d</sup> Conf. / Editors J. Staudenmann, A. Schonborn, C. Etnier. - Transtec Publications. Switzerland, 1996. - P. 209 - 213.
7. Gigon F., Leuzinger Y. Wastewater Management Outside Urban Areas: A Conceptual Approach to Integrate Economical, Practical and Ecological Constraints with Legal and Social Aspects. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Ibid. - P. 261 - 265.
8. Guterson M. Living Machines // Context. - 1995. - N 35. - P. 37 - 38.
9. Мочалов И.П., Родзиллер И.Д., Жук Е.Д. Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных мест. - Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1991. - 160 с.
10. Денисова А.И., Сиренко Л.А., Эльпинер Л.И. Качество воды в водохранилищах и санитарно-гигиенические условия их использования // Водохранилища и их воздействие на окружающую среду / Ред. Г.В. Воропаев, А.Б. Авакян. - М.: Наука, 1986. - 367 с.
11. Strauss M. Health (pathogen) considerations regarding the use of human waste in aquaculture. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Recycling the Resource. Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the 2<sup>d</sup> Conf. / Editors J. Staudenmann, A. Schonborn, C. Etnier. - Transtec Publications. Switzerland, 1996. - P. 83 - 98.
12. СНиП 2.04.03-85. Канализация: наружные сети и сооружения.
13. The Urban Environment in Europe. Designing Ecological Settlements Ecological Planning and Building: Experience in new housing and in the renewal of existing housing in European countries. Kennedy Margrit and Declan Kennedy (Editors) on behalf of European Academy of the Urban Environment. Oho-Sentry NRW, Berlin: Reamer, 1997.
14. Першин Н.И. О нормировании водопотребления в сельских населенных пунктах // Водоснабжение и санитарная техника. - 1990. - N 5. - С. 5 - 7.
15. Крейсл Дж.Ф. Системы сбора и очистки сточных вод малых населенных пунктов // Там же. - 1994. - N 1. - С. 23.

16. Грилер И. Очистные сооружения малой канализации. - М.: Стройиздат, 1980.
17. Литавар В.В., Станчик Г.И. Благоустройство садово-огородных и приусадебных участков. - Минск: Ураджай, 1993. - 304 с.
18. Погудина Е.И. Что делать со сточными водами. - М.: Стройиздат, 1995. - 119 с.
19. Рандольф Р. Что делать со сточными водами: Пер. с нем. - М.: Стройиздат, 1987. - 118 с.
20. Мисютин В.М. Современный усадебный дом. - М.: Росагропром, 1990. - 252 с.
21. Miljoverndepartementet, Forskrifter om utslipp fra separate avlopsanlegg (1992).
22. А.С. СССР N 1754675 А1, кл. С02 F3/28. Ильин Ю.А., Игнатчик В.С., Ильина С.Ю. Септик. - 1990.
23. Инженерное оборудование индивидуального дома: Справ. пособие / А.С. Шварцман, Г.Р. Рабинович, И.Ш. Свердлов, О.Г. Лоодус. - М.: Стройиздат, 1993. - 134 с.
24. Jenssen P.D., Vain A. Ecologically sound wastewater treatment: Concepts and implementation // Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the International Conference at Stedsund Folk College. Sweden March 24-28, 1991 / Ed. Etnier, B. Guterstam, Bokskogen. - Sweden, 1991. - P. 148.
25. Rasmussen G., Jenssen P.D., Westlie L. Graywater Treatment Options // Environmental Research Forum. - 1996. - Vol. 5 - 6. - P. 215 - 220.
26. А.С. СССР N 1756275, кл. С02 F1/00. Кудрявцев Г.С. Устройство для ускорения сточных вод., 1989.
- 27 А.С. СССР N 1685881 А1, кл. С02 F3/32. Юрьев Б.Т. Почвенный фильтр. - 1989.
28. А.С. СССР N 1527187, кл. 4 С02 F3/20. Лясин Ю.М., Матвеев В.Н. Пневматический аэратор. - 1987.
29. А.С. СССР N 1555304, кл. 5 С02 F3/20. Устройство для аэрации жидкости / Г.Н. Петьхина, А.Ш. Шаяхметов, М.Х. Кишиневский, А.В. Логинов. - 1988.
30. А.С. СССР N 1341167, кл. С02 F3/14. Устройство для аэрации жидкости / В.В. Сысуев, А.Р. Гросс, А.А. Чуфаровский и др. - 1986.
31. Wastewater Purification. English edition / Ove Loland, B. Guterstam, B. Guterstam et al. - Jordt Bogtryk & Offset, Nexø, Denmark, 1990. - 38 p.
32. Прочееватели сточной жидкости. Рекламная информация фирмы "Дорком-техника" // Водоснабжение и санитарная техника. - 1994. - N 1. - С. 16.
33. Assignment of On-Site Graywater and Combined Wastewater Treatment and Recycling Systems, National Association of Plumbing-Heating-Cooling Contractors? Falls Church, VA, USA (1992).
34. Флотатор-фильтр (отстойник-фильтр): Информ. лист / Нижегород. гос. архитектурно-строительная академия. - Нижний Новгород, 1997.
35. Schonborn A, Schudel P., Zust B. Abwasserbehandlung mit naturnahen Kleinklaranlagen // GWA. - 1995. - Vol. 7. - P. 551 - 557.
36. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. - М.: Наука, 1972. - С. 343.
37. Ваш дом: Пособие индивидуальному застройщику / В.И. Борисов, Х.А. Бутусов, Ю.П. Бичев и др. - М.: Колос, 1992. - 294 с.
38. Эйнон Л.О. Ботаническая площадка - биоинженерное сооружение для очистки сточных вод // Водные ресурсы. - 1990. - N 4. - С. 149 - 161.
39. Hofmann K. The role of plants in subsurface flow constructed wetlands // Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the International

Conference at Stedsund Folk College. Sweden March 24-28, 1991 / Ed. Etnier, B. Guterstam, Bokskogen. - Sweden, 1991. - P. 199.

40. Drizo A. Phosphorous Removal by Horizontal Read Beds using Shale as a Substrate. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Recycling the Resource. Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the 2<sup>d</sup> Conf. / Editors J. Staudenmann, A. Schonborn, C. Etnier. - Transtec Publications. Switzerland, 1996. - P. 351 - 354.

41. Jenssen P.D. Ecological Engineering for Wastewater Treatment Fundamentals and Examples. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Ibid. - P. 15 - 23.

42. Элик Э.Е., Овцов Л.П., Музыченко Л.А. Принципы проектирования систем почвенной очистки сточных вод в США: Обзорная информ. / ЦБНТИ Минводхоза СССР. - Вып. 2. - М., 1988. - С. 52.

43. Юрьев Б.Т. Очистка сточных вод малых объектов. - Рига: Авоте, 1983. - 173 с.

44. Reed S.C. Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. A technology assessment. US EPA, 832-r-93-001. (1993).

45. Hasselgren K. Wastewater Irrigation of Energy Plantations. - Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Recycling the Resource. Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the 2<sup>d</sup> Conf. / Editors J. Staudenmann, A. Schonborn, C. Etnier. - Transtec Publications. Switzerland, 1996. - P. 183 - 188.

46. Ball H.L. Sand Filters and Shallow Drainfields. Orenco Systems Inc., Roseburg, OR (1995).

47. Jenssen P.D., Krogstad T., Mahlum T. Wastewater treatment by constructed wetlands in the Norwegian climate: Pretreatment and optimal design. - Proceedings of the International Conference at Stedsund Folk College. Sweden March 24-28, 1991 / Ed. Etnier, B. Guterstam, Bokskogen. - Sweden, 1991. - P. 227 - 238.

48. Ou Z.Q., Sun T.H. From Sewage Irrigation to Ecological Engineering Treatment for Wastewater in China // Recycling the Resource. Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the 2<sup>d</sup> Conf. / Editors J. Staudenmann, A. Schonborn, C. Etnier. - Transtec Publications. Switzerland, 1996. - P. 25 - 34.

49. Deelstra T. Ecological approaches to wastewater management in urban regions in Netherlands // Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the International Conference at Stedsund Folk College. Sweden March 24-28, 1991 / Ed. C. Etnier, B. Guterstam, Bokskogen. - Sweden, 1991. - P. 159.

50. // Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the International Conference at Stedsund Folk College. Sweden March 24-28, 1991 / Ed. C. Etnier, B. Guterstam, Bokskogen. - Sweden 1991. - P. 365.

51. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Recycling the Resource. Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the 2<sup>d</sup> Conf. / Editors J. Staudenmann, A. Schonborn, C. Etnier. - Transtec Publications. Switzerland, 1996. - P. 479.

52. Ozimek T. Usefulness of Lemna minor in Wastewater Treatment in Temperate Climate - Myth or Fact? - Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Ibid. - P. 297 - 302.

53. А.С. СССР N 1747398 А1, кл. C02 F3/32. Юрьев Б.Т. Способ круглогодичной очистки сточных вод. - 1990.

54. Карелин Я.А., Журов В.Н., Жуков Д.Д. Очистка сточных вод в биологических прудах. - М., 1986. - 74 с.

55. А.С. СССР N 1198021, кл. C02 F3/32. Маневич Е.Ф., Еникеев Ч.М., Шаповалова Л.М. Способ доочистки сточных вод в биологических прудах.

56. А.С. СССР N 806613, кл. C02 F3/32. Рогозов Г.Г., Соколов И.П., Жонсон А.А. Устройство для очистки воды в каналах и протоках. - 1978.

57. Пат. N 4-10399, кл. 5 C02 F3/32, 3/06, 3/30. Мицубиси юси К.К. Способ очистки сточных вод с формированием стекающего под действием силы тяжести потока. - 1992.
58. А.С. СССР N 1571001, кл. 5C 02 F3/00. Сооружение для биологической очистки сточных вод / В.Г. Магмедов, М.А. Захарченко, Л.И. Яковлева и др. - 1986.
59. А.С. СССР N 1758025 A1, кл. 5 C02 3/32. Способ биологической очистки вод / Н.И. Шевякова, Ю.Г. Федосов, В.С. Алтунин и др. - 1990.
60. А.С. СССР N 1719320 A1, кл. C02 F3/32. Чистяков Н.Е., Калинин И.В., Матвеев В.И. Способ очистки сточных вод. - 1990.
61. Ozimek T., Rasmussen G. Case Study: Wadenswil Aquaculture Research Project. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Recycling the Resource. Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the 2<sup>d</sup> Conf. / Editors J. Staudenmann, A. Schonborn, C. Etnier. - Transtec Publications. Switzerland, 1996. - P. 461 - 462.
62. Пат. США N 5106504, C02 F3/32. Morrey David P., Creek Walnut. Artificial open water structures. - 1991.
63. Пат. США N 5094752, кл. C02 F3/12. Способ аэробной очистки сточных вод с регулированием щелочности. - 1992.
64. Пат. Германии N 4119835, кл. C02 F3/02. Horst S. Способ биологической очистки сточных вод в баке, заполненном водой.
65. Пат. США N 5096577, кл. 5 C02 F3/32. Floating aquatic plant water treatment system // H. Ngo Viet, D. Warren Poole, J. Hancock Sena et al. - 1989.
66. А.С. СССР N 1699963 A1, кл. C02 F3/32. Шевченко В.Н., Громов В.В. Способ очистки воды.
67. Пат. Японии В 2-30318, кл. C02 F3/32. Способ и устройство для очистки загрязненной воды.
68. Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений / Ю.В. Воронов, В.П. Саломеев, А.Л. Ивчатов и др. - М.: Стройиздат, 1990. - 222 с.
69. Пат. США N 5137625, кл. 5 C02 F3/32. Система очистки воды с помощью водных растений и микроорганизмов.
70. Сборник рефератов отечественных и зарубежных изобретений по биологической очистке сточных вод / Союзводоканал. - М., 1992.
71. Родин В.Н., Афанасьева А.Ф., Ловцов А.Е. Биологическая очистка сточных вод в аэротенках с прикрепленной микрофлорой // Водоснабжение и санитарная техника. - 1990. - N 5. - С. 26.
72. А.С. СССР, N 1776640 A1, кл. C02 F3/04. Феофанов Ю.А., Райцзыкова Е. Биореактор для очистки сточных вод. - 1990.
73. А.С. СССР N 1769390 A1. Юрьев Б.Т., Дорожкина С.К. Элемент для загрузки биофильтров.
74. Пат. Великобритании N 2253622, кл. C02 F3/30, 3/10. Способ биохимической очистки сточной воды. - 1992.
75. Заявка ФРГ N 4109562, кл. C02 F3/06. Hattori Takashi, Nakano Kazuo, Nukki Hanbai. Tank mit biologischen Film zur Abwasserbehandlung. - 1991.
76. Скирдов И.В., Прохоров Е.И. Очистка сточных вод на сооружениях малой мощности // Водоснабжение и санитарная техника. - 1996. - N 4. - С. 27 - 29.
77. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды. - М.: Высш. шк., 1978. - 268 с.
78. Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л. Метантенки. - М.: Стройиздат, 1991. - 258 с.
79. Ehrlich Karl F., Cantin Marie-Claude, Turcotte Andree. A diagnostic and ecological approach to the purification of sewage, toxic substances, and water bodies / Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the International Conference at Stedsund Folk College. Sweden March 24-28, 1991 / Ed. C. Etnier, B. Guterstam, Bokskogen. - Sweden, 1991. - P. 95.

80. А.С. СССР N 1528740, кл. C02 F3/02. Аэротенк / В.В. Найдено, Ю.Ф. Колесов, Н.П. Мушников, Ч.А. Дзиминкас. - 1989.
81. Проектирование бессточных схем промышленного водоснабжения / И.И. Браславский, В.Д. Семенюк, А.М. Когановский и др. - Киев: Будівельник, 1977. - 204 с.
82. Niigata daigaku nogakubu kenkyu hokoku / S. Misawa, M. Toyota, T. Kondoh et al. // Bul. Fac. Agr. Niigata Univ. - 1993. - N 45. - P. 131.
83. А.С. СССР N 1728134 A1, кл. C02 F3/28. Маслич В.К., Павличенко В.Н. Способ анаэробного сбраживания органических отходов и устройство для его осуществления. - 1989.
84. Шевцов В.Н., Морозова К.М. Биосорберы - перспективные сооружения для глубокой очистки природных и сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. - 1994. - N 1. - С. 8.
85. Биосорберы: Информ. лист / Нижегород. гос. архитектур.-строит. акад. - Нижний Новгород, 1997.
86. Кульский Л.А., Гробанюк В.Д., Савлук О.С. Электрохимия в процессах очистки воды. - Киев: Техника, 1987.
87. Жуков Б.Д. Применение электрохимических процессов для очистки бытовых сточных вод. Экологический поселок и экологический дом в Сибири: Тез. докл. междунар. семинара 8-9 ноября 1990 г. - Новосибирск, 1990.
88. Яковлев С.В., Краснобородко И.Г., Рогов В.М. Технология электрохимической очистки воды. - Л.: Стройиздат, 1987. - 247 с.
89. Душкин С.С. Улучшение технологии очистки природных и сточных вод магнитным полем. - Харьков: Выща шк., 1988.
90. Бурсова С.Н., Кондзас П.Ф., Субботин В.А. Применение УФ-облучения в технологии очистки сточных вод: Серия охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. Вып. 5 (48) / ВНИИ ВОДГЕО, НИИТЭХИМ. - М., 1983.
91. Пат. США N 4230571, кл. C02 B3/08. Dadd C.R. Ozone/ultraviolet water purification. - 1979.
92. Acher A, Fischer E., Manor Y. New technologies for disinfection of domestic effluents for agricultural reuse // Modern agriculture and the environment. - Kluwer Academic Publishers. - 1997. - P. 309 - 315.
93. Пат. Россия N 94013418, кл. C02 F1/32, G05 D27/00. Бактерицидная система для обработки воды / А.Д. Поляков, А.А. Макаров, Е.В. Капустин и др. - 1996.
94. Игольницкий А.П., Королев А.А., Худoley В.В. Канцерогенные вещества в водной среде. - М.: Наука, 1993. - 133 с.
95. Информ. лист компании Оазис, США.
96. Новые решения в подготовке питьевых вод / Б.Г. Журба, Т.Н. Любина, Е.А. Мезенева и др. // Водоснабжение и санитарная техника. - 1994. - N 1. - С. 3.
97. Кожин В.Ф., Кожин И.В. Озонирование воды. - М.: Стройиздат, 1974. - 160 с.
98. Niklas J., Korak M., Hagenbuch S. Better Marketing Chances for Advanced Soil Filter Technology in Combination with Publicly Financed Labour. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Recycling the Resource. Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Conf. / Editors J. Staudenmann, A. Schonborn, C. Etnier. - Transtec Publications. Switzerland, 1996. - P. 255.
99. Шармановский И.М. Отопление, водоснабжение и канализация сельских домов. - М.: Россельхозиздат, 1978. - 39 с.
100. Русский хутор: Энцикл. фермер. хоз-ва. - М.: Форум, 1992.

101. Огородников И.А. Биотуалет типа Klivus Miltrum. Экологический поселок и экологический дом в Сибири: Тез. докл. междунар. семинара 8-9 ноября 1990. - г. Новосибирск, 1990.
102. Пат. США N 4933076, кл. 5 C02 F3/30. Ioshima Eiji, MatsuFuji Mahisa. Multi-unit flush system having carbon adsorber column in calcium carbonate bed. - 1988.
103. Пат. США N 4892658, кл. 4 C02 F9/00. Martin Joseph P. Wastewater treatment system. - 1988.
104. Кузубова Л.И., Кобрин В.Н. Химические методы подготовки воды: хлорирование, озонирование, фторирование. Аналит. обзор. - Новосибирск, 1996. - (Сер. экология. Вып. 42).
105. Химическая очистка сточных вод: Рекл. информ. Allied Colloids GmbH, Hamburg, 1997.
106. Пат. на изобретение по заявке N 97106058. Адсорбент для очистки от нефтепродуктов / Я.А. Гофман, Ю.В. Колесников, Ю.И. Батура и др. - 1997.
107. Антискоррозийная защита санитарно-технического оборудования / К. Мербе, В. Моренц, Г.-В. Польман, Г.М. Вернер. - М.: Стройиздат, 1990. - 263 с.
108. Гидроизоляция, ремонт и защита бетона, кирпича и камня. Промышленные покрытия. Thoro system products. Рекламные материалы фирмы. - Thoro N.V, 1997.
109. Ремонтная и защитная система для бетона. Рекламные материалы фирм De Neef Construction and Chemicals.Vandex Ltd., 1997.
110. Рекламные материалы. Envirogel. A Product That Protects the Environment. Wyо -Ben., Inc. Billings, Montana, 1997.
111. Асбах У. Использование дождевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. - 1993. - N 4. - С. 15. - N 5. - С. 20.
112. Heeb J., Zust B. Sand and plant filter systems // Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the International Conference at Stedsund Folk College. Sweden Martch 24-28, 1991 / Ed. Etnier, B. Guterstam, Bokskogen, Sweden, 1991. - P. 199.
113. Пат. США N 5106493, кл. 5 B01 B21/24. McIntosh T. Grey water reclamation and reuse system.
114. Пат. США N 4904387, кл. 4 C02 F3/30. Jordan Edward J., Theoford Corp. Waste treatment and water recycling toilet system. - 1988.
115. Пат. Японии N 417117, кл. 5 C02 F3/30, 3/06. Орихара сэисакусу К.К. Установак с замкнутой схемой очистки сточных вод.
116. А.С. СССР N 1281529, кл. C02 F3/32. Юскина М.Р. Способ очистки сточных вод.
117. А.С. СССР N 1756288, кл. C02 F3/32. Устройство для очистки сточных вод / И.В. Гриб, А.И. Мережко, К.Б. Якубовский, В.В. Малофеев. - 1992.
118. Пат. на изобретение N 9711437, кл. 6 C02 F3/30, C02 F3/32. Жуков Б.Д., Огородников И.А. Устройство для обработки бытовых сточных вод. - 1997.
119. Zhukov B.D., Lapshin A.I. Analytical control of water composition in automated autonomous technology of domestic water treatment. Proceedings of the 1<sup>st</sup> Korea - Russia International Symposium of Science and Technology, Ulsan, 1997. - P. 141 - 146.
120. Ocean Arks Internaional: Информ. листок. OAI, Falmouth, MA 02540.
121. Todd J., Josephson B. Living Machine: Theoretical Foundations and Design Precepts // Annals of Earth. - 1994.- Vol. XII. - N 1. - P. 16.
122. Stensund wastewater aquaculture. Ecological engineering for wastewater treatment. Stensund ecological center. Trosa Bild AB. Ostertalie tryckeri AB Материалы конференции Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Switzerland, Wadenswil, 1996. - 7 p.

123. Hellstrom D., Karrman E. Nitrogen and Phosphorus in Fresh and Stored Urine. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Recycling the Resource. Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the 2<sup>d</sup> Conf. / Editors. J. Staudenmann, A. Schonborn, C. Etnier. - Transtec Publications. Switzerland, 1996. - P. 221 - 226.

124. Adamsson M., Dave G. Toxicity of Human Urine, its Main Nitrogen Excretory and Degradation Products to *Daphnia magna*. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Ibid. - P. 137 - 144.

125. Otterpohl R., Albold A., Grottker M. Integration of Sanitation into Natural Cycles: A New Concept for Cities. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Recycling the Resource. Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the 2<sup>d</sup> Conf. / Editors. J. Staudenmann, A. Schonborn, C. Etnier. - Transtec Publications. Switzerland, 1996. - P. 227 - 232.

126. Мудрый И.В. Гигиенические аспекты проблемы орошения земледельческих угодий сточными водами, содержащими ПАВ // Врачебное дело. - 1989. - N 4. - С. 105.

127. Охрана окружающей среды и здоровье населения при реиспользовании сточных вод за рубежом: Обзор / Н.А. Романенко, Л.В. Федянина и др. // Гигиена и санитария. - 1993. - N 8. - С. 27.

128. Зимовец В.А., Хитров Н.В. Экологическая оценка пригодности воды для орошения почв // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. - 1993. - N 4. - С. 41.

129. Экологические требования к орошению почв России: Рекомендации / Сост. В.А. Зимовец, А.Г. Бондарев, И.П. Айдаров и др. - М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1996. - 72 с.

130. Karlberg T.S., Carlsson I., Geber U. Nutrient Reuse for Biomass Energy Production. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Recycling the Resource. Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the 2<sup>d</sup> Conf. // Editors. J. Staudenmann, A. Schonborn, C. Etnier. - Transtec Publications. Switzerland, 1996. - P. 197 - 202.

131. Trosa Municipality. Reconnecting the City and the Countryside: Preventing Wastewater and Developing Sustainable Agriculture through Urine Recycling in Trosa Municipality. Technical Description, EU Life proposal N LIFE95/s/A13/S/320/OMSV (1995).

132. Morin H. Nutrient Considerations for Commercial Greenhouse Plants in Hydroponic Cultivation with Sewage Water. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) // Recycling the Resource. Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the 2<sup>d</sup> Conf. / Editors. J. Staudenmann, A. Schonborn, C. Etnier. - Transtec Publications. Switzerland, 1996. - P. 401 - 404.

133. Evaluation of the Effect of a Conveyor Production Strategy on Lettuce and Basil Productivity and Phosphorus Removal from Aquaculture Wastewater. Environmental Research Forum. Vol. 5-6 (1996) / P.R. Adler, S.T. Summerfelt, D.M. Glenn, F. Takeda // Recycling the Resource. Ecological Engineering for Wastewater Treatment. Proceedings of the 2<sup>d</sup> Conf. // Editors. J. Staudenmann, A. Schonborn, C. Etnier. - Transtec Publications. Switzerland, 1996. - P. 131 - 136.

134. Теплицы и тепличные хозяйства: Справочник / Г.Г. Шишко, В.О. Потапов, Л.Т. Сулима, Л.С. Чебанов. - Киев: Урожай, 1993. - С. 422.

135. Климов В.В. Оборудование теплиц для подсобных и личных хозяйств. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 96 с.

136. Жуков Б.Д. Лабораторные исследования доочистки бытовых сточных вод в биореакторе: Отчет по НИР "Экодом". - Новосибирск, 1995.

137. Моющие средства, их использование в машиностроении и регенерация / А.Ф. Тельнов, Ю.С. Козлов, О.К. Кузнецов, И.А. Тулаев. - М.: Машиностроение, 1993. - 208 с.
138. А.С. N 43472, кл. 23а, 4; 8 d, 9. Спасский Н.А. Способ регенерации мыла из отработанной моющей жидкости. - Заявл. 1933 г.
139. Шевченко Л.Л. К вопросу регенерации моющих растворов // Наука и техника в городском хозяйстве. - Киев: Будівельник, 1968. - Вып. XI.
140. Snowdon D. SAF Tech. Pap. Ser. - 1991. - N 911455. - С. 283.
141. Guterstam B. Proceedings of the International Conference at Stedsund Folk College. Sweden March 24-28, 1991 / Ed. Etnier, B. Guterstam, Bokskogen, Sweden, 1991.
142. Бастиан Р. Системы естественной очистки сточных вод // Гражданское строительство. - 1982. - N 5. - С. 4 - 12.
143. Лапшин А.И., Жуков Б.Д. Простой проточный флуориметр-нефелометр: Тез. докл. на междунар. конф. "Проблемы метрологии в гидрофизических измерениях". - М.: НПО ВНИИФТРИ, 1992. - С. 189 - 190.
144. Измеритель ХПК: Информ. лист фирмы "Потенциал". - СПб.
145. Камман К. Работа с ионоселективными электродами: Пер. с нем / Под ред. О.М. Петрухина. - М.: Мир, 1977. - 283 с.
146. Карякин А.В., Грибовская И.Ф. Методы оптической спектроскопии и люминесценции в анализе природных и сточных вод. - М.: Химия, 1987. - 304 с.
147. Области применения ионометрических методов в химическом анализе: Информ. лист фирмы "Инфраспек-Аналит". - Новосибирск, 1997.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....  | 3  |
| Глава 1. НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДООЧИСТКИ<br>В УСЛОВИЯХ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА.....                             | 5  |
| 1.1. Экологический, санитарный, гигиенический аспекты .....   | 6  |
| 1.1.1. Химические вещества - загрязнители.....  | 7  |
| 1.1.2. Канцерогенные и токсичные вещества.....  | 11 |
| 1.1.3. Биологические загрязнения.....   | 11 |
| 1.1.4. Основные правила безопасной работы с бытовыми<br>сточными водами .....   | 13 |
| 1.2. Экономический аспект .....   | 13 |
| 1.3. Организационные вопросы водоснабжения .....  | 15 |
| 1.4. Общетехнические требования.....  | 17 |
| Глава 2. БАЗОВЫЕ УСТРОЙСТВА И ПРОЦЕССЫ<br>В СИСТЕМАХ ВОДООЧИСТКИ.....   | 19 |
| 2.1. Устройства для начальной стадии обработки бытовых<br>сточных вод.....  | 20 |
| 2.1.1. Устройства для сбора, кратковременного хранения<br>и предочистки стоков .....  | 20 |
| 2.1.2. Устройства для очистки от взвешенных веществ<br>(фильтры).....   | 26 |
| 2.1.2.1. Фильтры грубой очистки.....  | 26 |
| 2.1.2.2. Комбинированные устройства .....   | 27 |
| 2.2. Устройства для основной стадии очистки .....   | 28 |
| 2.2.1. Песчаные и песчано-почвенные фильтры .....   | 29 |
| 2.2.2. Песчано-гравийные фильтры.....   | 33 |
| 2.2.3. Ботанические площадки .....  | 38 |
| 2.2.3.1. Почвенно-растительные фильтры.....   | 41 |
| 2.2.4. Водные объекты .....   | 45 |
| 2.2.5. Биореакторы микробиологической очистки.....  | 50 |
| 2.2.5.1. Аэробные биофильтры .....  | 50 |
| 2.2.5.2. Аэротенки.....   | 55 |
| 2.2.5.3. Биосорберы.....  | 59 |
| 2.2.5.4. Анализ основных показателей биореакторов,<br>специализированных для очистки стоков<br>от индивидуального дома..... | 61 |
| 2.2.6. Устройства для переработки твердых отходов<br>и осадков, образующихся при очистке бытовых стоков.....                | 63 |

|  |     |
|--|-----|
| 2.3. Устройства для физико-химической обработки сточных вод.....                     | 66  |
| 2.4. Химическая обработка сточных вод.....   | 70  |
| 2.5. Гидроизоляционные материалы.....  | 71  |
| Глава 3. ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ.....  | 77  |
| 3.1. Схемы и технологии, рекомендуемые для очистки серых или черных стоков .....     | 78  |
| 3.1.1. Схемы на основе септиков и фильтров-усреднителей .....                        | 78  |
| 3.1.2. Комбинированные технологии, не использующие септики и усреднители.....        | 80  |
| 3.1.3. Устройства, размещаемые частично или полностью в обогреваемых помещениях..... | 82  |
| 3.2. Схемы с отдельной обработкой вод разных типов .....                             | 84  |
| 3.3. Схемы на основе концепции “живые машины” .....                                  | 86  |
| Глава 4. УТИЛИЗАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД .....  | 90  |
| Глава 5. ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ АВТОНОМНОЙ ВОДООЧИСТКИ .....         | 99  |
| 5.1. Принципиальные подходы к построению автоматизированных систем.....              | 99  |
| 5.2. Основные средства автоматизированных систем .....                               | 100 |
| 5.2.1. Методы аналитического контроля сточных и технологических вод.....             | 102 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....   | 105 |
| СОКРАЩЕНИЯ .....   | 106 |
| СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ .....   | 106 |
| ЛИТЕРАТУРА .....   | 107 |

Жуков Борис Дмитриевич

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ. УСТРОЙСТВА И ТЕХНОЛОГИИ  
ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ОЧИСТКИ БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Аналитический обзор

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы Word 7.0 for Windows 95.  
Компьютерная верстка выполнена Т.А. Калюжной.

Сдано в набор 12.03.99.

Подписано в печать 26.07.99.                      Формат 60x84/16.

Бумага писчая.    Гарнитура TextBook.    Ротапринт.

Усл. печ. л. 6,7.    Уч.-изд. л. 5,0.    Тираж 300 экз.

Заказ N 64.

Цена договорная

ГПНТБ СО РАН. 630200, Новосибирск, ул. Восход, 15, комн. 407.

Полиграфический участок ГПНТБ СО РАН. 630200, Новосибирск,  
ул. Восход, 15.