

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!

Если вы скопируете данный файл,

Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.

Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .

Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.

Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**

**ХАРЬКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ  
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

**ПОСОБИЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ И  
КУРСОВОЙ РАБОТЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ  
СТОЧНЫХ ВОД И МИКРОБИОЛОГИИ.**

**(для студентов 3-4 курсов всех форм обучения,  
иностраных студентов и экстернов)**

**Харьков-ХГАГХ-2003**

Пособие к практическим занятиям и курсовой работе по “Технологии очистки сточных вод и микробиологии” (для студентов 3-4 курсов всех форм обучения иностранных студентов и экстернов). Сост. Л.И. Дегтерева, И.А. Гуцал. - Харьков, ХГАГХ, 2003.

Составители:                   Л.И. Дегтерева,  
   И.А. Гуцал

Рецензент д.т.н., проф. С.С. Душкин

Рекомендовано кафедрой водоснабжения и очистки вод, протокол №12 от 7. 05.2003 г.

## **Введение**

В пособии приведены материалы по биологическим процессам очистки сточных вод, описаны методы их реализации.

Даны технологические схемы очистки и примеры расчета очистных сооружений.

Пособие предназначено для выполнения курсовых работ по микробиологии студентами всех форм обучения специальности “Водоснабжение и водоотведение”.

# 1. Сущность биологических процессов при очистке хозяйствственно-бытовых сточных вод

## Окисление органических веществ

Способность бактерий использовать в процессе своей жизнедеятельности в качестве питания различные органические и минеральные вещества сточных вод является основой процессов биологической очистки. Бактерии имеют очень разнообразные физиологические возможности в отношении питательных веществ и условий окружающей среды, что позволяет удалять из сточных вод практически любые органические соединения.

В клетках бактерий одновременно протекает множество биохимических реакций. Ферменты, ускоряющие биохимические реакции, имеют высокую катализитическую активность, т.е. эффективно снижают энергию активации, необходимую для осуществления реакции, благодаря тому, что способствуют образованию промежуточных продуктов, требующих меньшей энергии.

Считается, что механизм действия ферментов заключается в следующем: белок фермента связывается в одной или не скольких точках с молекулой субстрата, образуя фермент-субстратный комплекс, ослабляющий внутримолекулярные связи субстрата. Образование комплекса теоретически обосновал Михаэлис, в дальнейшем эта реакция была подтверждена экспериментально. В результате было получено известное уравнение Михаэлиса-Ментена:

$$\rho = \frac{\rho_{\max} L}{K_c + L}, \quad (1)$$

где  $\rho$  - удельная скорость ферментативной реакции;

$\rho_{\max}$  - максимальная скорость реакции при отсутствии лимитирования субстратом;

$K_c$  - константа насыщения;

$L$  - концентрация субстрата.

Скорость ферментативной реакции возрастает с увеличением концентрации субстрата до определенного предела.

Ферменты вырабатываются клеткой в соответствии с ее потребностями, и их содержание может колебаться в значительной степени. Ферменты имеют высокую специфичность, а их активность зависит от различных факторов (температуры, рН, состава питательной среды, наличия токсичных веществ).

Бактериальное разложение органических веществ может происходить в анаэробных и в аэробных условиях.

Основное отличие анаэробного сбраживания от аэробного окисления заключается в том, что при разложении органического вещества в анаэробных условиях акцептором электронов может служить либо связанный кислород органических и неорганических соединений (анаэробное дыхание), либо промежуточные продукты реакции при сопряженном окислении-восстановлении одних и тех же молекул субстрата (брожение), а не молекулярный кислород. В обоих процессах энергия, получаемая клеткой при разложении органического вещества, запасается в макроэнергических связях АТФ. При отщеплении от АТФ одной грамм-молекулы фосфата выделяется до 42 кДж энергии, которая используется клеткой во всех обменных реакциях, требующих затрат энергии.

Анаэробные бактерии по сравнению с аэробными менее эффективно используют энергию, получаемую при фосфорилировании. Это обуславливает значительно меньший прирост биомассы микроорганизмов в анаэробных условиях по сравнению с аэробными при одинаковом количестве переработанных питательных веществ.

Анаэробный процесс проходит в две стадии. На стадии кислого брожения в результате гидролиза белков образуются полипептиды и аминокислоты, которые, в конечном счете, при отщеплении от них аминогруппы превращаются в жирные кислоты. Жиры разрушаются с образованием глицерина и жирных кислот. Углеводы в анаэробных условиях также разрушаются до кислот жирного ряда.

Таким образом, на стадии кислого брожения образуются жирные кислоты (наиболее часто — уксусная, муравьиная, пропионовая и масляная кислоты), двуокись углерода, аммоний, сероводород, спирты, кетоны, ацетон, уксусный альдегид.

На стадии метанового брожения образовавшиеся жирные кислоты, спирты и т.д. разлагаются до метана, двуокиси углерода, водорода.

Основными процессами, используемыми при биологической очистке, являются аэробные, при которых органические вещества окисляются, в конечном счете, до углекислоты и воды. Клетки получают биологически полезную энергию за счет ферментативных реакций, в ходе которых электроны переходят с одного энергетического уровня на другой. Для большинства организмов конечным акцептором электронов служит кислород. Передача электронов кислорода происходит при участии системы переноса электронов, которая последовательно передает их различным компонентам системы и в конце концов присоединяет их к кислороду, активируя его. Активированный кислород вступает в реакцию с ионизированным атомом водорода, образуя воду или перекись водорода. В ходе ферментативных реакций энергия электронов связывается в макроэргических связях АТФ.

Любая окислительная реакция сопровождается реакцией восстановления. Передача электронов через систему переноса электронов, происходящая путем ряда последовательных реакций окисления-восстановления, является биологическим окислением.

Для образования и постоянного накопления энергии в процессе окислительного обмена в аэробных условиях чрезвычайно важно снабжение клетки кислородом и его концентрация в среде.

Увеличить общую скорость окисления органического вещества сточных вод можно повышением биомассы микроорганизмов, участвующих в процессе. Пропорциональность между скоростью окисления и биомассой микроорганизмов существует до определенного предела, выше которого удельная скорость окисления существенно снижается за счет ухудшения массообмена, межвидовой и внутривидовой конкуренции, повышения концентрации продуктов метаболизма. В этом случае величина ингибирующего фактора пропорциональна биомассе микроорганизмов.

При внесении поправок, связанных с влиянием содержания органических веществ, кислорода, биомассы микроорганизмов, уравнение Михаэлиса-Ментона принимает вид

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} C_0}{L_{ex} - K_1 C_0 + K_0 L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi a_i}, \quad (2)$$

где  $C_0$  - концентрация растворенного кислорода;

$K_1$  - константа, характеризующая свойства органических веществ;

$K_0$  - константа, характеризующая влияние кислорода;

$\varphi$ - коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила;

$L_{ex}$ - концентрация субстрата в среде;

$a_i$ - биомасса микроорганизмов.

В этом виде уравнение /2/ внесено в нормативные документы (СНиП 2.03.04-85. Канализация. Наружные сети и сооружения) в качестве одной из основных расчетных формул, характеризующих биологическую сущность процессов очистки сточных вод.

При окислении органического вещества часть энергии рассеивается, часть передается до тех пор, пока весь углерод органического вещества не будет окислен до  $\text{CO}_2$  и воды, следовательно, не исчерпается запас энергии органического вещества. Каждое вещество имеет определенный запас энергии, то есть нуждается в определенном количестве кислорода для полного окисления. Потребное для полного окисления количество кислорода (БПК) является мерой количества органического вещества, способного окисляться бактериями в аэробных условиях. При оценке степени разложения органического вещества в анаэробных условиях и определении эффективности работы анаэробных сооружений, где кислород не потребляется, показатель БПК применяться не должен.

Некоторые бактерии участвуют в нескольких этапах разложения вещества: например, могут использовать белки, а затем углеводы, окислять спирты, а затем альдегиды, элементарный, а затем связанный азот и т.д. Но некоторые бактерии могут потреблять только определенные вещества, не используя другие. Одни виды бактерий могут вести окисление органического вещества до конца - до образования углекислого газа и воды, другие - до промежуточных продуктов, которые в свою очередь могут являться источником для других видов бактерий. Поэтому при очистке сточных вод, содержащих разнообразные органические и минеральные вещества, используют только смешанную культуру бактерий, которая обладает широким спектром физиологических возможностей и устойчивостью к воздействию внешних факторов.

Культура бактерий, развивающаяся в сточных водах, рост которой поддерживается за счет постоянной подачи питательных веществ со сточными водами (органические и минеральные загрязняющие вещества) и кислорода воздуха в качестве акцептора электронов при окислении органики, а продукты распада отводятся с очищенной водой, образует активный ил или биопленку, имеющие специфическую структуру, позволяющую с помощью довольно простых технических средств поддерживать относительно высокую биомассу бактерий.

Активный ил и биопленка представляют собой сообщество организмов, основную часть которого составляют бактерии, в незначительном количестве присутствуют различные виды простейших, коловратки, некоторые виды червей.

Простейшие, присутствующие в активном иле или биопленке, непосредственного участия в окислении органического вещества не принимают. Они питаются бактериями и мельчайшими взвешенными веществами, находящимися в воде. Это обуславливает их роль в очистке сточной воды: поедая клетки бактерий, простейшие способствуют омоложению активного ила, присутствие простейших стимулирует рост бактерий, простейшие снижают общее количество единичных бактериальных клеток в очищенной воде, в том числе и патогенных. На разных этапах очистки, при разных условиях ее проведения преобладают разные группы простейших, что позволяет с большой степенью достоверности использовать их в качестве индикаторных организмов. Например, в условиях работы аэротенков в режиме полного окисления с интенсивным процессом нитрификации в активном иле в массовом количестве присутствуют кругло- и брюхоресничные инфузории, коловратки, малощетинковые черви. При органической перегрузке, недостатке кислорода и др. появляются бесцветные жгутиковые, равноресничные инфузории, переносящие повышенную концентрацию органических веществ и дефицит кислорода в воде.

В смешанной культуре микроорганизмов широкие физиологические свойства отдельных видов бактерий дополняются внутривидовыми и межвидовыми взаимоотношениями между бактериями, а также бактериями и простейшими, что определяет способность активного ила и биопленки быстро адаптироваться к меняющимся условиям внешней среды и создавать устойчивые биологические системы для очистки сточных вод.

Все необходимые питательные вещества бактерии получают из сточной воды, поэтому ее качественный и количественный состав, а также условия проведения очистки — концентрация растворенного кислорода, pH, температура, наличие токсичных примесей — имеют большое значение для получения высоких и устойчивых показателей качества очищенной воды.

Процессы биологического окисления органического вещества хозяйственно-бытовых сточных вод осуществляются в биопрудах, на биофильтрах или в аэротенках. Наиболее распространенным и эффективным методом является метод аэрации активного ила в аэротенках.

Условная химическая формула активного ила, которая варьируется в зависимости от условий процесса очистки, имеет вид  $C_5H_7O_2N$ . Основными химическими соединениями органического вещества активного ила являются белки — 56-58%, жиры — 21-22%, углеводы — 4-5% от общего органического вещества активного ила.

Самым важным свойством активного ила, позволяющим поддерживать относительно высокую биомассу бактерий в аэротенке, является его способность образовывать хлопья, оседающие при отстаивании иловой смеси. Без этого никакие другие, самые благоприятные условия не могут обеспечить работоспособность традиционного аэротенка. Величина хлопьев, их плотность, компактность зависят при прочих благоприятных условиях, прежде всего от величины органической нагрузки на ил — количества органического вещества по БПК полн. в мг, приходящегося на 1 г органического вещества активного ила в сутки. Обычно аэротенки работают при нагрузках мг/(г.сутки). При нагрузке ниже 30 мг/(г.сутки) активный ил теряет способность к хлопьеобразованию, хлопья распадаются на отдельные бактериальные клетки, не оседающие во вторичных отстойниках, и в аэротенке невозможно поддерживать необходимую концентрацию активного ила. Обычно в аэротенках поддерживается доза активного ила 1,5—3 г/л, а при благоприятных условиях — до 4—6 г/л.

Количество растворенного кислорода, поступающего в иловую смесь, должно быть достаточным для окисления поступающего органического вещества и эндогенного дыхания бактерий. Концентрация кислорода в иловой смеси для поддержания благоприятных условий очистки должна быть не ниже 2 мг/л.

Отрицательное воздействие на физиологическое состояние активного ила оказывает недостаток биогенных элементов: азота, фосфора, калия, магния, кальция, серы и др. Как правило, в хозяйственно-бытовых сточных водах этого недостатка не бывает; более того, эти элементы, особенно азот и фосфор, присутствуют в избытке, и основная задача состоит в том, чтобы удалить их из очищаемой воды.

Эффективность очистки сточных вод активным илом в значительной степени зависит от температуры воды. Считается, что оптимальный диапазон температур 20–25° С. Повышение температуры, особенно резкое, до 28° С и выше, ведет к изменениям в структуре активного ила и ухудшению его седиментационных свойств. Температура выше критической, которая может привести к гибели бактериальных клеток, практически не встречается при очистке хозяйственно-бытовых сточных вод. Значительно чаще на очистные сооружения поступает вода с пониженной температурой. По существующим нормативам на биологическую очистку не следует подавать сточную воду с температурой ниже 6 °С. При пониженной температуре снижается скорость окисления органического вещества, скорость адаптации микроорганизмов к новым загрязняющим веществам, поступающим на очистку. Особенно сильное воздействие пониженная температура оказывает на скорость процессов нитрификации и денитрификации. При низкой температуре ухудшаются седиментационные свойства активного ила.

При практических расчетах скорость очистки сточных вод по БПК условно принимается равной единице при температуре 15 °С, при другой температуре скорость очистки пересчитывается умножением на  $T/15$ , где  $T$  — температура воды в ° С.

На физиологическую активность микроорганизмов активного ила оказывает влияние величина pH. При pH среды менее 6 и более 9 эффективность очистки сточных вод резко снижается, что объясняется влиянием активной реакции среды на скорость ферментативных процессов. В условиях резко щелочной или кислой среды может произойти необратимая денатурация белков бактериальных клеток. Величина pH поступающей на очистку сточной воды обычно около 7. За счет процессов, происходящих в аэротенке, особенно нитрификации и денитрификации, активная реакция среды изменяется - при высокой эффективности очистки достигает 8 — 8,5. Это зависит также от буферности системы, в частности, от величины щелочности сточной воды.

Отрицательное действие на процесс биологической очистки оказывают различные токсичные вещества органического и неорганического происхождения: это соли тяжелых металлов (медь, ртуть, свинец, хром и др.), четыреххлористый углерод, амиловый спирт, гидрохинон, хлорбензол, хлорвинил и др. Степень влияния токсичных веществ зависит от степени адаптированности активного ила и его дозы, температуры, pH, количества и вида других присутствующих в сточной воде загрязнений. Токсичные органические вещества в концентрациях ниже предельно допустимых могут использоваться бактериями активного ила в качестве питательного субстрата и таким образом удаляться из сточной воды. Поэтому так важно устройство на промышленных предприятиях локальных очистных сооружений и соблюдение требований, предъявляемых к производственным сточным водам при приеме их на городские очистные сооружения. Механизм действия токсичных веществ очень различен. Так, малые концентрации синильной кислоты или ее солей инактивируют один из дыхательных ферментов-цитохромоксидазу; ПАВ снижают поверхностное натяжение, что создает неблагоприятные условия для микроорганизмов.

Основная математическая модель процесса окисления органического вещества (снижения БПК), используемая при расчете необходимого времени аэрации сточной воды в аэротенке  $t$ , приведена в виде расчетной формулы в СНиПе 2.04.03-85:

$$t = \frac{L_{en} - L_{ex}}{a_i(1 - S)\rho},$$

где  $L_{en}$  и  $L_{ex}$  — БПК полн. поступающей в аэротенки и очищенной воды;

$a_i$  — доза активного ила в аэротенке;

$S$  — зольность активного ила;

$\rho$ -удельная скорость окисления органического вещества загрязнений, определяемая по формуле /2/.

В США для расчета аэротенков наибольшее развитие получили четыре модели: Экенфельдера, Годи, Маккини и Лоуренса-Маккарти. В странах Западной Европы для расчета объемов сооружений часто пользуются рекомендациями АТУ (aeration tank volume), которые представлены в виде таблиц. При расчете аэротенков по всем этим

моделям результаты получаются близкими и в практических целях может быть использована любая.

При окислении органического вещества часть его идет на построение клеток бактерий, т.е. увеличение биомассы активного ила. Образующийся в результате прироста избыточный активный ил должен регулярно удаляться из системы для поддержания заданной дозы и нормальной работы вторичного отстойника.

Аэротенки, работающие при нагрузках менее 150 мг/(г.сутки), называются аэротенками полного окисления или аэротенками с продленной аэрацией. В отличие от обычных аэротенков в аэротенках полного окисления происходит более глубокая очистка сточных вод — содержание растворенных органических веществ по БПК полн. составляет около 6 г/л, однако, за счет более высокой концентрации взвешенных веществ БПК очищенной воды возрастает в 2 и более раз. Интенсивно идет процесс нитрификации, образуется значительно меньше избыточного активного ила, причем образующийся осадок минерализован и не требует дополнительной стабилизации.

Расчет удельного расхода подаваемого в аэротенк воздуха производится по количеству органического вещества по БПК, подлежащего удалению из обрабатываемой сточной воды.

Аэротенки со взвешенным активным илом при традиционных нормативных органических нагрузках не могут обеспечить удаление органических загрязнений сточных вод до концентраций по БПК и взвешенным веществам ниже 10—15 мг/л, при этом удаление азота составляет 30—40%, фосфора — менее 20%.

С точки зрения технологии для совершенствования аэротенков наиболее перспективным является изучение совместного проведения процессов окисления органического вещества, нитрификации-денитрификации, биологического удаления фосфатов.

На биофильтрах контакт сточной воды с биопленкой осуществляется в течение нескольких минут. За это время происходит в основном сорбция органических веществ и не может осуществляться глубокое удаление из воды растворенных органических загрязнений. Сорбированные вещества затем окисляются бактериями, образующими биопленку. Качество очищенной на биофильтре воды не соответствует современным требованиям. Но их особенность — образование биопленки на поверхности загрузочного материала — используется для усовершенствования технологии очистки в

аэротенках, которое должно идти по пути снижения органической нагрузки (или увеличения возраста активного ила), осуществляемого за счет увеличения длительности процесса, либо за счет увеличения концентрации активного ила. Повышение дозы взвешенного активного ила приводит к техническим трудностям при разделении иловой смеси во вторичных отстойниках, а также увеличению в несколько раз степени циркуляции активного ила.

Объединив преимущества биофильтра и аэротенка, можно получить сооружение, в котором всегда есть запас биомассы микроорганизмов и обеспечивается более высокое качество очищенной воды — аэротенки с прикрепленной микрофлорой (или аэротенки с затопленной загрузкой).

При использовании аэротенков-вытеснителей с прикрепленной микрофлорой по длине аэротенка на затопленной загрузке развивается биопленка, адаптированная к различным органическим нагрузкам: к высокой — в начале аэротенка, к понижающейся по мере очистки сточных вод — в конце аэротенка.

Скорость биологических процессов в прикрепленной микрофлоре зависит, прежде всего, от поверхности контакта биопленки с очищаемой водой. Свободный внутренний объем пористых загрузочных материалов зарастает бактериальной массой, а при увеличении толщины биопленки необходимо учитывать диффузионные процессы переноса органического вещества сточных вод во внутренние слои биопленки. Во внутренних слоях может образовываться дефицит кислорода, что вызывает процесс денитрификации. В последние годы это подтверждено исследованиями многих авторов.

При глубокой очистке на затопленной загрузке развиваются бактерии, адаптированные к низким концентрациям органического вещества и способные использовать его в качестве субстрата. Сооружения с прикрепленной микрофлорой могут обеспечить снижение концентрации органического вещества до величин менее 3 мг/л по БПК полн. и взвешенным веществам, а также азота аммонийного до менее 0,5 мг/л, что зависит в основном от продолжительности глубокой очистки.

Интересной и перспективной является технология глубокой очистки, объединяющая использование пористой листовой или волокнистой загрузки с добавлением осаждаемого на ней активированного угля /9/.

При изучении глубокой очистки сточных вод с использованием прикрепленной микрофлоры обнаружен эффект удаления из воды фосфатов в присутствии металлических элементов загрузки /10/.

Объясняют это тем, что в процессе жизнедеятельности микроорганизмы биопленки при окислении органических веществ подкисляют воду и на границе контакта биопленки со сточной водой образуется микрозона с кислой реакцией среды. В этой микрозоне происходит процесс перехода в воду ионов металла, которые образуют с фосфатами нерастворимые соединения, выпадающие в осадок. В аэротенке с загрузкой, армированной металлом, содержание фосфатов через сутки снижалось до 0,24 мг/л. Авторы назвали способ биогальваническим.

## 1.2. Нитрификация, денитрификация

Удаление из сточных вод аммонийного азота происходит в результате процесса нитрификации автотрофными бактериями, использующими для питания неорганический углерод (углекислоту, карбонаты, бикарбонаты).

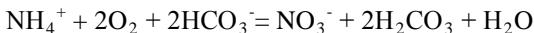
Присутствие в воде органических веществ может тормозить развитие нитрифицирующих бактерий. Это связано с тем, что нитрифицирующие бактерии способны потреблять только тот азот, который не использован гетеротрофными микроорганизмами, развивающимися при наличии органических веществ и потребляющими азот в процессе конструктивного обмена. Кроме того, гетеротрофные бактерии усиленно поглощают кислород, необходимый нитрификаторам.

На первой стадии процесса бактерии рода *Nitrosomonas* окисляют азот аммонийный до нитритов. В качестве субстрата *Nitrosomonas* может использовать аммонийный азот, мочевину, мочевую кислоту, гуанин, но органическая часть молекулы не потребляется. Энергию для жизнедеятельности *Nitrosomonas* получает в процессе, аналогичном дыханию, в котором аммонийный азот окисляется, а акцептором электронов служит молекулярный кислород. При окислении 1 г-моля  $\text{NH}_4^+$  до  $\text{NO}_2^-$  выделяется 332 кДж, а на восстановление 1 г-моля  $\text{CO}_2$  расходуется 483 кДж. Так как коэффициент использования энергии у *Nitrosomonas* очень низок – 5-10%, то для использования одной молекулы  $\text{CO}_2$  надо окислить около

30 молекул  $\text{NH}_4^+$ . Энергетический обмен у *Nitrosomonas* преобладает над конструктивным и прирост биомассы клеток не велик.

На второй стадии бактерии рода *Nitrobacter* окисляют образовавшиеся нитриты до нитратов. Для *Nitrobacter* нитриты - единственный субстрат. Развитие *Nitrobacter* начинается только после окисления избытка аммиака бактериями первой стадии нитрификации. Энергия, полученная при окислении, используется на восстановление углекислоты и прирост биомассы.

Общая реакция окисления азота аммонийного протекает по схеме:



При нитрификации бактериями используется  $\text{HCO}_3^-$  увеличивается концентрация  $\text{H}_2\text{CO}_3$  и, следовательно, снижается pH среды. Степень снижения pH зависит от величины щелочности воды: на 1 мг окисленного азота используется 8,7 мг щелочности.

При условии осуществления нитрификации в аэротенке необходимо учитывать дополнительный расход кислорода из расчета - 4,6 мг  $\text{O}_2$  на 1 мг окисленного азота.

Прирост органического вещества бактерий при нитрификации составляет примерно 0,16 мг на 1 мг окисленного азота, причем основная часть приходится на *Nitrosomonas*. Около 98 % азота окисляется при этом до нитратов, остальное количество входит в состав клеточной биомассы. Доля нитрифицирующих бактерий в общей биомассе активного ила может составлять от 0,5 до 2,5%, по абсолютной величине — от 17 до 55 мг/л.

Основным требованием к процессу нитрификации при осуществлении его в аэротенках является наличие достаточной биомассы бактерий-нитрификаторов. Поскольку скорость роста автотрофов значительно ниже, чем гетеротрофов, ведущих процесс разложения органических загрязнений, при осуществлении процесса нитрификации в одном сооружении с окислением органических загрязнений требуется увеличение продолжительности очистки или снижение органической нагрузки. Скорость прироста бактерий-нитрификаторов определяет минимальный возраст активного ила в аэротенке, ниже которого эти бактерии будут просто изыматься из аэротенка с избыточным активным илом.

Содержание различных форм азота в очищенной воде зависит от технологических параметров работы очистных сооружений. При

традиционных режимах, обеспечивающих полную биологическую очистку и частичную нитрификацию, т.е. при нагрузках 400—500 мг БПК на 1 г беззольного вещества ила в сутки концентрация аммонийного азота снижается не более чем на 40%. Очищенные сточные воды содержат не менее 10—15 мг/л аммонийного азота и не более 3—4 мг/л нитратов. В этом режиме в настоящее время работает большинство очистных сооружений.

В аэротенках полного окисления (продленной аэрации) нитрификация проходит довольно полно, так как возраст ила в этих сооружениях достигает 30 суток и более. Здесь отмечается высокое содержание нитратов в очищенной воде (до 8- 10 мг/л) и соответственно более низкие концентрации солей аммония (1-2 мг/л). Более глубокую нитрификацию (до 0,5 мг  $\text{NH}_4/\text{л}$ ) можно осуществить в аэротенках с прикрепленной микрофлорой, оснащенных различной загрузкой. Этот метод наиболее перспективен, особенно с учетом современных требований к степени удаления из воды соединений азота (при применении обычных аэротенков все равно необходимо предусматривать дополнительные сооружения для проведения нитрификации). Достоинством аэротенков полного окисления, особенно при использовании затопленной загрузки, является также то, что в них одновременно протекает процесс денитрификации, эффективность которой может достигать 60—80%. Скорость процесса нитрификации зависит от pH среды и температуры. Так при pH менее 6 и температуре менее 10 °C интенсивность нитрификации значительно снижается, присутствие свободного аммиака и солей тяжелых металлов ингибирует процесс. Оптимальными являются температура 20—25 °C и pH более 8,4. Можно достичь снижения концентрации аммонийного азота менее 0,5 мг/л.

Удельную скорость роста нитрификаторов определяют по формуле

$$\mu_n = \mu_{\max} \frac{N_{ex} K_{pH} K_{oc} K_c K_t}{K_H + N_{ex}}, \quad (4)$$

где  $\mu_{\max}$  - максимальная скорость роста нитрифицирующих микроорганизмов;

$N_{ex}$  - концентрация азота аммонийного в очищенной воде;

$K_{pH}$  - коэффициент, учитывающий влияние рН;

$K_{oc}$  - коэффициент, учитывающий концентрацию кислорода;

$K_c$  - коэффициент, учитывающий влияние ингибиторов;

$K_t$  - коэффициент, учитывающий влияние температуры.

$K_H$ -константа насыщения.

Минимальный возраст активного ила  $T_n$  при осуществлении процессов нитрификации устанавливают по формуле

$$T_n = \frac{1}{\mu_n}, \quad (5)$$

Удельная скорость окисления азота аммонийного в зависимости от возраста ила составляет от 15 до 50 мг на 1 г биомассы нитрифицирующих бактерий в час.

Для удаления из воды окисленных форм азота — нитритов и нитратов, образующихся в результате нитрификации, осуществляется процесс денитрификации, сущность которого заключается в том, что гетеротрофные бактерии-денитрифициаторы в процессе своей жизнедеятельности для окисления органического вещества используют связанный кислород нитратов и нитритов, восстанавливая их до молекулярного азота.

Процесс биологической денитрификации проводится в анаэробных условиях в присутствии органических веществ, необходимых для жизнедеятельности бактерий. При этом электроны передаются от окисляемого органического вещества через систему переноса кислорода нитратов и нитритов. Окисляются в основном легкоокисляемые вещества: углеводы, органические кислоты, спирты. Денитрифицирующие бактерии не могут использовать высокомолекулярные полимерные соединения.

Максимальная интенсивность процесса достигается при рН 7,0-8,2. При рН ниже 6,1 и выше 9,6 он полностью затормаживается. Повышение температуры интенсифицирует процесс.

Удельную скорость денитрификации  $\rho_{dn}$  рассчитывают по формуле:

$$\rho_{dn} = P_{max} \cdot \frac{C_{ex}}{C_{ex} + K_{dn}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi_{dn} a_i}, \quad (6)$$

где  $P_{max}$  — максимальная удельная скорость восстановления азота нитратов;

$C_{ex}$  — концентрация азота нитратов в очищенной воде;

$K_{dn}$  — константа скорости восстановления;

$\varphi_{dn}$  — коэффициент ингибирования продуктами метаболизма;

$a_i$  — концентрация денитрифицирующего ила.

Удельная скорость восстановления нитратов колеблется от 5 до 10 мг/(г.ч.).

Для эффективной денитрификации необходимо присутствие легкоокисляемых органических веществ (спиртов, низко молекулярных органических кислот) в качестве источника углеродного питания. Для этой цели может быть использована неочищенная сточная вода, количество которой определяется из необходимого соотношения содержания органического вещества по БПК и нитратного азота, равного (3—6) : 1, сброженный осадок (отстой из метантенков фазы кислого брожения) или избыточный активный ил.

Процессы нитрификации и денитрификации проходят в аэротенке одновременно, так как в активном иле всегда есть зоны с дефицитом кислорода, где образовавшиеся в процессе нитрификации нитриты и нитраты восстанавливаются.

Разделение процессов нитрификации и денитрификации позволяет улучшить условия проведения каждого из них и, соответственно, обеспечить глубокое удаление азота.

### 1.3. Удаление фосфатов биологическим методом

Биологическое удаление фосфора основано на его извлечении из сточной воды с помощью аэробных микроорганизмов активного ила.

При обычных условиях работы биологических систем активный ил не может удалить значительные количества фосфора из хозяйственно-бытовых сточных вод, так как для питания бактериям необходимо соотношение С:Р около 100:1, т.е. в сточных водах углерода не хватает для удаления всех фосфатов в процессе роста. Наибольшее потребление фосфора в традиционных системах происходит при высоких органических нагрузках за счет высоких скоростей прироста биомассы. Однако при высоких органических нагрузках в активном иле не будут присутствовать бактерии, осуществляющие нитрификацию аммонийного азота. В режиме полного окисления, когда процесс нитрификации осуществляется довольно полно, биологическое потребление фосфора наименьшее за счет наименьшей величины прироста активного ила. Это основное противоречие в системах одновременного удаления азота и фосфора биологическим методом.

При попадании активного ила, находившегося в аэробных условиях, в анаэробные происходит перестройка метаболизма бактерий. При этом в воду выделяются фосфаты. Время выдержки активного ила в анаэробных условиях в зависимости от параметров проведения процесса в аэробной зоне составляет в среднем около 6 часов.

Осветленная вода из анаэробной зоны, содержащая фосфаты, подвергается реагентной обработке (чаще всего известью). Фосфаты выпадают в осадок, который обрабатывается совместно с осадком первичных отстойников и избыточным активным илом, а осветленная вода, лишенная фосфора, подается в поток поступающих на очистные сооружения сточных вод. При этом расход воды, из которой осаждают фосфаты, может составлять от 5% до 25% общего суточного расхода сточных вод. Следовательно, общее количество известки, необходимое для удаления фосфатов, будет в 4—20 раз меньше, чем при обработке всего расхода сточных вод. Необходимая для осаждения фосфатов доза известки — от 150 мг/л и выше.

Технологическая схема очистки, основанная на этом принципе и разработанная американскими учеными еще в начале 70-х годов /11/, позволяет удалить из хозяйственно-бытовых сточных вод общий фосфор на 90%. Если биологически очищенная вода подвергается на завершающей ступени очистки реагентному фильтрованию, то концентрация фосфатов в очищенной воде может достигнуть 0,28 мг/л

(по Р). Эффективность удаления фосфатов в данной схеме зависит от степени рециркуляции иловой смеси через анаэробную зону.

Этот процесс, называемый Phostrip, получил достаточно большое распространение /12, 13, 14/, внедрен на очистных станциях США, Японии и др. /15/.

В анаэробной зоне в результате бактериального разложения органического вещества сточной воды образуются низкомолекулярные жирные кислоты, которые служат субстратом для развития микроорганизмов, интенсивно поглощающих фосфаты на последующих стадиях очистки. Увеличить содержание низкомолекулярных жирных кислот можно добавлением осадка из метантенков (стадия кислого брожения). Однако это повышает общую органическую нагрузку на сооружение, что нежелательно с точки зрения условий проведения нитрификации.

Более предпочтительно образование низкомолекулярных жирных кислот из органического вещества сточных вод в отдельном ацидофикаторе, где происходит сбраживание осаждаемых взвешенных веществ, поступающих на очистку сточных вод, на стадии кислого брожения. Использование отдельного ацидофикатора позволяет уменьшить объем анаэробной зоны, особенно при низком содержании органики в исходной сточной воде. Время сбраживания осадка в ацидофикаторе ограничивается длительностью фазы кислого брожения и составляет 2—4 суток.

После нахождения в анаэробных условиях бактерии, попадая в энергетически более благоприятную среду — аэробную, усиленно поглощают фосфаты, запасая значительно большее количество фосфора (в нуклеиновых кислотах, АТФ и т.д.), чем при обычном метаболизме. В конце концов фосфор выводится из системы с избыточным активным илом. Чем больше образовалось в анаэробной зоне низкомолекулярных жирных кислот, тем больше затем удаляется фосфатов в аэробной зоне. Очень важно процесс образования жирных кислот не затягивать, чтобы в анаэробных условиях не началась вторая фаза анаэробного брожения, при которой жирные кислоты будут использованы анаэробными бактериями во второй фазе метанового брожения.

Если в анаэробную зону подается иловая смесь с высоким содержанием нитратов, то эта зона становится аноксичной. Это отрицательно сказывается на эффективности удаления фосфатов: денитрификаторы при восстановлении азота нитратов также прежде

всего используют низкомолекулярные жирные кислоты, как легко окисляемую органику, и количество жирных кислот может быть недостаточно для поддержания интенсивного поглощения фосфора. Поэтому аноксичная зона используется, как правило, только для денитрификации.

Если перед аноксичной зоной предусмотрена строго анаэробная зона, где происходит образование и накопление низкомолекулярных жирных кислот в количестве, достаточном для проведения и денитрификации и избыточного поглощения фосфатов, или жирные кислоты подаются из ацидофикатора, то возможно одновременное осуществление процессов удаления азота и фосфора. В этом случае потребление фосфатов начинается уже в аноксичной зоне с использованием в качестве акцептора электронов кислорода нитратов. Но более интенсивно этот процесс идет в аэробной зоне /16/.

Технологическая схема биологического удаления фосфора с анаэробным реактором и аэротенком наиболее простая. Возвратный ил смешивается с поступающими стоками и полученная смесь проходит последовательно анаэробную и аэробную зоны. Фосфаты, аккумулирующиеся в активном иле, удаляются с избыточным активным илом. Этот процесс используется для высоконагруженых сооружений. Избыточный активный ил необходимо быстро обезвоживать, не подвергая анаэробным условиям во избежание выделения фосфатов в жидкость (фильтрат или фугат), возвращающуюся в голову очистных сооружений.

Для низконагруженых систем (режимов полного окисления) предпочтительно использовать схемы с тремя последовательно расположенными зонами: анаэробной, аноксичной и аэротенк.

В технологических схемах, включающих три зоны - анаэробную, аноксичную и аэробную, циркуляционный активный ил может подаваться первоначально в аноксичную зону для денитрификации, а только после этого в анаэробную. Это улучшает условия проведения процесса удаления фосфатов за счет эффективного создания строго анаэробных условий.

Таким образом, системы биологической очистки на основе аэротенков могут практически одновременно осуществлять очистку сточных вод от органических загрязнений, соединений азота и фосфора, а именно: непосредственно в аэротенке — процесс аэробного биологического окисления органических соединений, нитрификация или одностадийная нитриденитрификация с неглубоким удалением

нитратов, удаление фосфатов в процессе избыточного потребления бактериями; в анаэробной зоне — анаэробное разложение органического вещества (фаза кислого брожения) с накоплением жирных кислот для развития удаляющих фосфор бактерий, денитрификация; в аноксичной зоне — потребление фосфатов с использованием нитратов, денитрификация.

Однако процесс биологического удаления фосфатов из сточных вод очень сильно зависит от исходных данных и практических условий проведения очистки. Это обуславливает низкую надежность получения заданной эффективности очистки сточных вод от фосфора и необходимость в сложной системе контроля и управления процессом. Кроме того, существуют чисто технические сложности: применение перемешивающего оборудования для анаэробной и аноксичной зон, значительное (в 3—5 раз) увеличение рециркуляционных потоков. Поэтому для гарантированного получения необходимого качества очищенной воды необходимо дополнительно предусматривать реагентную обработку.

**Таблица 1.1. ПДК веществ в сточных водах**

Наименование веществ	ПДК в сточных водах, мг/л		
	На биологическую очистку	В хозяйственно-питьевых водоемах	В рыбохозяйственных водоемах
1	2	3	4
Аммиак	Не лимитируется	2,0	0,05
Ацетон	40,0	В пределах БПК	0,05
Бензин	40,0	0,1	-
Дихлорэтан	200,0	2,0	-
ДДТ-технический	50,0	0,1	-
Железо	0,5	0,5	0,5

**Продолжение табл. 1.1**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Керосин	-	0,1	-
Красители	-	0,8	-
Медь	0,5	0,1	0,001
Метиловый спирт	30,0	3,0	0,1
Муравьиная кислота	300,0	-	-
Мочевина	-	-	80,0
Мазут	6,0	-	-
Нитриты	-	-	0,02
Нитраты	-	10,0	9,1
Нефть	25,0	0,3	0,05
Никель	1,0	0,1	0,01
Полиакриламид ПАВ: Оп-7	20,0	0,4	0,3
Оп-10	40,0	1,5	0,5
Ожк	30,0	-	3,9
Нп-3	20,0	0,5	0,1
Ртуть	0,005	0,005	0,001
Смолы	-	-	2,0
Сероуглерод	5,0	1,0	1,0

**Продолжение табл. 1.1**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Сульфиды	Не допускаются	-	-
Сульфат аммония	-	-	-
Уксусная кислота	45,0	-	0,01
Фенол	15,0	0,001	0,001
Формальдегид	25,0	0,5	0,1
Фосфор	-	-	0,1
Фтор	-	1,5	0,5
Хлор сводный	0,3	Не допускаются	-
Хлорбензол	10,0	0,02	0,001
Хлорофос	100,0	0,05	Не доп.
<b>Хром:</b>			
трехвалентный	-	2,7	0,5
Шестивалентный	0,1	0,1	0,001
Целлюлоза	-	-	-
Цианиды	1,5	0,1	0,05
Цинк	1,0	1,0	0,05
Сероводород	2,0	0,00	0,00
Углекислый газ	40,0	1,0	0,00
метан	5,0	0,00	0,00

**Примечание.** Предельные допустимые концентрации сероводорода, углекислого газа и метана даны ориентировочно.

## **2. Сооружения биологической очистки**

### **2.1. Септики**

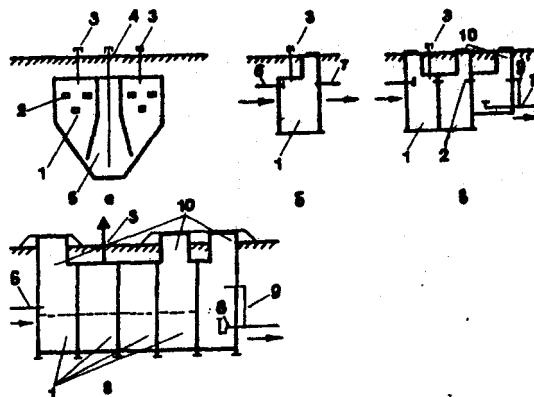
Септики (типовые проекты (т.п.) 902-3-73.1.87; 902-3-73.2.87; 902-3-73.3.87) в нашей стране применяются в качестве сооружений механической очистки перед сооружениями естественной биологической очистки на расход 0,4—12 м<sup>3</sup>/сут, а при необходимости и при соответствующем технико-экономическом обосновании — на расход до 25 м<sup>3</sup>/сут. В септиках одновременно осуществляются два процесса очистки сточных вод — осветление и обработка (сбраживание) осадка в естественных условиях. При длительном пребывании сточных водах септиков (из расчета 2-3 сут) удаляется высокий процент механических примесей и на выходе их концентрация составляет в среднем до 30-40 мг/л. При таких остаточных концентрациях взвесей оросительные дрены сооружений естественной биологической очистки не засоряются и работают длительное время (до 10 лет) - до следующего периода регенерации системы. Длительная эксплуатация позволила определить связь между концентрацией взвешенных веществ  $C_{ex}$  и БПК<sub>5</sub>-L<sub>ex</sub> сточной жидкости, прошедшей обработку (табл. 2.1).

Как правило, в осадке наряду с минеральными содержится большое количество органических веществ, часть которых вскоре после образования начинает загнивать из-за отсутствия кислорода. Под воздействием анаэробных микроорганизмов в течение шести месяцев происходит процесс анаэробного брожения. Отсутствие принудительного перемешивания и подогрева определяет интенсивность процесса, который, в основном, завершается на первой фазе - кислого брожения. Образующиеся в процессе гниения газы (метан, углекислый газ, сероводород и др.) в большем или меньшем количестве увлекаются движущимся потоком жидкости, придавая осветленной жидкости гнилостный запах. Такую воду можно сбрасывать в водоемы, имеющие высокую самоочищающую способность.

**Таблица 2.1. Показатели очищенных вод в септиках, мг/л**

$C_{ex}$	$L_{ex}$	$C_{ex}$	$L_{ex}$	$C_{ex}$	$L_{ex}$
12	25	25	45	49	70
16	35	35	60	41	75
17	38	36	64	42	80
20	40	47	68	45	90

Конструктивно септики бывают круглые (рис. 2.1, б, в), прямоугольные (рис. 2.1, г), односекционные и многосекционные, а также двухъярусные (рис. 2.1, а).



**Рис.2.1** – Септики: а -двуихъярусный; б - круглый односекционный; в – круглый двухсекционный; г – прямоугольный четырех секционный с деревянными элементами; 1 – зона отставания ; 2 – перепускные отверстия; 3- вентиляционные трубы; 4 – удаление продуктов распада; 5 – септическая часть; 6-подача сточных вод; 7 – отвод сточных вод; 8 – сифон; 9 – переливная труба; 10 – люк колодца.

На практике в двухкамерных септиках рабочий объем первой камеры принимают 2/3 общего объема, в трех— и более камерных – половину общего объема. Это объясняется тем, что при поступлении стоков непосредственно в первую камеру взвесь, имеющая большую гидравлическую крупность, быстро осаждается, поэтому эта камера всегда перегружена. Рабочая глубина воды в септиках должна быть

1,2,...,2 м, так как большие глубины осложняют удаление осадка и способствуют образованию короткозамкнутых потоков жидкости, что снижает эффект разделения твердой и жидкой фаз. Уровень воды между подающими и отводящими коммуникациями в среднем должен составлять 45-50 мм. На рис. 2.1 показаны перепускные отверстия в стенах, причем во избежание засорения их следует располагать так, чтобы в них не попадали донный осадок и плавающие вещества. Поэтому в местах впускания и выпускания сточных вод устанавливают полупогруженные доски или тройники, исключающие прямой поток, что обеспечивает забор воды из—под уровня. Эти устройства должны быть погружены в воду не менее чем на 300 мм и над водой возвышаться не менее чем на 200 мм. Перекрытие септика должно исключать поступление дождевых вод в сооружение. Проезд по поверхности не допускается. Для постоянного удаления образующихся газов в септиках устраивают вентиляционные трубы. Во избежание в трубах отложений подводящие и отводящие трубы устраивают с большим уклоном, соответственно 1:50 и 1:100. Обслуживают септики через люки. Равномерность поступления сточных вод от септика на сооружения естественной биологической очистки осуществляется дозирующей камерой и сифоном.

Наиболее аффективный, исключающий недостатки обычных септиков, - это двухъярусный септик (рис. 2.1,в) который обеспечивает удаление продуктов распада (газов) органических соединений осадка, минуя отстойную зону. Осветление сточной воды в желобах достигает – 98%, а снижение БПК<sub>5</sub> — 70%. Разделение отстойной и септической частей сооружения также облегчает и улучшает условия выгрузки осадка из септической части В отличие от обычных септиков осадок удаляется под гидростатическим давлением через специально устроенный иловыжимной трубопровод, что исключает вторичное загрязнение стоков. При этом отсутствуют взмучивание осадка и его вынос, а это предотвращает засорение отводящих и оросительных трубопроводов. Такая конструкция способствует длительной и надежной работе септика, исключает необходимость его отключения в период выгрузки осадка и обеспечивает удовлетворительные, гигиенические условия.

Расчет септиков основан на условии, что полезный объем сооружения

$$W = f(Q, t_x, c_{en}, t_0, T^0)$$

где  $t_k=2-3$  - период отстаивания сточных вод, сут;

$t_0$  - период хранения осадка, сут (от 2 до 6 мес). После обработки данных необходимый объем септиков классического типа определяют по эмпирическому уравнению

$$W_0 = 0,0127 \cdot \frac{N_0^{0,55} Q t_0^{0,33}}{T^{0,0283} \sqrt{N_0}} \left( \frac{C_{en}}{C_{ex}} \right). \quad (1.1)$$

Концентрацию загрязнений в сточных водах, прошедших обработку в септике, рекомендуется определять по формуле  $L_{en}=3,2C_{ex}^{0,85}$ . Результаты анализа полученных данных свидетельствуют о том, что эти уравнения могут быть использованы в ориентировочных расчетах для слабо концентрированных сточных вод в том случае, когда в них отсутствуют трудно окисляемые и токсические вещества, тормозящие процесс анаэробной очистки, т.е. действующие угнетающие на анаэробную микрофлору. Методика расчета двухъярусных септиков значительно отличается от обычных и производится по упрощенной формуле

$$W_{pl} = \frac{W_{oc} N_0 \cdot 365}{1000},$$

где  $W_{pl}$  - объем иловой части септика,  $m^3$ ;  $W_{oc}$  - суточное количество осадка на 1 чел. (0,1875 л/сут);  $N_0$  - количество жителей, пользующихся септиком. Слой сброшенного осадка к концу расчетного периода составит :

$$h_{il} = \frac{W_{il}}{F}.$$

Если сточные воды после септиков направляются на сооружения биологической очистки, во избежание гибели микрофлоры их не хлорируют. При острой необходимости хлорирование может быть кратковременным с длительными промежутками. Для широкого применения ЦНИЭП инженерного оборудования разработаны типовые конструкции круглых и прямоугольных септиков в плане, технические и экономические показатели которых приведены в табл. 2.2 и 2.3.

**Таблица 2.2. Типовые круглые септики**

Производительность, $\text{м}^3/\text{сут}$	Размеры камеры		Стоимость, тыс. грн.	Полезный Объем, $\text{м}^3$	Площадь Застройки, $\text{м}^2$
	Диаметр x количества, м x шт.	Глубина, м			
0,45	1,0	2,95	0,40	1,4	0,8
0,75	1,02	2,35	-	-	-
1,5	2,0	2,95	-	-	-
3,0	2,02	2,35	0,88	9,0	9,6
6,0	1,56	2,95	-	-	-
12,0	2,06	2,95	0,20	33,6	26,0

**Пример 1.** Рассчитать септик для очистки сточных вод пионерлагеря. Исходные данные: количество отдыхающих  $N_0=50$  чел.; время отстаивания — 2 сут; норма водоотведения — 150 л/сут; температура сточных вод —  $15^{\circ}\text{C}$ ; Период хранения осадка — 60 сут;  $C_{\text{ex}}=40 \text{ мг/л}$ ;  $C_{\text{en}}=200 \text{ мг/л}$

$$W = 0.0127 \frac{50^{0,55} \cdot 7,5 \cdot 60^{0,33}}{15^{0,0282} \sqrt{50}} \left( \frac{200}{40} \right) = 10,9 \text{ м}^3.$$

Расчетная БПК<sub>5</sub> сточных вод после септика

$$L_{\text{ex}} = 3,2 \cdot 40^{0,85} = 74 \text{ мг/л.}$$

Подбираем типовой септик объемом 12  $\text{м}^3$  по типовому проекту

902-3-73-3.87.

**Таблица 2.3. Показатель типовых прямоугольных септиков**

Производительность, $\text{м}^3/\text{сут}$	Размеры, м		Рабочая глубина, м	Сметная стоимость, тыс.грн.	Площадь застройки, $\text{м}^2$	Полезная ёмкость, $\text{м}^3$
	ширина	длина				
0,45	1,1	1,1	1,35	0,65	1,65	1,4
0,74	1,1	1,85	1,35	0,75	2,73	2,6
1,5	1,1	3,1	1,35	1,66	7,8	5,1
3,0	1,5	6,0	1,35	2,22	14,62	11,8
6,0	1,5	6,0	1,35	3,8	26,0	23,5
12,0	1,5	6,0	1,7	4,49	26,0	29,1

**Пример 2.** Рассчитать двухъярусный септик для очистки сточных вод пионерлагеря по исходным данным примера 1.

$$\text{Объем иловой части септика } W_{\text{ил}} = \frac{0,185 \cdot 50 \cdot 365}{1000} = 3,4 \text{ м}^3.$$

Объем отстойной части  $W_{\text{ос}} = 7,5 \cdot 2 = 15 \text{ м}^3$ .

Общий объем  $W = 15 + 3,4 = 18,4 \text{ м}^3$ .

По этим данным конструируем сооружение.

## 2.2. Фильтрующие колодцы

При расходе сточных вод, не превышающем  $1 \text{ м}^3/\text{сут}$ , удобно пользоваться фильтрующими колодцами. Их применяют в супесчаных грунтах из условий нагрузки  $40 \text{ л}/\text{сут}$  сточных вод на  $1 \text{ м}^3$  фильтрующей поверхности и  $80 \text{ л}/\text{сут}$  при песчаных грунтах. Под фильтрующей поверхностью понимается дно и боковая площадь стенок колодца на высоту фильтра в зоне обеспечения фильтрующего контакта колодца с грунтом.

Фильтрующие колодцы строят вне зоны источников питьевого водоснабжения. Зона распространения сточных вод не должна

достигать радиуса депрессионной воронки источника питьевого водоснабжения. В отдельных случаях устройство этих сооружений должно быть согласовано с органами санитарного надзора.

Высокая фильтрующая способность грунта представляет собой опасность при устройстве колодца питьевой воды вблизи фильтрующего колодца, поскольку первый более глубок и в него могут попадать загрязнения из сточных вод. Самый большой гарант очистки воды в фильтрующих колодцах - строительство фильтрующего слоя в верхних слоях почвы, но не менее чем на 1 м до уровня грунтов вод. Естественный почвенный фильтр задерживает загрязнения сточных вод за счет биологической сорбции. Затем происходит окисление, а также разложение патогенных бактерий. Для отвода сточных вод применяют фильтрующие колодцы с дном и без него. Типовые проекты, применяемые в нашей стране, рекомендуют фильтрующие колодцы с устройством фильтрующего дна. Фильтрующие колодцы строят круглыми и прямоугольными из кирпича, бетона или железобетонных колец диаметром 1,5-2 м глубиной до 2 м. Значение перфорации в стенках колодца составляет 20-30 мм. Днище и стенки колодца обсыпают щебнем крупностью 40-54 мм. Вовнутрь колодца засыпают этот же фильтрующий материал толщиной до 1 м. Колодец перекрывают плитой со встроенным люком, что обеспечивает доступ в колодец для его обслуживания и в случаях заиливания поверхности загрузочного материала. Перед фильтрующими колодцами необходимо предусматривать септик.

Надежность работы колодца зависит от точности расчетов по нахождению необходимой полезной площади фильтрации, определяемой и поглощающей способностью грунта и давлением столба жидкости в колодце. Необходимую площадь фильтрации целесообразно в каждом конкретном случае определять с учетом местных условий, гидрогеологии района. Пробные обследования выполняют следующим образом:

испытывают грунт на просачивание, затем в него отводят сточные воды, для чего берут пробный шурф толщиной до 30 см и площадью  $30 \times 30$  см и заполняют водой, выжидая до тех пор, пока первая порция сточной воды не просочится в грунт. При многократном (до пяти) наполнении такого образца водой измеряют время понижения уровня жидкости на 10 мм. Учитывая надбавку на заиливание, допустимую нагрузку,  $\text{л}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ , определяют по формуле

$$q_n = \frac{1200}{2,5t_{mid} + 6,2},$$

Испытания фильтрующих колодцев показали высокую эффективность почвенной очистки сточных вод на этих сооружениях. Результаты работы представлены в табл. 2.4.

В табл. 2.5 приведены данные по удельной площади фильтрации для некоторых категорий сточных вод и грунтов при нормах водоотведения: жилые дома-200, лагеря - 100 и школы-65 л/(чел · сут).

**Таблица 2.4. Эффективность работы фильтрующих колодцев при  $Q_t = 180\text{-}200$  л/сут на 1 м<sup>2</sup> площади поверхности**

Загрязнения, мг/л	Неочищенные стоки, мг/л	Вода из колодца		Эффективность, %
		контрольного	испытуемого	
Азот аммонийный	20	Следы	0,6	97
Окисляемость	72	2,6	3,6	98,6
БПК <sub>5</sub>	260	0,3	0,8	99,8
Микробное число	960000	20	32	99,99
Коли-индекс	110000000	3	10	99,99

Необходимую площадь фильтрующей поверхности можно определить ориентировочно по формуле  $F = N_0 q_n$ .

**Таблица 2.5. Необходимая площадь фильтрации, м<sup>2</sup>/чел.**

Грунт	Жилые дома	Лагеря	Школы
Песок (крупный, мелкий)	0,93...1,4	0,23...0,37	0,14...0,23
Супеси и суглинки	2,3	0,6	0,37
Глина со значительными примесями песка и гравия	3,7	0,93	0,6

Исходя из необходимой фильтрующей поверхности определяется объем фильтрационной части колодца.

Действующие типовые проекты 902-3-0,74.87 предусматривает строительство одинарных фильтрующих колодцев (рис. 2.2,а — на расход 0,5 м<sup>3</sup>/сут) и двойных (рис. 2.2,б — на расход 1 м<sup>3</sup>/сут). При этом, как правило сточные воды, поступающие на фильтрующие колодцы, предварительно осветляются в односекционных (рис. 2.2,д - при расходе 0,5 м<sup>3</sup> /сут) и двухсекционных септиках (рис. 2.2,ж). Сточные воды поступают в септики по трубопроводам диаметром 150 мм (рис. 2.2). Удовлетворительные условия эксплуатации септиков обеспечивают надежный режим работы фильтрующего материала, исключая его засорение. Осветленные сточные воды поступают в колодец, где через фильтрующий материал проходят в естественный фильтр (грунт). Технические характеристики применяемых железобетонных фильтрующих колодцев приведены в табл. 2.6 и 2.7.

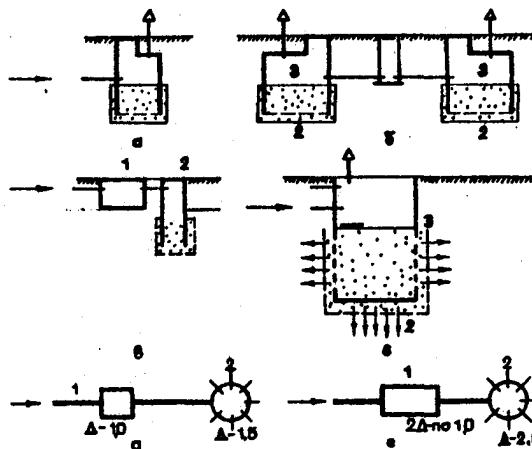


Рис. 2.2 – Фильтрующие колодцы: а- одинарные; б- двойные;

в- схема расположения по высоте; г — деталировка движения жидкости; д - компоновочная схема с одинарным септиком; е -то же, с двухсекционным септиком; 1-септики ; 2-фильтрующие колодцы; 3-загрузка.

**Таблица 2.6. Технико-экономические показатели фильтрующих колодцев из железобетона и кирпича**

1	2	3	F, м <sup>2</sup>		d, м		Число колодцев		Объем загрузки		Стоймость, тыс. грн.
			круглых	прямоугольных	круглых	прямоугольных	круглых	прямоугольных	круглых	прямоугольных	
1,0	0,5	Песок	6,47	6,5	1,5	11,5	1	1	4,1	3,9	0,44 0,63
	Супесь	Песок	12,94	13	1,5	11,5	2	2	8,2	7,8	0,8 1,12
	Супесь	Песок	12,94	1,5	1,5	11,5	2	2	8,2	7,8	0,86 1,19
		28,2	24	2	2,2	3	2	18,8	15,9	1,27 1,5	

**Таблица 2.7. Технико-экономические показатели фильтрующих колодцев (типовой проект 902—3-073.87)**

Q, м <sup>3</sup> /сут	Площадь		Стоимость	
	Застройки, м <sup>2</sup>	Фильтрующей поверхности, м <sup>2</sup>	Удельная, грн./ м <sup>2</sup>	Всего тыс. грн.
0,45	1,8	6,5	26,1	0,17
0,75	3,2	9,4	24,4	0,23

**Пример.** Рассчитать фильтрующий колодец для очистки сточных вод кемпинга. Исходные данные: количество туристов  $N_0 = 10$  чел., норна водоотведения  $q_n = 80$  л/(сут.чел.).

Определяем расход воды: 
$$Q = \frac{N_0 q_n}{1000} = \frac{10 \cdot 80}{1000} = 0,8$$
 м<sup>3</sup>/сут.

Необходимая площадь фильтрующего материала  $F = Q/q_n$ .

### 2.3. Подземная фильтрация сточных вод

Подземную фильтрацию сточных вод в песчаных и супесчаных грунтах выполняют при расположении оросительных труб выше уровня грунтовых вод не менее чем на 1 м.

Учитывая, что оросительные трубы укладывают на глубине 0,6-0,9 м, в период вегетации значительное количество сточных вод

(в виде питательных веществ и влаги) усваивается корневой системой растений, а неусваиваемая их часть проходит биологическую фильтрацию через слой почвы и попадает в грунтовые воды.

Значительные капитальные затраты на укладку дренажа и постоянная угроза заиливания перфорации оросительных труб не всегда делают систему подземной фильтрации удобной для применения.

Сооружения подземной фильтрации бывают с естественной фильтрующей загрузкой (грунт), получившие название поля подземной фильтрации, и с искусственной фильтрующей загрузкой (песчано-гравийные фильтры и фильтрующие траншеи).

К сооружениям естественной очистки такие относятся земледельческие поля орошения.

Процессы биологической очистки сточных вод на этих сооружениях аналогичны всем биологическим процессам изъятия загрязнений, поэтому на процесс изъятия влияют общеизвестные факторы. По данным ВОДГЕО и АКХ им. К.Ц.Памфилова, процессы минерализации загрязнений в сооружениях естественной очистки происходят в фильтрующих грунтах, расположенных непосредственно у оросительных труб. Такое представление о механизме процесса удаления загрязнений дало возможность усовершенствовать методику

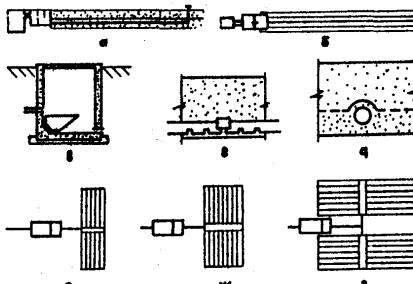
расчета этих систем - в расчетах стали учитывать нагрузку на длину оросительных труб, а не на площадь фильтрации.

Подземная фильтрация в качестве полной биологической очистки сточных вод применяется на расход до 12 м<sup>3</sup>/сут, в отдельных случаях при соответствующем технико-экономическом обосновании до 25 м<sup>3</sup>/сут [ 2;12].

Нагрузки на 1 м погонной длины оросительных труб применяются в зависимости от гидрогеологических и климатических условий. Для песчаных грунтов нагрузка составляет 16...30 л/сут на 1 м погонной длины, а супесчаных грунтов - 8...16. Оросительную сеть устраивают из керамических или из асбестоцементных перфорированных труб (см. рис. 2.2). Диаметр труб составляет 100—150 мм, значение перфорации ~15 мм, шаг 200 мм (см.рис.2.2,г) .Во избежание заиливания перфорацию (пропилы) направляют вниз, трубы укладывают на подушки из хорошо фильтрующего материала, например щебня, с уклоном 0,001...0,003 в сторону течения жидкости. В супесчаных грунтах трубы укладывают горизонтально, причем оросительных труб должно быть не менее двух каждая длиной не более 20 м.

Один из способов распределения сточных вод – применение дозирующих приспособлений в зависимости от расхода. На расходы 3м<sup>3</sup>/сут и более в камерах септиков дозировку устраивают сифонами, а с малыми расходами - качающимися желобами, поскольку при малых расходах надежность срабатывания сифонов резко снижается.

При расходах более 0,45 м<sup>3</sup>/сут оросительные трубы укладывают параллельно с расстоянием между ними, учитывающим геологические условия. Для песчаных грунтов в зависимости от крупности фракций песка эта величина составляет 1,5..2 м, в супесчаных - до 2,5 м. В конце оросительных труб устраивают вентиляционные трубы (стояки), которые, как правило, перекрываются флюгарками. При малых расходах вентиляционные трубы устанавливают на каждом оросителе. При устройстве групповых ветвей концы оросительных труб соединяют вентиляционным коллектором, который заканчивается вентиляционным стояком (рис. 2.3,в-з).



**Рис. 2.3 – Схема устройства полей подземной фильтрации:**  
 а - продольный разрез; б - план; в - распределительная камера с кachaющимся желобом; г - укладка оросительных труб, продольный разрез; д - тоже, поперечный разрез при укладке на слой щебня; е - схема расположения септиков с полями подземной фильтрации на расход 3 м<sup>3</sup> /сут; ж - тоже, на расход 6 м<sup>3</sup>/сут; з - тоже, на расход 12 м<sup>3</sup>/сут.

Расчет полей подземной фильтрации заключается в определении длины оросительных труб. Затем, согласно типовому проекту 9О2-З-072.87 подбирается соответствующая технологическая схема. На полях подземной фильтрации осветленные воды подвергаются полной биологической очистке. При этом достигается глубокий эффект изъятия загрязнений. Качественные данные основных показателей (результаты работы КМИ для нагрузки 33 л/сут на 1 м погонной длины дренажа) приведены в табл. 2.8.

Поля фильтрации - это специально спланированные прямоугольной формы участки земли, на которые подается осветленная сточная жидкость после септиков, либо двухъярусных и других типов отстойников.

Поля фильтрации предназначены для полной биологической очистки с высоким эффектом. После биологической очистки взвешенные вещества должны составлять 98,5—99%; БПК<sub>20</sub> — 97,5—98%. Работа полей фильтрации основывается на самоочищающей способности почвы и ограничивается геологическими характеристиками грунтов. Во избежание заиливания грунта (снижения коэффициента фильтрации) нагрузки гидравлические и органические незначительны. Поэтому даже при малых объемах обрабатываемой жидкости требуются значительные территории земельных площадей. Механизм изъятия загрязнений аналогичен

другим сооружениям подземной фильтрации лишь с разницей в скорости окисления органических соединений. Разложение органических загрязнений происходит во взаимодействии биоплёнки, образующейся на поверхности фракций грунта, и растворенного кислорода, поступающего с осветленной жидкостью. Поля фильтрации устраивают вниз по течению грунтовых вод от населенного пункта не ближе чем 300 м — для супеси и 500 м для песчаных грунтов.

**Таблица 2.8. Технологические показатели работы полей подземной фильтрации**

Загрязнения	Неочищенные стоки	Вода из контрольных скважин	Грунтовая вода из испытываемой скважины	Эффективные очистки, %
Азот аммонийный, мг/л	20	-	0,2	99
Окисляемость, мг/л	39	2,7	4,2	96
БПК <sub>5</sub> , Мг/л	82	0,6	1,2	99
Микробное число	126600	28	4,9	99,9
Коли-индекс	30500000	3	8	99,99

Расчет полей фильтрации заключается в определении площади рабочей фильтрующей поверхности с учетом нормы нагрузки на единицу площади земли. Полезную площадь полей фильтрации можно определить по формуле:  $F = \frac{Q}{q_{cp}}$ , где  $q_{cp}$  — нагрузка, принимаемая по [12, табл. 47], м<sup>3</sup> / (га·сут).

Поля фильтрации разделяют валиками на отдельные карты площадью до 1,5 га (длина в 2—4 раза превосходит ширину). Кроме

того, предусматриваются дополнительные поля фильтрации, коммуникации и соответствующее обслуживание в зависимости от их полезной площади [12]. Эта величина составляет 100—40% при площадях фильтрации 0,3.. .1 га и более, что связано с весенним таянием снегов. Данные по нагрузке на поля фильтрации, определяемые, прежде всего, геологией и составом сточных вод, приведены в табл. 2.9.

Окислительные процессы при необходимости ускоряют устройством дополнительной вентиляции, а отвод излишней воды дренажной системы на глубине ~1,5 м. Очищенные дренажные воды могут быть использованы в сельском хозяйстве с целью орошения пахотных земель или же сброшены в водоемы.

Поля орошения устраивают на землях колхозов и совхозов по согласованию с органами здравоохранения и сельского хозяйства. Как правило, это сточные воды от бытовых объектов или смесь бытовых и промышленных. Эти воды должны иметь слабую концентрацию загрязнений, не иметь токсичных, поверхностно-активных веществ и компонентов, тормозящих рост сельскохозяйственных культур. Качественные характеристики сточных вод в данном случае должны быть согласованы с медицинской службой.

**Таблица 2.9. Нагрузка сточных вод на поля фильтрации [2; 12]**

Грунты	Средне годовая температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	$q_{\text{ср}}, \text{м}^3/(\text{га}\cdot\text{сут})$ , при залегании грунтовых вод на глубине, м					
		1,5	2	3	1,5	2	3
Супеси	0-3,5	80	85	100	36	38	45
	до 6	90	100	120	40	45	54
	до 11	100	110	130	45	49	58
	более 11	120	130	150	54	58	67
Пески	0-3,5	120	140	180	66	77	99
	до 6	150	175	225	82	96	113
	до 11	160	190	235	88	104	129
	более 11	180	210	250	99	115	137

Обычно промышленные сточные воды не рекомендуется очищать на поля орошения. Но в некоторых отраслях (сахарная промышленность и т.д.) нормами предусмотрена подача сточных вод на поля орошения после предварительной локальной очистки (или без нее). Многолетний опыт эксплуатации подобных систем свидетельствует о том, что только в первый год повышается урожайность полей. Далее нарушается самоочищающая способность грунтов, накапливаются соли и другие вредные соединения, нарушающие структуру и состав почвенного комплекса. Все это резко снижает урожайность, а иногда и изменяет качество выращиваемой продукции.

С целью обеспечения максимальной скорости фильтрации под поля орошения отводится относительно ровный рельеф местности с незначительным уклоном в пределах 0,001...0,01 неосвоенных участков с хорошо фильтрующими грунтами и глубиной залегания грунтовых вод не более 2 м. При необходимости параллельно с полями орошения могут быть устроены поля фильтрации, регулирующие пруды-накопители или резервные поля орошения. Ориентировочные данные по нагрузкам на поля орошения сведены в табл. 2.10.

**Таблица 2.10. Нагрузки на поля орошения [ 2; 5; 12]**

Грунты	Нагрузка в климатической зоне увлажнения			
	среднего	недостаточного	неустойчивого	избыточного
Песчаные	$\frac{30}{11000}$	$\frac{20}{2000}$	$\frac{15}{5000}$	$\frac{10}{3500}$
Супесчаные	$\frac{25}{9000}$	$\frac{16}{5500}$	$\frac{11}{5000}$	$\frac{6}{3000}$
Легко- и средне-суглинистые	$\frac{20}{8000}$	$\frac{13}{4500}$	$\frac{8}{3000}$	$\frac{5}{2000}$
тяжелосуглинистые	$\frac{15}{5000}$	$\frac{10}{3000}$	$\frac{5}{2000}$	—

**Примечание:** В числителе приведены значения нагрузки в  $\text{м}^3/(\text{га}\cdot\text{сут})$ , в знаменателе -  $\text{м}^3/(\text{га}\cdot\text{год})$ .

Регулирующие пруды-накопители наряду с аккумуляцией неочищенной жидкости успешно снижают концентрацию загрязнений в сточных водах. Причем преимущественно в теплый период года происходит интенсивное потребление кислорода микроорганизмами в объеме воды. При длительном фотосинтезе и поверхностной аэрации развиваются зоопланктоны, которые дополнительно очищают пруды-накопители, потребляя разлагающиеся органические вещества и кишечные палочки. В этот период при длительном контакте указанных фаз происходит не только естественная биохимическая очистка, но и снижается концентрация яиц гельминтов.

На орошаемых полях рекомендуется, в основном, посев многолетних трав с целью использования их в качестве витаминной муки, сенажа, сilosа. На этих площадях ограничено или полностью запрещено выращивание овощей или других культур, предназначенных для питания.

Оросительные трубопроводы проектируют аналогично коммуникациям полей фильтрации из пластмассовых асбестоцементных труб на основе гидравлических расчетов, определяющих диаметры по таблице Шевелева. Полезную площадь полей орошения рассчитывают по уравнению  $F = \frac{Q}{q_n}$ . С учетом

резервных участков полей  $F = K_p Q / q_p$ , где  $K_p$  - коэффициент,

учитывающий расход на резервные участки, принимается в зависимости от температуры воздуха: при 5 °C - 1; 10 - 0,75 и 16 °C - 0,5;  $q_p$  - норма нагрузок на резервные поля [12].

Площадь замораживания,  $m^2$

$$F_{\text{зам}} = \frac{Q t_{\text{н}} (1 - \beta_0)}{(h_{\text{н}} - h_{\text{oc}}) \rho_0 10^4},$$

где  $t_{\text{н}}$  - время намораживания, сут;  $\beta_0$  - коэффициент, предусматривающий уменьшение скорости фильтрации зимой; принимается для легких суглинков - 0,3; супеси - 0,45 и песков - 0,55;  $h_{\text{н}}$  - высота слоя намораживания принимается, как правило, 0,5...0,6 м, но не более 1 м;  $h_{\text{oc}}$  - слой зимнего осадка, м;  $\rho_0$  - плотность льда (0,9 т/м<sup>3</sup>).

Сточные воды на поля орошения подают в наивысшую точку через распределительный колодец и далее в сеть распределительной системы каждой карты в отдельности. Внутри карт устраивают распределительные борозды, по которым распределяются сточные воды.

## 2.4. Биопруды

Биологические пруды устраивают в слабофильтрующих грунтах с устройством ровного горизонтального дна. Форму в плане биопрудов принимают с учетом способа аэрации (преимущественно прямоугольную).

Биологические пруды предназначены для очистки малых количеств слабо концентрированных и концентрированных сточных вод в естественных условиях. Они применяются также как сооружения доочистки сточных вод, прошедших обработку на установках искусственной очистки и для очистки условно чистых промышленных сточных вод. Изъятие загрязнений в прудах осуществляется за счет жизнедеятельности микроорганизмов, поступающих после сооружений искусственной биологической очистки, а также зоопланктона, развивающихся непосредственно в самих биопрудах. Развивающиеся водоросли интенсифицируют процесс обмена кислорода, что положительно сказывается на жизнедеятельности микроорганизмов. Кроме того, кислород поступает через свободную поверхность за счет естественной аэрации, теплового массообмена (глубина прудов 0,4..0,6 м). Плохо подобранный гидравлический режим течения потоков жидкости в биопрудах (образование застойных зон) ухудшает условия переноса кислорода в толщу воды. В свою очередь недостаток кислорода ухудшает процесс окисления биоразлагаемого субстрата. Как правило, сооружения с низкой окислительной мощностью громоздки и требуют больших земельных площадей, что не всегда выгодно хозяйствам. Однако простота и удобство в эксплуатации и обслуживании дают возможность широко использовать эти сооружения.

На эффективность работы биоценоза влияет температура сточной жидкости в водоеме. Биологические пруды очень подвержены влиянию температуры воздуха. Это связано с большим зеркалом свободной поверхности, обеспечивающим контакт жидкости и воздуха. С одной стороны, происходит интенсивный перенос

кислорода воздуха в жидкость, с другой — этот процесс регулируется температурным состоянием среды. В летний период работа микроценоза более эффективнее, чем в зимний. В районах с отрицательными температурами биологические пруды покрываются льдом, что создает дополнительные трудности в процессах массообмена. Некоторые разновидности микроорганизмов в этот период цистируются и выживают более благоприятных условий или погибают вовсе. Поэтому температурные условия ограничивают применение данных сооружений биологической очистки до средней и южной зон нашей страны. Влияние температуры на процессы окисления определяют по известной формуле Стрите - Вельца.

Результаты расчета температурной константы  $K_t$  приведены в табл. 2.14, где расчетная формула  $K_t = K_{20} \cdot 1,047^{T-20}$ ;  $K_{20}=0,1$  — естественная аэрация;  $K_{20}=0,7$  — искусственная аэрация.

**Таблица 2.14. Значение температурной константы для биологических прудов**

Температура сточных вод, $^{\circ}\text{C}$	Температурная константа $K_t$ при аэрации		Температура сточных вод, $^{\circ}\text{C}$	Температурная константа $K_t$ при аэрации	
	Естествен-ной	Искусствен-ной		Естествен-ной	Искусствен-ной
5	0,05	0,352	20	0,1	0,7
10	0,063	0,441	25	0,129	0,88
15	0,079	0,553	30	0,158	1,10

Наиболее простое уравнение для расчета основного параметра - времени процесса очистки:  $T_{aэр} = \mathcal{E}/[K(I - \mathcal{E})]$ , где  $\mathcal{E}$  - эффект очистки в долях единицы;  $K=2,3$  К — эффект очистки в каждой из ступеней биопрудов обычно составляет 50—60% из условия  $\mathcal{E}_i = (L_{eni} - L_{exi})/L_{eni}$ .

Площадь свободной поверхности водоема

$$F_{lag} = [QC_p(L_{en} - L_{ex})]/[K_{lag}(C_p - C)Za],$$

где  $C_p$  - растворимость кислорода воздуха в воде (см. разд. “Аэротенки”);  $K_{lag}$  — коэффициент использования пруда (при соотношении ширины к длине 1:1...1.3 равно 0,35);  $C$  — остаточная

концентрация кислорода в очищенной воде после прудов; ориентировочно  $C \geq 2$  мг/л с согласования санэпидемслужбы в каждом отдельном случае;  $Z_a$  - атмосферная реакция, при  $K_{lag} = 1$  значение  $Z_a$  принимается 3...4 г/(м<sup>2</sup> · сут).

Расчетная глубина прудов  $h_h = (Qt_{lag})/F_{lag}$ .

Необходимый объем сооружений  $W = Qt_{lag}$ .

**Пример.** Рассчитать биопруды для глубокой очистки сточных вод сахарного завода, прошедших биологическую очистку в искусственно созданных условиях. Исходные данные:  $Q = 1500$  м<sup>3</sup>/сут; БПК стоков поступающих в биопруды,  $L_{en} = 25$  мг/л, БПК очищенных сточных вод  $L_{ex} = 5$  мг/л. Температура воды в прудах 10 °С.

Необходимый эффект очистки  $\mathcal{E} = \frac{25 - 5}{25} = 0,80$ . Время обработки

$$t_{lag} = \frac{\mathcal{E}}{2,3 K_T (1 - \mathcal{E})} = \frac{0,80}{2,3 \cdot 0,063 (1 - 0,80)} = 27,6 \text{ сут.}$$

Необходимая площадь поверхности зеркала воды

$$F_{lag} = \frac{1500 \cdot C_p (25 - 5)}{0,35 (C_p - 2) \cdot 4};$$

$$C_p = (1 + \frac{H_{lag}}{20,6}) \quad C_m = (1 + \frac{1,0}{20,6}) 9 = 9,5 \text{ мг/л},$$

где  $C_m$  - растворимость кислорода в воде при атмосферном давлении, принимаемая в зависимости от температуры по справочным данным.

$$\text{Окончательно } F_{lag} = \frac{30000 \cdot 9,5}{1,4 (9,5 - 2)} = 27143 \text{ м}^2.$$

Необходимый объем биопрудов  $W = 1500 \cdot 27,6 = 41400 \text{ м}^3$ .  
Рабочая глубина биопрудов  $h_n = 1,52 \text{ м}$ .

Сопоставление опытных данных с расчетными свидетельствует о том, что данная методика расчета с достаточной точностью позволяет определять основные технологические и конструктивные параметры этих сооружений.

## Биологические пруды с искусственной аэрацией

Принудительная аэрация биопрудов ускоряет насыщение очищаемой жидкости кислородом воздуха, а значит, интенсифицирует окислительные процессы. Кроме того, при искусственном насыщении увеличивается глубина проникновения кислорода в толщу жидкости что дает возможность увеличить глубину водоема до 3...4 м. Увеличение объема сооружений позволяет обрабатывать сточные воды с более высокими концентрациями (по БПК до 500 мг/л при естественной аэрации) или же расходами. Увеличение глубины биологических прудов уменьшает площадь поверхности зеркала водоема, при этом экономятся земельные угодья.

Многоступенчатые пруды — это сооружения с хорошим гидродинамическим режимом течения жидкости, исключающим образование застойных непроточных зон, а тем самым и накопление осадка, его гниение с вторичным загрязнением очищаемой воды. Многоступенчатые пруды уменьшают вероятность проскака необработанных сточных вод, имеют высокое значение коэффициента аэрации, эффекта очистки и глубины окислительных процессов.

Многоступенчатые биологические пруды могут быть выполнены со смешанным типом аэрации. В первой ступени, на которую приходится основная органическая нагрузка, целесообразно устройство искусственной аэрации, на последующих - естественная, что позволит снизить удельные энергозатраты на очистку сточной воды. Искусственную аэрацию нужно осуществить механическим или пневматическим способом. Предпочтение отдается механическому способу. Создан ряд конструкций механических аэраторов с автоматическим и дистанционным управлением, изменяющих свое местоположение в зависимости от колебания уровня воды в пруду.

Необходимое время обработки сточной воды в аэрируемых биопрудах определяется зависимостью

$$t_{lag} [N/(2,3 K_d)] [\sqrt[3]{L_{en}/(L_{en} - L_{fin})} - 1] ,$$

где N - количество ступеней биопрудов;  $K_d$  – динамическая константа скорости процесса ( $K_d = 7K_m$ );  $L_{en}$  - БПК сточных вод, поступающих в первую ступень прудов;  $L_{fin}$  - величина БПК при доочистке стоков [2; 5], которая летом равна 2...3 мг/л, а зимой - 1...2.

**Пример.** Рассчитать биологические пруды с искусственной аэрацией для доочистки сточных вод сахарных заводов третьей

категории, прошедших сооружения биологической очистки. Исходные данные соответствуют приведенному примеру. Принимаем трехступенчатые биопруды. Необходимая продолжительность аэрации

$$t_{lag} = \frac{3}{2,3 \cdot 7 \cdot 0,441} \left( 3 \sqrt{\frac{30}{5 - 0,5}} - 1 \right) = 0,37 \text{ сут} \sim 9 \text{ час.}$$

Необходимый объем прудов  $W=Qt_{lag} = 555 \text{ м}^3$ , т.е. почти в 90 раз меньше объема биологических прудов с аэрацией.

При планетарном виде аэрации пруды проектируют круглыми. Берега прудов выполняют с уклоном и обкладывают камнями во избежание эрозии берегов. В откосах при глубине более чем 0,5 м устраивают уступы. Дамбы выполняют из грунтов, обеспечивающих после утрамбовки водонепроницаемость и устойчивость, исключающие прорывы.

Соотношение длины к ширине в биологических прудах с естественной аэрацией должно быть не менее 20, а при искусственной – неограниченно. В пруды с естественной аэрацией жидкость подают рассредоточенным впуском с расстоянием между ними 5..10 м при БПК более 200 мг/л и 10..15 м при БПК менее 200 мг/л. Рассредоточенная подача обеспечивает равномерную нагрузку по органике на всей площади аэрационной поверхности. При механической аэрации сточную воду подают трубопроводом непосредственно в зону интенсивного перешивания. Перепуски устраивают выше уровня дна на 0,3..0,5 м с направлением конца трубы вверх. Выпускают очищенные воды через переливные устройства, расположенные на 0,15..0,2 % глубины воды от свободной поверхности, но не выше чем нижний уровень возможного образования льда. Обслуживают пруды с подъездных дорог, а пневматических и механических – со специальных причалов (табл. 2.15).

**Таблица 2.16. Технико-экономические показатели биологических прудов по типовому проекту 902—3-6**

Производительность, м <sup>3</sup> /сут	Площадь застройки, м <sup>2</sup>	Стоимость		
		Общая тыс.руб.	Удельная руб/м <sup>3</sup> воды	Оборудования, тыс.руб.
12,0	1864	13,26	1105	0,26
25,0	2614	14,81	592	0,26
50,0	4228	16,89	582	0,26

**Примечание.** Проектом на все три диапазона предусмотрена трехступенчатая схема очистки, состоящая из пяти прудов каждая. При этом в первом случае применяется искусственная аэрация, а в остальных - естественная. БПК<sub>расч.</sub> составляет 250 мг/л.

## 2.5. Биофильтры

Биофильтры - резервуары, в которых размещена инертная пористая загрузка, через которую сверху вниз просачивается сточная вода. Поверхность загрузочного материала обрастает биопленкой. Исходная вода равномерно распределяется по поверхности загрузки, а очищенная собирается в поддоне под загрузкой и отводится во вторичный отстойник для отделения от постоянно смывающейся с загрузочного материала биопленки.

В настоящее время в нормальной эксплуатации практически не осталось капельных биофильтров и аэрофильтров с гравийной загрузкой. Многие из них требуют реконструкции, перевода на интенсивный режим.

Биофильтры могут применяться для удаления органики в сочетании с удалением азота биологическим и фосфора реагентным способом в дополнительных сооружениях, поскольку в диапазоне применения биофильтров - станции производительностью до 20000 м<sup>3</sup>/сут - удаление фосфора биологическим способом нерационально.

Интенсификация работы биофильтров идет в направлении применения в качестве загрузки листового материала, что позволяет повысить эффективность очистки. Примером успешного решения в этой области являются биофильтры-стабилизаторы, которые состоят из высоконагруженного биофильтра и расположенного под ним резервуара, в котором выделены зоны минерализации и отстаивания. Биофильтр-стабилизатор работает в режиме рециркуляции; удаление загрязнений происходит как на загрузке биофильтра, так и в зоне минерализации с помощью избыточной биопленки, которая циркулирует из минерализатора на биофильтр.

При производительности станции до 10000 м<sup>3</sup>/сут применяют погружные (роторные) биофильтры. Погружной биофильтр представляет собой вращающийся барабан, полупогруженный в резервуар с поступающей сточной водой. Барабан выполняется в виде пластинчатых дисков или пористого материала, обрастающего биопленкой, которая при вращении барабана периодически

оказывается под водой, где контактирует с загрязнениями, и над водой, где контактирует с атмосферным воздухом.

Очистные сооружения с биофильтрами имеют довольно простую технологическую схему, не требуют дорогостоящего оборудования, просты в эксплуатации. Трудности возникают при заиливании загрузки биофильтра в результате превышения проектных органических нагрузок на сооружение.

Для задержания избыточной биопленки после биофильтров устанавливаются вторичные отстойники, в основном вертикального типа. Избыточная пленка из вторичных отстойников должна регулярно удаляться на обработку или иловые площадки, в противном случае загнивающий осадок ухудшает качество очищенной воды. В зависимости от режима работы биофильтра (капельный или высоконагруженный) образуется разное количество избыточной биопленки: для капельных биофильтров - 8 г/(чел.сутки), для высоконагруженных - 28 г/(чел.сутки). Влажность осадка, выгружаемого из вторичного отстойника, около 96%.

В целом очищенная вода после биофильтров имеет показатели, не удовлетворяющие требованиям санитарно-эпидемиологической службы и комитетов по охране природы: БПК полн. и концентрация взвешенных веществ - 20 - 25 мг/л, нитрификация идет слабо, снижение содержания аммонийного азота не превышает 30—40%, и его концентрация в очищенной воде 15—20 мг/л в зависимости от исходных концентраций. Очищенная вода часто имеет опалесценцию и мелкую неоседающую взвесь. Поэтому сами по себе биофильтры (кроме погружных) нельзя рекомендовать, как перспективные очистные сооружения, но их принципиальная особенность - биологические обрастания на поверхности загрузочного материала (биопленка) - может быть использована при совершенствовании способов биологической очистки. Погружные биофильтры при использовании нескольких ступеней могут обеспечить требуемое качество очищенной воды, но область их применения ограничивается небольшими расходами сточных вод.

## **2.6. Аэротенки**

Основными наиболее широко применяемыми сооружениями биологической очистки являются аэротенки.

Аэротенки представляют собой резервуары, в которых сточная вода смешивается с активным илом и аэрируется с помощью различных систем аэрации. Аэрация обеспечивает эффективное смешение сточных вод с активным илом, подачу в иловую смесь кислорода и поддержание ила во взвешенном состоянии. В процессе окисления органического вещества увеличивается биомасса микроорганизмов и образуется избыточный активный ил. Отделение активного ила от очищенной воды происходит во вторичных системах аэрации. Аэрация обеспечивает эффективное смешение сточных вод с активным илом, подачу в иловую смесь кислорода и поддержание ила во взвешенном состоянии. В процессе окисления органического вещества увеличивается биомасса микроорганизмов и образуется избыточный активный ил. Отделение активного ила от очищенной воды происходит во вторичных отстойниках, из которых он возвращается в аэротенки (циркуляционный активный ил), а избыточный активный ил периодически выводится из вторичного отстойника.

Как правило, аэротенки выполняются в виде одного-четырех коридоров глубиной от 3 до 5 м и длиной не менее чем в четыре раза больше ширины. Ширина коридора не превосходит глубину более чем в 2 раза. При необходимости предусматривают аэротенки длиной до 100 м и шириной коридора до 12 м.

Возможны иные формы аэротенков при условии достаточного перемешивания иловой смеси и эффективного ввода воздуха. Высокая концентрация активного ила ограничена его способностью к отделению от иловой смеси. Практически концентрация иловой смеси в аэротенках находится в пределах 1,5 - 6 г/л. Во вторичном отстойнике ил уплотняется до концентрации не более 8—10 г/л. При концентрации ила в аэротенке выше 6 г/л расход циркуляционного ила достигает 300% от притока сточной воды, что неэкономично и по расходу энергии и по требуемому объему вторичного отстойника.

Аэрация иловой смеси производится подачей сжатого воздуха через разного рода диспергаторы (дырчатые трубы, пористые пластины, трубы), которые изготавливаются из стали, керамических и пластмассовых материалов.

В ФРГ и Финляндии, а в последние годы и в России, применяются конструкции мелкопузырчатых аэраторов на основе пористого полиэтилена. Аэратор состоит из основной перфорированной трубы из полиэтилена с насаженным на нее диспергатором из двухслойного пористого полиэтилена: на грубый пористый слой нанесен мелкопористый, что обеспечивает

равномерность образования пузырьков воздуха. Аэраторы, выпускаемые в России под названием «Поливом А» просты в монтаже и обслуживании, надежны в работе.

В районах с теплым климатом при небольшой производительности очистной станции могут применяться механические аэраторы - мешалки с вертикальной или горизонтальной осью вращения.

Эжекторная или струйная аэрация основана на вовлечении воздуха струями воды, протекающей через суженный участок трубопровода, к которому подведен воздуховод. Рабочей жидкостью обычно является иловая смесь. Эжекторная система аэрации наименее эффективна из перечисленных, но одна из самых простых в монтаже и эксплуатации, и поэтому имеет свою область применения: очистные сооружения малой производительности.

Для биологической очистки бытовых сточных вод требуется 1-1,4 г кислорода на 1 г БПК полн. При применении различных типов пневматических аэраторов в традиционной технологической схеме очистки без нитрификации расход воздуха достигает 5—10 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> исходной сточной воды. Мощность механических аэраторов достигает 0,05—0,1 кВт на 1 м<sup>3</sup> суточной производительности, зона действия одного аэратора достигает 30—400 м<sup>3</sup>. Система аэрации должна поддерживать в аэротенках концентрацию растворенного кислорода от 2 до 5 мг/л.

Прирост активного ила зависит от величины органической нагрузки на аэротенк. При нагрузках выше 200 мг/(г.сутки) прирост ила  $\rho_i$  определяется по формуле

$$\rho_i = 0,8C_s + 0,3L_{en}, \quad (7)$$

где  $C_s$  - концентрация взвешенных веществ в поступающей в аэротенк сточной воде;

$L_{en}$  — БПК полн. поступающей в аэротенк сточной воды.

Образующийся в результате прироста избыточный активный ил должен регулярно удаляться из системы для поддержания заданной дозы и нормальной работы вторичного отстойника.

Низкие нагрузки (менее 150 мг БПК/(г.сутки), при которых происходит более полное окисление органических веществ, дают существенно меньший прирост активного ила:

$$\rho_i = 0,35L_{en}.$$

Аэротенки, работающие при таких низких нагрузках, аэротенки полного окисления или аэротенки с продленной аэрацией могут работать без первичного отстаивания, что упрощает общую технологическую схему очистки и исключает образование разных по качеству и поэтому требующих специальной обработки видов осадка. С другой стороны аэротенки полного окисления требуют больших объемов и большего расхода воздуха, поэтому в настоящее время применяются чаще всего на очистных сооружениях небольшой производительности.

Требования к глубокому удалению соединений азота, остро стоящая проблема обработки и утилизации осадков (необходимо максимальное снижение количества образующегося осадка) делают аэротенки полного окисления весьма привлекательными сооружениями, так как при применении обычных аэротенков все равно необходимо предусматривать дополнительные сооружения для нитрификации сточных вод, сооружения для стабилизации и обработки осадков. В каждом конкретном случае целесообразность применения аэротенков полного окисления нужно определять технико-экономическим расчетом.

Аэротенки в стандартной технологической схеме применяют для удаления органических и части минеральных веществ (в том числе биогенных элементов) в пределах возможности накопления последних при синтезе органического вещества активного ила и при сорбции на поверхности хлопьев. В стандартной технологической схеме активный ил функционирует в достаточно узких стационарных условиях, поддерживаемых при работе станции.

При необходимости удаления биогенных элементов биологическим методом должны быть созданы нестационарные условия по органической нагрузке и подаче кислорода.

Для отделения очищенной воды от активного ила используют вторичные отстойники. Конструктивно вторичные отстойники проектируют как и первичные: вертикальные, горизонтальные, радиальные - для повышения эффективности разделения иловой смеси во вторичных отстойниках иногда используется прием отстаивания в

тонком слое (тонкослойные отстойники). Параметры вторичных отстойников рассчитываются по гидравлической нагрузке с учетом концентрации активного ила в аэротенке и его способности к осаждению и уплотнению, выражющейся величиной илового индекса — объема в мл, который занимает 1 г активного ила. Величина илового индекса зависит главным образом от состава сточных вод и органической нагрузки: при органической нагрузке от 200 до 500 мг/(г.сутки) величина илового индекса колеблется в пределах 70—100 мл/г, что обеспечивает удовлетворительную работу вторичных отстойников. При увеличении органических нагрузок иловый индекс возрастает, ил плохо оседает в отстойниках, что нарушает работу всей системы.

## **2.7. Сооружения с прикрепленной микрофлорой**

Аэротенки с прикрепленной микрофлорой представляют из себя резервуары, конструктивно устроенные как традиционные аэротенки, в которых устанавливается затопленная загрузка, выполненная из инертных материалов. Биомасса микроорганизмов присутствует в этом сооружении в виде взвешенного активного ила (как в обычных аэротенках) и в виде биопленки, нарастающей на материале загрузки. Основные ее виды следующие: засыпная загрузка (из зернистых материалов, обрезков пластмассовых труб, керамических элементов); плавающая загрузка; загрузка, находящаяся во взвешенном состоянии; листовая загрузка из различных синтетических материалов; загрузка типа <<ерш>> и некоторые другие /23/.

Технологические преимущества биологической очистки в сооружениях с прикрепленной микрофлорой определяются главным образом тем, что в аэротенке удерживается высокая доза ила без увеличения циркуляции из вторичного отстойника. Усредненная доза активного ила с учетом того, что часть ила находится во взвешенном, а другая в прикрепленном состоянии достигает 6—8 г/л. Вследствие этого обеспечиваются устойчивые качественные показатели очищенной воды, увеличение окислительной мощности очистных сооружений, сокращение продолжительности очистки и уменьшение объемов технологических емкостей, увеличение возраста активного ила за счет увеличения общей биомассы микроорганизмов, и следовательно, интенсификация процессов нитрификации, возможность осуществления глубокой биологической очистки сточных вод.

ЦНИИЭП инженерного оборудования разработаны рекомендации по глубокой очистке сточных вод в аэротенках с прикрепленной микрофлорой, работающие с использованием листовой загрузки без взвешенного активного ила. Широкое внедрение этой технологии стало реальным с началом промышленного производства загрузочных блочных материалов, таких как <<Поливом>>, <<Водоросль>> и др., предназначенных именно для канализационных очистных сооружений.

Технология применения прикрепленной микрофлоры позволяет обеспечить устойчивую очистку сточных вод со снижением концентрации БПК полн. до 3-5 мг/л и снижением содержания азота аммонийного до 0,5 мг/л.

## **2.8. Биодисковые фильтры**

Широко используются сооружения с прикрепленным биоценозом, в частности биодисковые фильтры (БДФ) или реакторы. Эти сооружения главным образом предназначены для очистки малых количеств сточных вод с обширным спектром загрязнений.

Современный биодисковый фильтр - это многосекционная емкость, наполненная вращающейся загрузкой. В качестве загрузки в основном используют диски различных конструкций и материалов. Диски набирают на горизонтально расположенным валу с расстоянием между ними 1,5...2 см. Диски обычно погружены в очищаемую жидкость на 0,45 D (30-45%) – бывает до 75D. Объем биодисковых фильтров и их основные геометрические параметры определяются характеристиками исходной жидкости. Так, диаметры дисков промышленных установок находятся в пределах 0,5...3,6 м. Диски вращаются электроприводом. В зависимости от мощности сооружения могут быть варианты размещения и применения тех или иных схем и оборудования. Принцип действия данного сооружения биологической очистки таков: диски (биомодули) – основной компонент сооружения - находятся в постоянном вращательном движении, причем их поверхность покрывается биологической пленкой, аналогичной по своим функциональным назначениям активному илу.

Толщина ее определяется, в основном, характеристиками очищаемых сточных вод, материалом загрузки, частотой ее вращения и находится в пределах 1...4 мм. В среднем эта величина эквивалентна концентрации иловой смеси до 10000 мг/л, если бы это была

взвешенная биомасса. Загрязнения изымаются прикрепленной биологической пленкой и отторгнутой, находящейся во взвешенном состоянии под воздействием кинематики течения жидкости. Микроорганизмы в биологической пленке получают кислород непосредственно из атмосферы в период нахождения вне зоны очищаемой жидкости. Процесс изъятия загрязнений осуществляется при контакте субстрата с поверхностью биопленки за счет адгезии, сорбции, диффузии, деструкции.

Если учесть, что массообменные процессы между прикрепленным биоценозом и загрязнениями в биодисковых фильтрах протекают интенсивнее, то и время обработки сточных вод значительно меньше, чем в системах с активным илом. В результате при одинаковых категориях обрабатываемых сточных вод и заданном эффекте очистки время аэрации в БДФ составляет 60..90 мин, а в аэротенке около б ч (городские сточные воды). Следует отметить, что интенсивность массообменных процессов в БДФ определяет скорость прироста и отторжения биопленки. В биодисковых фильтрах при создании оптимального гидродинамического режима отторгнутая биопленка продолжает работать аналогично илу, т.е. в сооружении совмещаются два режима удаления загрязнений за счет прикрепленной и диспергированной биомассы, что увеличивает окислительную мощность аппарата.

Биодисковые фильтры компактны, конструктивно просты, устойчивы к различного рода перегрузкам, имеют низкие удельные энергозатраты. Кроме того, при устройстве этих фильтров практически нет необходимости в устройстве насосной станции, поскольку гидравлические потери в сооружении незначительны. На эффективность работы сооружения не влияют кратковременные перебои в подаче электроэнергии.

При проектировании важны выбор материала и конструктивное оформление загрузки. Наиболее просты в изготовлении и доступны пластинчатые диски из пластмассы, асбестоцемента и алюминия. Кроме того, имеются барабаны в виде полых цилиндров, наполненных синтетическими отходами (куски пеностекла, пенополистирола, обрезки пластмассы и т.д.). Эксплуатируется ряд установок с пластинчатыми алюминиевыми дисками для очистки сточных вод промышленных объектов, но они имеют большие инерционные нагрузки в момент пуска и внезапной остановки, что в некоторых случаях выводит из строя двигатель. Диски совместно с биологической пленкой имеют большую массу, что увеличивает энергопотребление и

возможность механических поломок. Диски не сбалансированы, наблюдается коробление, искривление, а это снижает надежность работы всей системы. С технологической точки зрения пластиинчатые алюминиевые диски не обеспечивают интенсивного перемешивания отторгнутой биопленки. В результате ухудшается массообмен и диспергированная биомасса откладывается в днище сооружения. Накопление и уплотнение образующегося осадка приводит к поломке дисков, ко вторичному загрязнению очищаемой жидкости (в результате анаэробного разложения осадка), к снижению окислительной мощности и эффективности установки.

В конструктивном отношении приняты схемы расположения биодисковых фильтров и самих дисков по отношению к движущейся жидкости. Так, при высоких исходных значениях БПК сточных вод секции биодисковых фильтров следует устраивать по многоступенчатой схеме с промежуточным (вторичным) отстаиванием. В данном случае секции работают в последовательном режиме. В случае низких концентраций и больших расходов биодисковые фильтры следует устраивать в одну ступень по параллельной схеме работы. Одна ступень БДФ должна содержать 3-4 секции.

Концентрация загрязнений по БПК и ХПК перед биодисками составляет в среднем 300 и 360 г/м<sup>3</sup>, а в очищенных сточных водах - соответственно 25 и 90 г/м<sup>3</sup>. Прозрачность достигает 20 см. Наблюдается полное потребление азота аммонийных солей. Дефицит в этих соединениях удовлетворяется за счет разбавления с хозяйственно-бытовыми сточными водами. Выносящаяся из БДФ биопленка имеет хорошие соединительные свойства, за 5—10 мин в цилиндре Лысенко биоценоз полностью уплотняется. Удовлетворительный режим работы БДФ обеспечивает скорость изъятия загрязнений в пределах 30...40 мг/(г·ч) и зависит от начальных концентраций субстрата. Сахарные заводы начинают свою работу в осенний период, а очистные сооружения включают в себя земляные пруды, где температура сточных вод сильно снижается и может достигать после прудов-накопителей 2 °С, поэтому необходимо сохранять оптимальные параметры очищаемой жидкости.

Разработана и внедрена в реальном масштабе методика эффекта симбиопроцесса применительно к биодисковым фильтрам. Доказано, что симбиопроцесс эффективен именно для БДФ, так как вращение биомодулей обеспечивает постоянный контакт биомассы со световым

потоком. Рост водорослей усиливает процесс очистки, увеличивает его эффективность почти в 1,5 раза.

Для создания оптимального гидродинамического режима работы сооружения разработана и внедрена новая конструкция дисков, выполненных из объемных синтетических материалов (пенополистирол) с нанесением перфорации в виде цилиндрических отверстий (емкостей), оси которых параллельны оси вращения. При вращении диска эти емкости попеременно являются то стоками, то источниками (забирают жидкость на входе в воду и заливают на выходе). Поскольку биодисковый фильтр - это замкнутый резервуар со свободной поверхностью и жидкость всегда устремляется от источника к стоку, то в сооружении возникает циркуляционный контур. Интенсивность движения потока (скорость) пропорциональна объему переносимой отверстиями жидкости. Объем транспортируемой жидкости зависит от частоты вращения дисков и перфорации. Кроме того, отверстия улучшают турбулизацию потока и массообменные процессы между субстратом и биомассой. В результате можно снизить частоту вращения таких дисков почти в 2 раза по сравнению с пластинчатыми. Таким образом, линейная скорость на ободе 0,15 м/с достаточна для обеспечения во взвешенном состоянии отторгнутой биопленки. Объемные диски не гнутся, имеют малый удельный вес и совместно с биопленкой удобны в эксплуатации.

Для сравнения поверхностей загрузочных материалов вводится понятие безразмерного коэффициента сцепления  $K_c = h_{\Delta} K_F$ ,

где  $h_{\Delta}$  - высота неровностей (шероховатость), м;  $K_F$  - удельная поверхность загрузки,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ . С повышением коэффициента сцепления улучшается работа активных поверхностей загрузки. Для некоторых материалов коэффициенты сцепления приведены в табл. 2.17.

**Таблица 2.17. Параметры загрузочных материалов**

Материал	$K_F, \text{м}^2/\text{м}^3$	$h_{\Delta}, \text{м}$	$K_c$
Пластмасса	90	0,0001	0,009
Щебень	45	0,002	0,09
Асбестоцемент	55	0,0008	0,045

**Продолжение таблицы 2.17**

Керамзит	45	0,001	0,045
Шлак	45	0,002	0,09
Пенопласт	60	0,003	0,18
Пеностекло	70	0,005	0,35
Полиуретан	60	0,004	0,24

Наиболее эффективны загрузки из объемных перфорированных блоков пеностекла или пенопласта. Применение таких материалов и конструкций загрузок позволяет использовать БДФ для очистки высококонцентрированных специфических сточных вод сахарных заводов, заводов мясокостной муки, предприятий по переработке бахчевых культур и выделению семян, свинофермы и т.д.

Применение перфодисков интенсифицирует массообменные процессы в емкости биодисковых фильтров и создает принципиально новое конструктивное оформление биодисков.

Кроме интенсификации массообменных процессов, применение этих перфодисков позволяет увеличить удельную площадь их поверхности за счет боковой поверхности отверстий, обеспечить интенсивное обрастанье поверхности биопленкой и количество активной биомассы, а так же уменьшить ее возраст за счет скоростного изъятия. Созданные циркуляционные течения в БДФ усиливают интенсивность контакта загрязнений и биомассы. Наряду с этим повышается эффективность работы БДФ за счет отторгнутой, находящейся во взвешенном состоянии биопленки, увеличивается скорость изъятия загрязнений на 10-20 %, существенно снижаются частота вращения при обеспечении необходимого эффекта очистки и удельные энергетические затраты; повышается надежность работы установки за счет усовершенствования механической части.

Характеристикой гидродинамического режима сооружения и связанной с ним толщины пограничного слоя служит число Рейнольдса, определяемое кинематикой течения жидкости. Поскольку поле осредненных скоростей в междисковом зазоре (по высоте и радиальным сечениям) непосредственно, то и определять критерий  $R_e$  необходимо в некоторой характерной точке зазора между дисками. В данном случае его следует определять по форме записи для плоской

щели. Характерным размерам служит половина зазора ( $\Delta/2$ ).

Для БДФ с перфодисками характерна относительная скорость (линейная скорость и скорость потока жидкости в условной точке).

$\overrightarrow{V_{отн}} = \overrightarrow{V_{\varphi}} + \overrightarrow{V_{акс}}$ . В первом приближении можно принимать

$\overrightarrow{V_{отн}} = 0,3$  м/с, поскольку это значение соответствует удовлетворительным условиям работы биореактора. Число Рейнольдса

$$Re = (V_{отн} \Delta / 2) / \nu, \text{ где } \nu - \text{кинематическая вязкость, см}^2/\text{с.}$$

Таким образом, в БДФ существуют зоны ламинарного (ближе к оси вращения), турбулентного и смешанного режимов. Гидравлическое влияние в БДФ оказывается лишь в той мере, в какой кинематика течения воздействует на толщину диффузионного слоя, а следовательно, и на интенсивность диффузии загрязнений в пористую среду биопленки. Количество вещества, переносимого вдоль активной поверхности, и количество вещества, поглощаемого этой поверхностью (биопленкой) в единицу времени, для данной системы выражаются безразмерным комплексом Стентона, преобразованным в форму записи для БДФ с учетом биогидродинамики:  $St = (V_{отн} L_{en}) / \rho$ .

На основании безразмерного биогидродинамического Стентона и другого комплекса, характеризующего нагрузку, предложено определять оптимальную частоту вращения (при условии, что  $Vr_0 \sim idem$ )

$$n_{opt} = \Gamma q / D,$$

где  $\Gamma$  — безразмерная нагрузка, характеризующая интенсивность контакта между подаваемой жидкостью и активной поверхностью;  $q$  — гидравлическая нагрузка,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;  $D$  — диаметр диска, м.

Параметр  $\Gamma$  определяют исходя из биогидродинамической обстановки в реакторе. С увеличением изъятия загрязнений (диффузионный слой  $\rightarrow 0$ ,  $\rho \rightarrow \text{max}$ ) возрастает пропускная способность установки  $q$ .

В табл. 2.18 приведены соотношения  $St_{бг}$  и  $\Gamma$ , установленные на основании экспериментальных данных.

**Таблица 2.18. Зависимость значения  $St_{6r}$  и  $\Gamma$**

$St_{6r}$	$\Gamma$	$St_{6r}$	$\Gamma$	$St_{6r}$	$\Gamma$
0	0	6	1,2	12	2,4
2	0,4	8	1,7	14	2,8
4	0,8	10	2,2	16	3,1

**Примечание.** Все приведенные значения  $St_{6r}$  и  $\Gamma$  следует умножать на  $10^5$ .

Высокое значение  $St_{6r}$  свидетельствует о том, что, молярный перенос вещества не тормозит процессов изъятия загрязнений. Интенсивность поглощения загрязнений биомассой определяется скоростью окисления субстрата (в стационарных условиях), И лишь отторжение биопленки нарушает этот баланс. Отторгнувшаяся биопленка с сорбированными загрязнениями (высокомолекулярными и вновь поступившими низкомолекулярными соединениями) после некоторой работы в реакторе направляется на разделение во вторичный отстойник.

Основной расчетный параметр биологических систем - время контакта очищаемой жидкости с биоценозом – определяется как

$$t_{atm} = (L_{en} - L_{ex}) / (K_3 K_T K_F \rho).$$

Здесь  $K_3$  – коэффициент корреляции на загрузку (для перфодисков  $K_3=1,3$ , для пластиинчатых дисков  $K_3 =1,1$ );  $K_T$  – температурный параметр биохимических процессов в относительных величинах :

Температура,  $^{\circ}\text{C}$ ... 10 12 14 16 18 20 22

$K_T$  ..... 0,63 0,69 0,76 0,83 0,92 1 1,09

удаления субстрата по секциям. Этот коэффициент эффективности изъятия загрязнений  $\eta$  находится в ходе экспериментальных исследований по зависимости

$$\eta_i = \frac{(L_{en} - L_{ex})i}{L_{en}_i} = 1 - \left( \frac{L_{ex}}{L_{en}} \right)_i.$$

С увеличением исходной концентрации увеличивается значение  $\eta_i$ . Для большинства сточных вод  $\eta_i = 0,35 \dots 0,40$ ; для концентрированных 1000 г/м<sup>3</sup>  $\eta_i = 0,45 \dots 0,55$ .

$$m_c = \frac{\lg L_{ex}/L_{en}}{\lg(1 - \eta_i)} = \frac{\lg 10/2000}{\lg(1 - 0,48)} = 7 \text{ шт.}$$

Согласно нормативным данным [5; 6; 12; 16] по обработке высококонцентрированных сточных вод и рекомендациям некоторых авторов, изучающих БДФ с учетом конструктивного оформления, назначаем работу установки в двухступенчатом режиме, причем объем второй ступени должен превышать объем первой на 25-35%. Такая корректировка вызвана спецификой работы сооружения в условиях высоких концентраций:

$$B = \frac{92}{0,45 \cdot 0,785(2,0 + 0,05)^2 \cdot 7} = \frac{92}{10,4} = 8,8 \text{ м.}$$

Учитывая конструктивные особенности, прочностные характеристики и рекомендации из опыта эксплуатации ( $B \leq 6$  м), принимаем ширину  $B=3$  м. Таким образом, биодиски в 1 ступени будут иметь по три секции в три параллельные линии (9 секций); 2 – по четыре секции в три параллельные линии (12 секций). Ориентировочные размеры в плане  $15'15=225 \text{ м}^2$ .

Определяем все основные технологические и конструктивные параметры БДФ, находим оптимальную частоту вращения дисков (по описанной методике). Определяем значение

$$St_{\delta_2} = \frac{L_{en} V_{отн}}{\rho} = \frac{2000 \cdot 0,25 \cdot 3600}{1,2} = 15 \cdot 10^5. \text{ По табл.}$$

3.2 путем интерполяции находим значение  $\Gamma = 2,95 \cdot 10^5$ .

$$n = \frac{\Gamma q}{D} = \frac{295000 \cdot 0,00103}{2} = 151,925 \text{ ч}^{-1} = 2,5 \text{ мин}^{-1}.$$

В отличие от аэротенков, в биофильтрах продолжительность контакта не регулируется и определяется высотой и конструктивными характеристиками загрузки. Необходимое время контакта между субстратом и биоценозом определяется рядом зависимостей по нахождению оптимальной высоты загрузки биофильтров. Наиболее приемлемые следующие: для низких  $t = 0,13 \text{ H/q}$ ; для высоких  $t = 0,33 \text{ H/q}$ ; При этом время контакта колеблется в пределах 5...30 мин. Для определения высоты биофильтров с блочной загрузкой из пеностекла предложено уравнение, учитывающее БПК и температуру поступающих сточных вод:

$$H_{pf} = [(L_{en} - L_{ex})q_{pf}] / 2,25 K_m 1000.$$

## 2.9. Примеры расчета сооружений

### 2.9.1. Биофильтры

**Пример 1.** Рассчитать необходимую высоту биофильтра по приведенным уравнениям.

Результаты, представленные в табл. 2.19, показывают рост высоты фильтра по мере увеличения нагрузки: снижение загрязнений не происходит прямолинейно. В этом можно убедиться и при анализе классического уравнения Моно, описывающего кинетику снижения субстрата:

$$dL_{en} = -[\rho_{\max} X L_{en}]/[Y(K_L + L)],$$

где  $\rho_{\max}$  - максимальное значение скорости окисления загрязнений;  $X$  - биомасса микроорганизма;  $Y$  - экономический коэффициент, равный  $dL_{en}/dX$ ;  $K_L$  - константа полунасыщения, равная концентрации субстрата в точке, где скорость процесса равняется половине максимального его значения.

**Таблица 2.19. Рост высоты фильтра по мере увеличения нагрузки**

Уравнение	$L_{en}$ , мг/л	$L_{ex}$ , мг/л	$q_{pf}$ , $\text{м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{сут})$	$K_m$	$t$ , мин	$H_{pf}$ , м
1	2	3	4	5	6	7
Расчет $H_{pf}$ биофильтров по разным уравнениям						
$H_{pf} = q_{pf} t_{pf} / 0,33$	-	-	5	-	10	1,16
	-	-	7	-	10	
$H_{pf} = \frac{q_{pf} t_{pf}}{0,13} / 0,33$	-	-	9	-	10	3,03
	-	-	11	-	10	
	-	-	13	-	10	
$H_{pf} = \frac{q_{pf} t_{pf}}{0,13} / 0,33$	-	-	1,5	-	7	0,06
	-	-	3	-	7	
	-	-	4,5	-	7	
	-	-	6	-	7	
$H_{pf} = \frac{\Delta L q_{pf}}{2,25 K_m 1000}$	200	15	5	0,15	-	2,89
	200	15	7	0,15	-	
	200	15	9	0,15	-	
	200	15	11	0,15	-	
	200	15	13	0,15	-	
	200	15	15	0,15	-	

Продолжение таблицы 2.19

1	2	3	4	5	6	7
Влияние $L_{en}$ на высоту биофильтра по уравнению						
$H = \frac{\Delta Lq}{2250K} \frac{pf}{m}$	150	15	5	0,15	2	2
	200	15	5			2,74
	250	15	5			3,48
	300	20	5			
	350	20	5			
	400	20	5	0,15	7,41	
	450	20	5			
	500	20	5			

С целью более правильного учета влияния БПК в расчетные формулы вводят произведения  $\Delta Lq = E$  (т.е. органическая нагрузка на единицу объема загрузки). Тогда  $H = E / (2,25 K_m)$ .

Значение Е для биофильтров с пенно – стеклянной загрузкой приведены в табл. 2.20.

Таблица 2.20. Влияние  $L_{ex}$  на Е для биофильтров с блочной загрузкой [13]

$L_{ex}$ , мг/л	$E$ , кг/( $m^3$ ·сут)	$L_{ex}$ , мг/л	$E$ , кг/( $m^3$ ·сут)	$L_{ex}$ , мг/л	$E$ , кг/( $m^3$ ·сут)
5	0,5	9-10	1,0	15	1,4
6	0,6	11-12	1,2	15-20	1,7
7	0,7	12-14	1,3	20-25	2,0
8	0,8				

Высота загрузки биофильтров во всех случаях должна быть не менее полутора метров. Значение высоты биофильтров в зависимости от Е при  $K_m = 0,15$  приведены в табл. 2.21.

Таблица 2.21. Значения высоты биофильтра  
в зависимости от Е [13]

Уравнение	E	H	E	H	E	H	E	H	E	H
$H = \frac{E}{2,25K_T}$	0,5	1,47	0,7	2,06	1,0	2,9	1,3	3,8	1,7	5,0
	0,5	1,76	0,8	2,35	1,2	3,5	1,4	4,1	2,0	5,8

Сопоставление расчетов свидетельствует о том, что при учете органической нагрузки получаются наиболее реальные результаты. По опытным данным рекомендуется высота биофильтров (для допустимых БПК) находится в диапазоне 3...6 м. В расчетах также должно учитываться влияние температуры сточных вод, определяемое через распространенный коэффициент  $K_T$ , называемый уравнением Стритера.

$K_T = K_{20} \theta^{T-20}$ , где  $K_{20}$  – температурный коэффициент при температуре стоков 20  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\theta = 1,047$ ;  $T$  – температура сточных вод.

#### Значение $K_T$ в зависимости от температурных сточных вод.

Температура, $^{\circ}\text{C}$	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$K_T$	0,115	0,12	0,126	0,132	0,138	0,145	0,151	0,158	0,166

Температура, $^{\circ}\text{C}$	17	18	19	20	21	22	23	24
$K_T$	0,174	0,183	0,19	0,2	0,209	0,219	0,23	0,25

Анализ методики показывает, что формула дает удовлетворительные результаты в диапазоне температур сточных вод до 20...25  $^{\circ}\text{C}$ . Дальнейшее увеличение температур сточных вод согласно уравнению Стритера увеличивает эффект очистки, в том числе и при температуре кипения, что невозможно. Эффект очистки уменьшается при росте температуры выше 25  $^{\circ}\text{C}$ , что должно найти реализацию в математических выражениях. Автором предложена зависимость на основе уравнения Стритера, имеющая вид

$$K_T = K_{20} \theta^{-(T-20)}.$$

Представленное уравнение увеличивает эффект до 20  $^{\circ}\text{C}$  и далее, начиная с 25  $^{\circ}\text{C}$  (с возрастанием температуры) эффект очистки снижается.

#### Значение $K_T$ по уравнению

Температура, $^{\circ}\text{C}$	8	10	12	14	16	18	20	22	24
$K_T$	0,115	0,126	0,138	0,152	0,166	0,182	0,20	0,182	0,166

Температура, $^{\circ}\text{C}$	26	28	30	32	36	38	40	42	44
$K_T$	0,152	0,138	0,126	0,115	0,096	0,087	0,08	0,073	0,066

Температура, $^{\circ}\text{C}$	46	48	50	54	56	58	60	62
$K_T$	0,060	0,055	0,50	0,042	0,038	0,035	0,032	0,029

Эффект очистки сточных вод с увеличением температуры при прочих равных условиях снижается до уровня изъятия загрязнений за счет механической фильтрации.

Успешное прохождение биологических процессов с наличием растворенного кислорода, достаточного для поддержания активного состояния сообщества микроорганизмов. В фильтры кислород поступает прежде всего при противоточном движении жидкости и воздуха в загрузке и интенсивно растворяется в сточных водах, причем его концентрация приближается к предельной (таблица 2.22).

Кислород поступает в сточные воды при их разбрызгивании по поверхности загрузки и пленочном стекании. Количество поступающего в фильтр растворенного кислорода при струйном течении из-за кратковременного контакта сточных вод незначительно по сравнению с пленочным потоком по поверхности загрузки.

Интенсивность поступления воздуха в тело биофильтра обусловлено способом его подачи (аэрации). Известна естественная и искусственная подача воздуха.

Естественное поступление воздуха в фильтр осуществляется через вентиляционные окна за счет разницы температуры атмосферного воздуха и сточной жидкости. Причем, если температура воздуха выше температуры сточной воды, то поток воздуха движется снизу вверх (через поддонное пространство) и сверху вниз (через свободную поверхность) при обратном температурном соотношении. В случае равенства температур жидкости и воздуха естественная вентиляция прекращается. Вентиляционные окна устраивают в нижней части стен биофильтра (поддонное пространство) по периметру, причем площадь окон должна составлять не менее 1% площади поверхности биофильтра. Во избежание переохлаждения биофильтров предусмотрено закрытие окон наглухо шиберами.

Применение искусственной вентиляции целесообразно при загрузке биофильтров щебенкой средних или мелких фракций, так как в них наблюдается заиливание фильтрующего слоя при перегрузке сооружения, что в практике нередко встречается. Использование блочных, плоскостных и загрузок из щебня крупной фракции (60 мм и более) исключает устройство искусственной вентиляции, поскольку (данные ВОДГЕО) в таких биофильтрах отсутствуют заиливание и количество поступающего воздуха в тело сооружения достаточно для обеспечения жизнедеятельности микроорганизмов.

Таблица 2.22. Предел растворения кислорода

Темп- ратура воды, °C	Растворенный кислород, мг/л									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	14,65	14,61	14,57	14,53	14,49	14,45	14,41	14,37	14,33	14,29
1	14,25	14,21	14,17	14,13	14,09	14,05	14,02	13,98	13,94	13,90
2	13,86	13,83	13,79	13,75	13,71	13,68	13,64	13,60	13,56	13,53
3	13,49	13,46	13,42	13,38	13,35	13,31	13,28	13,24	13,20	13,17
4	13,13	13,10	13,06	13,03	13,00	12,96	12,93	12,89	12,86	12,82
5	12,79	12,76	12,72	12,69	12,66	12,62	12,59	12,56	12,53	12,49
6	12,46	12,43	12,40	12,36	12,33	12,30	12,27	12,24	12,21	12,18
7	12,14	12,11	12,08	12,05	12,02	11,99	11,96	11,93	11,90	11,87
8	11,84	11,81	11,78	11,75	11,72	11,70	11,67	11,64	11,61	11,58
9	11,55	11,52	11,49	11,47	11,44	11,41	11,38	11,35	11,33	11,30
10	11,27	11,24	11,22	11,19	11,16	11,14	11,11	11,08	11,06	11,03
11	11,00	10,98	10,95	10,93	10,90	10,87	10,85	10,82	10,80	10,77
12	10,75	10,72	10,70	10,67	10,65	10,62	10,60	10,57	10,55	10,52
13	10,50	10,48	10,46	10,43	10,40	10,38	10,36	10,33	10,31	10,28
14	10,26	10,24	10,22	10,19	10,17	10,15	10,12	10,10	10,08	10,06
15	10,03	10,01	9,99	9,97	9,95	9,92	9,90	9,88	9,86	9,84
16	9,82	9,79	9,77	9,75	9,73	9,71	9,69	9,67	9,65	9,63
17	9,61	9,58	9,56	9,54	9,52	9,50	9,48	9,46	9,44	9,42
18	9,40	9,38	9,36	9,34	9,32	9,30	9,29	9,27	9,25	9,23
19	9,21	9,19	9,17	9,15	9,13	9,12	9,10	9,08	9,06	9,04
20	9,02	9,00	8,98	8,97	8,95	8,93	8,91	8,89	8,88	8,86
21	8,84	8,82	8,81	8,79	8,77	8,75	8,74	8,72	8,70	8,68
22	8,67	8,65	8,63	8,62	8,60	8,58	8,56	8,55	8,53	8,52
23	8,50	8,48	8,46	8,45	8,43	8,42	8,40	8,38	8,37	8,35
24	8,33	8,32	8,30	8,29	8,27	8,25	8,24	8,22	8,21	8,19
25	8,18	8,16	8,14	8,13	8,11	8,10	8,08	8,07	8,05	8,04

Искусственная вентиляция осуществляется подачей сжатого воздуха вентиляторами (таблица 2.23) в междонное пространство с давлением 980 Па.

**Таблица 2.23. Вентиляторы, рекомендуемые для аэрации биофильтров [16]**

марка вентилятора	Напор, м	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Мощность двигателя, кВт
ЭВР-2	15-70	200-2000	0,25-1
ЭВР-3	15-60	400-4000	1-1,7
ЭВР-4	10-1000	700-8500	1,7-7
ЭВР-5	15-80	1500-10000	2,8-7
ЦЧ-70 №2, 5	10-55	300-2000	0,27-0,6
ЦЧ-70 №3	10-90	400-3800	0,6-1
ЦЧ-70 №4	8-55	600-4500	0,6-1
ЦЧ-70 №5	8-80	1000-8500	1-1,7
ЦЧ-70 №6	8-110	1500-14000	1,7-4,5
ЦЧ-70 №7	8-120	2000-20000	2,8-10

Потери на отводных трубопроводах и каналах биофильтров исключаются устройством гидравлических затворов до 200 мм. Вентиляторы подбирают в зависимости от необходимого давления с учетом преодоления сопротивления пустот загрузки и количества подаваемого воздуха. Так как использование кислорода составляет 7-8 % и зависит от концентрации субстрата в поступающих сточных водах, то по предложению Н.А.Базякиной удельный расход воздуха, подаваемого в биофильтр, м<sup>3</sup>, на 1 м<sup>3</sup> сточных вод, можно рассчитать по формуле

$$W_{вз} = \Delta L / 21,$$

где  $\Delta L$  – количество изымаемых загрязнений из единицы объема загрузки в единицу времени; 21 – процент содержания кислорода в атмосферном воздухе для средней полосы нашей страны. Конструкция из перечисленных материалов после длительных испытаний имеет свои оптимальные параметры: сложная волна представляет собой листы, гофрированные в 2-х направлениях с высотой волны 60 мм, размером 50×500 мм, толщиной 1 мм. Конструкции собирают в блоки размером 0,5 × 0,7 × 0,5 м. Между гофрированными могут быть проложены плоские полиэтиленовые листы толщиной 1 мм. Листы между собой крепят сваркой или болтами. Пеностекло отечественного изготовления выпускается в виде блоков размерами: 375 × 375 × 120; 450 × 450 × 120 и 450 × 250 × 120 мм. Все типоразмеры пеностекла приемлемы при их использовании в качестве загрузки биофильтров.

**Таблица 2.24. Влияние толщины и перфорации диска на площадь его поверхности**

Диаметр перфорации, мм	Толщина диска, мм	Площадь сорбционной поверхности одного диска, мм	Диаметр перфорации, мм	Толщина диска, мм	Площадь сорбционной поверхности одного диска, м <sup>2</sup>
20	20	1,4	60	20	0,5
	50	2,0		50	1,0
	100	5,0		100	2,1
40	20	0,8	80	20	0,3
	50	1,6		50	1,1
	100	2,5		100	1,8

В блоках пеностекла просверливаются сквозные отверстия на обычных сверлильных станках диаметром 30-45 мм в зависимости от нагрузки (таблица 2.26) и БПК стоков. При производительности станций, содержащих биофильтры с загрузкой из пеностекла, до 100-1400 м<sup>3</sup> сут перфорацию выполняют на стройплощадке, а более 5000 м<sup>3</sup> сут – на заводе-изготовителе.

Пеностекло имеет чрезмерно развитую поверхность, удерживает в единице объема большее количество биопленки, чем какой-либо другой вид загрузочного материала. Поверхность пеностекла характеризуется малыми (2-3 мм) и большими (до 10 мм) неровностями (порами). При эксплуатации малые поры по поверхности частично зарастают и создают хорошие условия для скоростного прироста биоценоза. Средняя толщина биопленки в биофильтрах: со щебеночными загрузками составляет 3 мм; с листовыми пластинчатыми 1,5...2 мм; пеностеклянной загрузкой до 7мм.

Такие условия способствуют увеличению производительности сооружения, а так же обеспечивают глубокую очистку, исключая проскок. Шероховатость загрузок особенно необходима в дисковых биофильтрах, где сильнее сказываются условия смыва биопленки.

**Таблица 2.25. Технические параметры загрузок**

Загрузка	Пустотность (пористость) %	Удельная площадь поверхности, $\text{м}^2/\text{м}^3$		Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Нагрузка	
		2000	2000		Гидравли- ческая, $\text{м}^3/(\text{м} \cdot \text{сут})$	Органи- ческая, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$
Щебень крупностью, мм: 25-40 40-70 40-100	45 50 55	120 80 50	2000 2000 -	- - -	- - -	- - -
Плоскостные листы: сложная волна Гофрированные Асбестоцементные гофрированные листы	93 87 80	125 250 60	68 143 500	10 11 -	3,0 2,2 1,2	
Пеностекло (перфорированное)	70	70	150	10-12	2,0	
Бамбук	75	90	80	8-12	1,5	
Пенопласт (перфорированный)	65	75	100	6-10	1,8	
Пластмассовые муфты	80	83	300	6-8	1,8	

**Таблица 2.26. Технические параметры загрузки в  
зависимости от нагрузки и БПК стоков**

БПК <sub>20</sub> , мг/л неочищенных	Пустотность, %	Диаметр отверстий, мм	Удельная площадь поверхности $\text{м}^2/\text{м}^3$	БПК <sub>20</sub> , мг/л неочищенных	Пустотность, %	Диаметр отверстий, мм	Удельная площадь поверхности $\text{м}^2/\text{м}^3$
До 250	42	30	70-75	До 500	50	34-36	60
До 400	45	32-34	65	Более 500	60-70	40-42	52

Хорошими качествами характеризуются асбестоцементные кровельные листы усиленного профиля. Листы асбестоцемента размерами 994 × 2000 мм, толщины до 8 мм, высотой волны 50 мм, шагом 67 мм собирают на болтах, а в малых фильтрах укладывают и без крепления. Недостаток асбестоцементных листов – их высокая

плотность, что вызывает необходимость строительства усиленных конструкций.

Конструкция загрузки также обуславливает развитие микрофлоры, определяющей развитие процессов очистки. Количественный и качественный состав биопленки, характеризующий работу биофильтров, приведен в табл. 2.27.

При хорошей работе (оптимальных технологических условиях) биофильтра обеспечивают интенсивный биопроцесс, в результате чего активная биомасса хорошо осаждается во вторичных отстойниках. При рекомендуемом времени отстаивания (после капельных 0,75 ч, высоконагружаемых 1,5 ч, башенных 2 ч) вынос не наблюдается. На нормальный обмен биомассы (прирост и вынос) влияют не только конструктивные, температурные характеристики, но и гидравлические условия. При повышении гидравлической нагрузки отмечается обильный вынос биомассы, что ухудшает эффект очистки. Низкие гидравлические нагрузки также не обеспечивают эффективной работы сооружения.

Биофильтры как сооружения биологической очистки наиболее приемлемы для очистки малых и средних количеств сточных вод.

Биофильтры не только просты, удобны, малоэнергоемки, в них за короткое время (до 30 мин) происходит скоростное изъятие загрязнений, для которого в аэротенках требуется больше времени (часы).

Биофильтры подразделяются на капельные, высоконагружаемые и башенные. По загрузочным материалам – на пластмассовые, пенно – стеклянные, щебеночные и с применением загрузок из нестандартных материалов.

**Таблица 2.27. Характеристика работы биофильтров**

Оценка работы биофильтра	Амебы	Бесцветные жгутиковые	Инфузории	Коловратки
Плохо	Преобладают	Преобладают	Отсутствуют	Отсутствуют
Неудовлетворительно	“	“	Мало	Мало
Удовлетворительно (слабая нитрификация)	Единичные	“	Преобладают	“
Хорошо	Отсутствуют	Отсутствуют	Преобладают кругло- и брюхореснитчатые	“

Капельные биофильтры (рис.2.4) – это как правило, прямоугольные резервуары, загруженные щебнем мелких и средних фракций (25...40 мм), что при малых органических нагрузках дает хорошие результаты очистки. Вентиляция биофильтров – естественная. Такие фильтры при расходе менее 400-500 м<sup>3</sup>/сут с коэффициентом неравномерности поступления более 2 целесообразно устраивают в отапливаемых помещениях. На практике доказано, что применение специального централизованного отопления не дает ощутимого эффекта, поскольку в биофильтрах, устроенных в помещении, за счет испарения сточных вод и энергии, выделяемой в процессе окисления, образуется достаточное количество теплоты для нормального протекания процесса очистки.

Высота фильтрующего слоя загрузки в капельных биофильтрах принимается в пределах 1,5...2 м. Небольшая высота обуславливает малое время контакта биопленки со сточной жидкостью и воздухом, что значительно ограничивает возможности сооружения. Биофильтры такого типа рекомендуется для полной (при малых БПК) и неполной очисток на станции производительностью до 1000 м<sup>3</sup>/сут и преимущественно для очистки слабоконцентрированных сточных вод от населенных мест. Гидравлическая нагрузка на капельные биофильтры рекомендуется в пределах 1...3 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>/сут) при БПК – поступающих стоков до 220 мг/л и очищенных 15 мг/л; при этом органическая нагрузка колеблется от 0,2 до 0,66 кг/(м<sup>2</sup>/сут) или от 0,1 до 0,33 кг/(м<sup>3</sup>/сут). Небольшая окислительная мощность капельных биофильтров отражается на экономических показателях сооружения и делает их неконкурентоспособными.

Сточные воды на поверхности капельных биофильтров распределяются спринклерной системой, состоящей из дозирующих баков, сифонных устройств, разводящих трубопроводов и спринклерных головок. Профильтрованные стоки отводятся через поддонное пространство на вторичные отстойники (табл. 2.28).

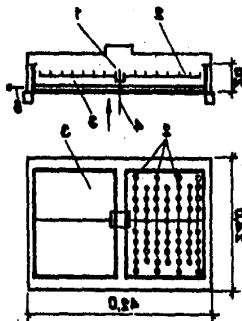


Рис. 2.4 – Схема капеного биофильтра:  
 1 - дозирующие баки;  
 2 - спринклерное распределение сточных вод;

Таблица 2.28. Окислительная мощность капельных биофильтров

Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Окислительная мощность, $\text{г}/(\text{м}^3/\text{сут})$	Гидравлическая нагрузка при $\text{БПК}_{20}$ , $\text{мг}/\text{л}$	
		200	300
3...6	150	0,75	0,5
6...10	250	1,25	0,83
10 и более	300	1,5	1,0

В зависимости от величины БПК биофильтр рассчитывают по 2 – м методикам: если  $\text{БПК}_{20} < 220 \text{ мг}/\text{л}$  – по методу критериального комплекса проф. С.В. Яковлева, а при  $\text{БПК}_{20} > 220$  – по методике, учитывающей рециркуляцию стоков. Критериальный комплекс С.В. Яковлева наиболее полно отражает сложный процесс изъятия загрязнений из сточных вод и имеет вид

$$\Phi = 10 K_T H / q^{0,4},$$

где  $\Phi$  – безразмерный критерий, учитывающий факторы, влияющие на процесс очистки; определяется по табл. 2.29 или по рис.2.5.

Таблица 2.29. Значение критериального комплекса

$\mathcal{E}$	$\phi$	$\mathcal{E}$	$\phi$	$\mathcal{E}$	$\phi$
10	1,9	40	0,75	70	0,3
20	1,32	50	0,57	80	0,18
30	0,97	60	0,42	90	0,08

По необходимому эффекту очистки и принятой высоте биофильтра определяют гидравлическую нагрузку и далее необходимый объем,  $\text{м}^3$ , фильтрующего материала:

$$W = Q/q$$

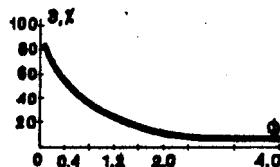


Рис. 2.5 – График для расчета критериального комплекса биофильтров со щебеночной загрузкой

**Пример 2.** Определить объем капельного биофильтра при следующих исходных данных:  $L_{en} = 200$  мг/л;  $L_{ex} = 13$  мг/л;  $H = 2$  м;  $T = 19^{\circ}\text{C}$ .

Расход сточных вод 400 м<sup>3</sup>/сут. Необходимый относительный эффект очистки  $\mathcal{E} = \frac{13}{200} \cdot 100 = 6,5\%$ . По графику (рис.2.4) при  $\mathcal{E}=6,5\%$  Критериальный комплекс равняется 2, тогда гидравлическая нагрузка будет иметь вид:

$$q^{0,4} = 10 \cdot K_T \cdot H / \phi = 10 \cdot 0,19 \cdot 2 / 2 = 1,9 \text{ или } 4,97 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут}).$$

Площадь поверхности биофильтров  $F = Q/q = 400/4,98 = 81$  м<sup>2</sup>, а объем загрузки  $W = FH = 81 \cdot 2 = 162$  м<sup>3</sup>. По этим данным конструируем или подбираем типовой биофильтр.

Методика расчета капельных биофильтров с учетом рециркуляции предусматривает определение коэффициента  $K_s$ , характеризующего связь параметров  $T$  и  $q$  в зависимости от высоты фильтра  $H$ :  $K_s = L_{en}/L_{ex}$ ; результаты определения сведены в таблицу 2.30.

### Параметры капельного биофильтра

$q_s$ м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> сут)	Значение $K_s$ при температуре $0^{\circ}\text{C}$ сточных вод							
	8		10		12		14	
	$H=1,0$	$H=2$	$H=1,5$	$H=2$	$H=1,5$	$H=2$	$H=1,5$	$H=2$
1,0	8	11,6	9,8	12,6	10,7	13,8	11,4	15,1
1,5	5,9	10,2	7,0	10,9	8,2	11,7	10,0	12,8
2,0	4,9	8,2	5,7	10,0	6,6	10,7	8,0	11,5
2,5	4,3	6,9	4,9	5,3	5,6	10,4	6,7	10,7
3,0	3,8	6,0	4,4	7,1	6,0	8,9	5,9	10,2

При значении  $K_s$ , превышающих приведенные в таблице 2.30, а это наступит при  $\text{БПК} > 220$  мг/л, применяют рециркуляцию.

В таком случае устанавливается БПК смеси сточных вод, поступающих на биофильтр, которая вычисляется по формуле  $L_{mix} = KL_{ex}$ . Коэффициент рециркуляции  $K_{po} = [L_{en} - L_{mix}]/[L_{mix} - L_{en}]$ . Площадь биофильтра с учетом рециркуляции определяется по уравнению  $F = Q(P+1)/q$ . Далее определяют необходимый объем загрузки и конструируют сооружение.

**Пример 3.** Рассчитать необходимый объем загрузки капельного биофильтра при следующих исходных данных:  $L_{en} = 320$  мг/л;

$L_{ex} = 14 \text{ мг/л}$ ;  $Q = 600 \text{ м}^3/\text{сут}$ ; температура сточных вод  $14^{\circ}\text{C}$ ; высота загрузки  $H = 2 \text{ м}$ .

Определяем коэффициент  $K_s = 320/14 = 21$ . Так как значение  $K$  больше значений, приведенных в табл. 2.30, принимается схема с рециркуляцией. При  $K_s = 10,2$  (по табл. 2.30) БПК смеси сточных вод, поступающих на биофильтр, составляет:

$$L_{mix} = 10,2 L_{ex} = 10,2 \cdot 14 = 143 \text{ мг/л.}$$

$$\text{Коэффициент рециркуляции: } K_s = \frac{320 - 143}{143 - 14} = 1,37.$$

По табл. 2.28 при исходных параметрах принимаем максимальное значение  $q = 3 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{сут})$ . С учетом рециркуляции площадь поверхности биофильтра составит:

$$F = \frac{600(1,37 + 1)}{3} = 474 \text{ м}^2.$$

$$\text{Общий объем загрузки } W = FH = 472 \cdot 2 = 948 \text{ м}^3.$$

По полученным результатам подбираем типовой биофильтр. Высоконагруженные биофильтры в плане могут быть круглыми или многоугольными в зависимости от применяемых загрузок и их конструкций. Основные элементы высоконагруженного биофильтра: резервуар заполненный фильтрующим материалом, распределительная система (в основном реактивный распределитель), система подачи и отвода сточных вод; при искусственной аэрации в общую схему включается вентиляционная камера, где, как правило, установлена воздуходувка, но не компрессор, так как нет необходимости в создании высокого давления (рис.2.6). В качестве загрузки обычно используются сыпучие материалы из прочных пород.

Наиболее широко применяют щебень крупностью 40-70 мм, который по всей высоте сооружения засыпают одинаковой величины, за исключением нижнего поддерживающего слоя высотой 0,2 м, где его крупность составляет 70-100 мм.

Особенность высоконагруженных биофильтров – их способность работать при повышенных органических и гидравлических нагрузках. Повышение нагрузки приводит к необходимости использования крупных фракций загрузки, что увеличивает пустотность в теле фильтра и повышает скорость массообмена (перенос кислорода) между атмосферным воздухом и сточной жидкостью, стекающей по поверхности биопленки.

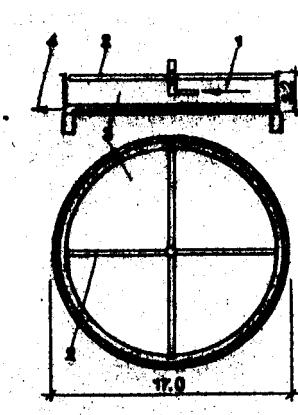


Рис. 2.6 –  
Высоконагруженный  
биофильтр с  
реактивным оросителем  
1 - подача неочищенных  
сточных вод;  
2 – реактивный  
распределитель сточных  
вод;  
3 - резервуар для  
загрузки биофильтров;  
4 - выпуск очищенных  
сточных вод.

Высокие значения концентраций загрязнений по органике требуют увеличения продолжительности контакта фаз, участвующих в изъятии загрязнений. Увеличение времени контакта возможно при изменении конструкций загрузки или при увеличении высоты слоя фильтрующего материала. Высоту высоконагруженных биофильтров принимают 2...4 м.

При повышении  $БПК_{20}$  неочищенных стоков этот параметр может быть доведен до 6 м, что экономически обосновано. Высоконагруженные биофильтры с естественной аэрацией удовлетворительно работают на слабо концентрированных стоках, выдерживая высокие гидравлические нагрузки.

Для получения устойчивых результатов и глубоких параметров очистки снова рекомендована искусственная аэрация – аэрофильтры (табл. 2.31).

Таблица 2.31. Нагрузка биофильтра с естественной вентиляцией

Высота, м	$БПК_{20}$ , г/м <sup>3</sup>	Нагрузка		Высота, м	$БПК_{20}$ , г/м <sup>3</sup>	Нагрузка	
		органическая, г/(м <sup>3</sup> ·сут)	гидравлическая, м <sup>3</sup> /(м <sup>3</sup> ·сут)			органическая, г/(м <sup>3</sup> ·сут)	гидравлическая, м <sup>3</sup> /(м <sup>3</sup> ·сут)
2,5	150	0,53	3,55	4,0	300	1,38	4,63
3,0	200	0,79	3,97	6,0	500	2,00	4,00
3,5	250	1,08	4,32				

Сжатый воздух подается в поддонное пространство аэрофильтров специально устроеными групповыми или раздельно стоящими воздуходувками или вентиляторами через вентиляционные

окна. В аэрофильтрах на отводах трубопроводов или лотках устраивают гидрозатворы глубиной около 0,2 м, препятствующие выходу из поддонного пространства вне сооружения принудительно подаваемого воздуха с очищенной жидкостью с расходом 8-12 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> воды и давлением 981 Па. Применяемые меры делают аэрофильтры более производительными. Окислительная мощность достигает 2,2 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сут) или до 8 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сут). Рекомендуемые БПК<sub>20</sub> неочищенных сточных вод находится в пределах 150...300 мг/л. Для некоторых категорий промышленных стоков при отсутствии в них трудно окисляемых веществ и достаточном количестве биогенных соединений БПК<sub>20</sub> неочищенных сточных вод может быть доведена до 500 мг/л.

Для расчета высоконагруженых биофильтров с естественной аэрацией успешно применяется критериальный комплекс, разработанный профессором С.В. Яковлевым.

**Пример 4.** Рассчитать высоконагруженый биофильтр при следующих значениях: L<sub>en</sub> = 300 мг/л; L<sub>ex</sub> = 20 мг/л; Q = 500 м<sup>3</sup>/сут; температура сточных вод T = 14 °С при H = 3 м.

$$\mathcal{E} = \frac{200}{300} \cdot 100 = 6,7\%; \quad q^{0,4} = \frac{10 \cdot 3 \cdot 0,15}{1,9} = 8,64 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут}).$$

Объем загрузки W = 500 : 2,16 = 231 м<sup>3</sup>.

Разработан способ расчета аэрофильтров, в основе которого лежит критериальный комплекс. Этот расчет аналогичен расчету биофильтров с рециркуляцией с учетом влияния искусственной вентиляции: K = L<sub>en</sub> / L<sub>ex</sub>.

Поскольку необходим учет влияния нагрузок и искусственной вентиляции, то определяем K = 10<sup>αΦ+β</sup>, где  $\alpha$  и  $\beta$  - постоянные коэффициенты, принимаемые по таблице 2.32.

**Таблица 2.32. Коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  зависимости от  $\Phi$**

Удельный объем воздуха, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$\Phi$	$\alpha$	$\beta$	Удельный объем воздуха, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$\Phi$	$\alpha$	$\beta$
8	0,662	1,51	0	12	0,85	0,4	0,83
	0,62	0,469	0,69		1,06	1,1	0,19
10	0,85	1,2	0,13		1,06	0,2	1,15

Критериальный комплекс в данном случае позволяет еще учитывать необходимое количество воздуха и имеет вид  
 $\Phi = HB^{0,6}K_T/q^{0,4}$ .

Основные расчетные параметры аэрофильтров приведены в табл. 2.33.

Для промежуточных значений  $B_{уд}$ ,  $H$ ,  $q$ ,  $T$ , а также значений  $T < 8^0\text{C}$  (не ниже  $6^0\text{C}$ ) и  $T > 14^0\text{C}$  (до  $30^0\text{C}$ ) величина  $K$  определяется методом интерполяции.

При рециркуляции определяют  $\text{БПК}_{20}$  смеси сточных вод и коэффициент рециркуляции  $k_{af}$  по формуле  $k_{af} = L_{en}/L_{ex}$  и

$$K_{po} = \frac{L_{en} - L_{mix}}{L_{mix} - L_{ex}}. \quad \text{Далее определяют площадь поверхности}$$

биофильтров,  $\text{м}^2$ . при работе без рециркуляции  $F_{af} = Q/q_{af}$ ; при работе с циркуляцией  $F_{af} = Q(K_{po} + 1)/q_{af}$ . Гидравлическую нагрузку целесообразно принимать по таблице 2.33 в зависимости от исходных данных или рассчитать по критериальному комплексу с учетом количества воздуха. Согласно этой методике расчета при  $\text{БПК}_{20}$  неочищенных вод более 300 мг/л следует принимать  $k_{af} = 300/L_{ex}$ . Очищенные сточные воды после аэрофильтров направляются совместно с отторгнувшейся от загрузки биопленкой во вторичные отстойники. При этом количество избыточной биопленки принимается 28 г/(чел·сут) по сухому веществу и влажностью 96%. Объемная масса избыточной биопленки  $0,7 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

**Пример 5.** Рассчитать аэрофильтр при очистке сточных вод:  $L_{en} = 350 \text{ мг}/\text{л}$ ;  $L_{ex} = 20 \text{ мг}/\text{л}$ ;  $Q = 80 \text{ м}^3/\text{сут}$ ; средняя температура сточных вод  $T = 12^0\text{C}$ .

**Решение.** Определить коэффициент  $k_{af} = 350/20 = 17,5$ . Для значения объема подаваемого воздуха  $12 \text{ м}^3/\text{м}^3$  и при гидравлической нагрузке  $10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$  по принятым  $T$ ,  $q$  и  $B_{уд}$  подбираем  $H = 3 \text{ м}$ . Табличные значения  $K$  составило 9,9, а при  $H = 4$  коэффициент  $k_{af} = 18,4$ . Поскольку  $9,9 < 17,5$ , то при высоте биофильтра  $H = 3 \text{ м}$  необходимо устройство рециркуляции. Рассчитываем  $L_{mix} = 9,9 \cdot 20 = 198 \text{ мг}/\text{л}$ . Коэффициент рециркуляции  $K_{po} = 350 - 198/198 - 20 = 0,85$ . Площадь поверхности биофильтра  $F = 800(0,85+1) \cdot 10 = 148 \text{ м}^2$ . Объем загрузки  $W = 148 \cdot 3 = 444 \text{ м}^3$ . По этим данным подбираем типовой аэрофильтр.

Аэрофильтры для очистки промышленных сточных вод можно также рассчитать по окислительной мощности, значение которой предварительно должно быть установлено экспериментально. По окислительной мощности объем загрузки биофильтров

$$W = (L_{en} - L_{ex})Q/OM,$$

Где ОМ – окислительная мощность,  $g/(m^3 \cdot \text{сут})$ . Однако этот метод является приблизительным, поскольку не учтены факторы, непосредственно влияющие на эффект очистки. Более приемлема для расчета аэрофильтров методика, разработанная и изложенная далее в описании биофильтров с пеностеклянной загрузкой.

При использовании рециркуляции значительно увеличивается гидравлическая нагрузка на единицу поверхности, что существенно снижает продолжительность контакта сточных вод. Поэтому необходимо либо увеличить общую рабочую высоту, либо применить ступенчатую схему очистки. При этом требует устройства дополнительных сооружений и оборудования.

Гидравлическим режимом и его влиянием на процессы массопереноса обусловлено уравнение с учетом кинетики биохимических реакций:

$$L_{en} / L_{ex} = (1 + Kt_{cp} / m)^{m_{cp}},$$

где  $K$  – скорость процесса;  $t_{cp}$  – продолжительность контакта;  $m$  – показатель, характеризующий степень перемешивания жидкости в загрузке биофильтра и вычисляемый по уравнению с учетом критерия Пекле как функция  $BH^\alpha q^{-\beta}$ , где  $\alpha$  и  $\beta$  - коэффициенты, которые для каждого типа загрузки определяются экспериментально:

$$m = 1/2[P_e - 2R_e^2(1 - e^{-P_e})].$$

Несмотря на сложности практического применения предложенного уравнения, учет гидродинамики в моделях процесса изъятия загрязнения в зависимости от типа реактора заслуживает внимания и после уточнения может послужить для описания сложного массообменного процесса в биофильтрах. На основе изложения разработок и обширных практических опытов очистки сточных вод молокозаводов (таблица 2.34) разработано уравнение, позволяющее оценить процесс изъятия загрязнений в биофильтрах при очистке этих категорий стоков и сконструировать реактор, определив параметры по формуле:

$$L_{en} / L_{ex} = [1 + (Kq^{0,156} / 0,201H^{1,38})]^{1,01H^{2,38}} / q^{0,568}.$$

Таблица 2.33. Параметры для расчета аэрофильтров

		Значение К при средне зимней температуре сточных вод, $^{\circ}\text{C}$					
		8	10	12	14	20	30
Гидравлическая нагрузка, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$							
Высота биофильтра $H$ , м	10	20	30	10	20	30	10
	2	3,02	2,32	2,04	3,33	2,5	2,18
Объем воздуха $Q_a$ , $\text{м}^3/\text{м}^3$	3	5,25	3,53	2,89	,6,2	3,96	3,22
	8	4	9,05	5,37	4,14	10,4	6,25
10	2	3,69	2,89	2,58	4,08	3,11	2,76
	3	6,1	4,24	3,56	7,08	4,74	3,94
12	4	10,1	6,23	4,9	12,3	7,18	5,68
	2	4,32	3,38	3,01	4,76	3,72	3,28
	4	12	7,35	5,83	14,8	8,5	6,92

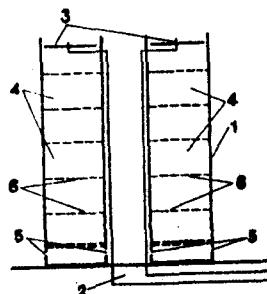


Рис. 2.7 – Схема башенного биофильтра:

1 – корпус; 2 – трубопровод для подачи сточных вод; 3 – реактивные распределители сточных вод; 4 – загрузка; 5 – вентиляционные окна; 6 – перфорированные днища, поддерживающие загрузку

Башенные биофильтры (рис. 2.7) – это сооружения колонного типа, в которых усиlena интенсивность поступления атмосферного воздуха за счет температурного перепада. Соотношение диаметра к высоте принимается в пределах 1: 6...1 : 8. Башенные биофильтры загружают как блочными, так и щебеночными загрузками. Загрузки, как правило, размещаются по 2...4,5 м. Высота поддонного пространства 0,4 м. Башенные биофильтры возводят из типовых колец диаметром 3 – 6 м или из кирпича. Применение блочной загрузки из пеностекла (плотность 0,2...0,3 т/м<sup>3</sup>) исключает устройство колосниковых решеток вообще (или же можно ограничиться только одной решеткой, установленной посередине высоты). Сточные воды по поверхности загрузки распределяются реактивными распределителями, в исключительных случаях может быть применено стационарное распределение из перфорированных труб (диаметром 80...100 мм), диаметр перфорации не менее 10 мм. В некоторых проектах предусмотрена искусственная вентиляция башенных биофильтров, но в них создаются условия, исключающие дефицит кислорода и при естественной вентиляции. Установлено, что концентрация кислорода в верхних слоях на глубине до 2 м достигает 2...3, а в нижних слоях – 5...7 мг/л. Такая концентрация кислорода больше, чем возможная скорость его потребления микроорганизмами. Интенсивность естественной аэрации в башенных фильтрах настолько незначительна, что в холодное время года вызывает переохлаждение участков загрузки биофильтра, особенно нижних слоев. Кроме того, охлаждается очищаемая жидкость в среднем на 3...4 °С, что приводит к снижению скорости процесса и общего эффекта очистки, а также ухудшению процесса нитрификации. Учитывая высокие гидравлические нагрузки, биофильтры башенного типа загружают материалами крупных фракций (40 – 100 мм), что снижает вероятность заиливания фильтрующего слоя загрузки.

**Таблица 2.34. Усредненные результаты работы одноступенчатых высоконагруженых биофильтров при очистке сточных вод молокозаводов**

Показатели	Режим работы				
	Воды				
	неосветленные	осветленные	с естественной		
	1	11	1	11	аэрацией
Высота загрузки, м	3	3	4	3	3
Нагрузка, м <sup>3</sup> /(м <sup>3</sup> .сут)	13	20	20	30	25
Коэффициент рециркуляции	5,7	6,4	4,6	3,4	6
ОМ, г/(м <sup>3</sup> .сут)	839	1164	617	653	663
T, °C	20	20	16	18	13
Не очищенные воды, мг/л: БПК <sub>20</sub>	1280	1865	689	302	580
Очищенные воды, мг/л: БПК <sub>20</sub>	15,4	24,8	11,6	14,8	21,5
Нитраты	0,1	0,18	5,3	3	3,1

**Примечание.** Сравнение результатов свидетельствует о незначительном влиянии искусственной аэрации на эффект работы биофильтров.

Таким образом, при одинаковой интенсивности аэрации значение коэффициента массопередачи в биофильтрах в 5 – 10 раз превышает это значение в аэротенках.

Длительное время контакт фаз в башенных биофильтрах при оптимальных нагрузках обеспечивает разделение биопленки на четыре зоны, отличающиеся по количественному составу, а также по выполняемым функциям в утилизации загрязнений. В верхних слоях, где происходит интенсивное сорбционное изъятие основной массы растворенных и нерастворенных загрязнений, процент снижения БПК достигает 50, максимальная толщина биопленки – 6...7 мм, наблюдается большое соотношение анаэробного слоя биопленки к аэробному, т.е. массоперенос в бескислородной зоне. Эта зона биофильтра башенного типа называется “грязной”, или полисапробной. Затем отмечается насыщение биопленки наиболее чистыми культурами и по мере снижения БПК, с учетом прохождения нитрификации, наблюдается образование 2 зоны –

полимезосапрбная; 3 – мезосапрбная; 4 – наилобее чистая -  $\alpha$  - мезосапрбная зоны. В зависимости от режима работы глубина зон меняется – при перегрузке полисапрбная зона значительно опускается вниз и может заполнять весь фильтр, особенно при перегрузке по органическим загрязнениям.

Нагрузки, приведенные в табл. 2.35, предусматривают неполную очистку при достаточно высоких значениях БПК неочищенных вод, которые также ограничены общей высотой колонны:

БПК<sub>20</sub>, мг/л 250 300 350 450 500

Высота загрузки, м 6 6 8 10 12

Эти данные относятся к очистным сооружениям промышленных стоков. Применение башенных биофильтров для очистки слабо концентрированных сточных вод хозяйственно – бытовых категорий обеспечивает их полную биологическую очистку. Результаты работы биофильтров башенного типа по очистке стоков разных категорий приведены в табл. 2.35.

**Таблица 2.35. Усредненные результаты работы башенных биофильтров**

Показатели	Сточные воды					
	Хозяйственно – бытовые		Городские		Сахарного завода	
	Неочищенные	Очищенные	Неочищенные	Очищенные	Неочищенные	Очищенные
	10		9		10	
Материал загрузки	Пеностекло Щебень		Пеностекло		Пеностекло	
Нагрузка по БПК, г/м	-	-	2000	-	1600	-
БПК <sub>5</sub> , мг/л	150	8/10	250	20	318	24
ХПК, мг/л	220	25/30	290	45	440	80
Температура, °C	15	15/16	10	9	14	13
Нитраты, мг/л	0	10/10	0	5	-	0,8
Прозрачность, см	0	15/10	0	8	0	7
Азот аммонийных солей, мг/л	15	2/1,5	18	10	-	-

**Примечание.** Результаты получены при естественной аэрации биофильтров.

Из-за незначительного поперечного сечения башенных биофильтров резко повышается удельная нагрузка по воде и может достигать 100...120 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сут). Например, биофильтры, применяемые на сточных водах саузаводов, эксплуатируются при гидравлической нагрузке 45 – 60 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сут). Расчет биофильтров большой высоты можно производить по методике, предусматривающей определение высоты слоя загрузки расчетным путем с учетом БПК неочищенных вод, по формуле  $H = (L_{en} - L_{ex})2250K_T$ , или исходя из органической нагрузки, определяемой экспериментально:  $H = E/K_T 1,45$ ,

где  $E = (L_{en} - L_{ex})q$  – для данной категории сточных вод.

Допустимая гидравлическая нагрузка, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сут),

$$q = 0,42 PHK_T CS / (1,22 - \lg L_{ex}) L_{en},$$

где  $P$  – пустотность в теле загрузки биофильтра, %;  $C$  – коэффициент, характеризующийся шероховатость поверхности загрузки, способной удерживать биопленку; для пеностекла  $C = 0,5$ , для щебеночной загрузки – до 1,5;  $S$  – площадь сорбционной поверхности загрузки, м<sup>2</sup>.

Объем загрузки  $W = Q/q$ . Конструируем биофильтр с учетом соотношения диаметра и высоты как 1:6...1:8.

**Пример 6.** Определить объем загрузки башенного биофильтра при 500 мг/л;  $L_{ex} = 30$  мг/л;  $Q = 1200$  м<sup>3</sup>/сут;  $T = 14$  °С.

Рассчитываем необходимую высоту по таблице 2.35 при  $L_{ex} = 30$  мг/л и  $T = 14$  °С,  $E = 1,8$  кг/(м<sup>3</sup>·сут). Тогда

$$H = \frac{1,8}{0,15 \cdot 1,45} = 8,18 \text{ м};$$

принимаем биофильтр высотой 8м. Фактическая гидравлическая нагрузка будет составлять:

для пеностеклянной загрузки

$$q = \frac{0,42 \cdot 44,8 \cdot 0,15 \cdot 3,5 \cdot 60}{(1,22 - 30)500} = 17,5 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{сут});$$

для щебеночной загрузки

$$q = \frac{0,42 \cdot 40 \cdot 8 \cdot 0,15 \cdot 45}{265} = 5,13 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{сут}).$$

Объем необходимого фильтрующего материала для пеностекла

$$W = \frac{1200}{17} = 68 \text{ м}^3; \text{ щебня } W = \frac{1200}{5,13} = 234 \text{ м}^3.$$

Проектируем башенный биофильтр высотой 8 м, диаметром 3 м. Объем одного фильтра  $W = \pi r^2 H = 3,14 \cdot 1,5^2 \cdot 8 = 56 \text{ м}^3$ . Общее количество биофильтров: пеностеклянных  $n = \frac{234}{56} = 4,2 \cong 4$  шт.

Разница в общем объеме биофильтров объясняется сравнительно высокой сорбционной способностью пеностеклянной загрузки.

**Пример 7.** Рассчитать биофильтр для очистки смеси хозяйственных и производственных сточных вод. Расход промышленных стоков – 800 м<sup>3</sup>/сут; БПК<sub>20</sub> неочищенных стоков – 500 м<sup>3</sup>/сут, БПК – 100 мг/л; температура – 15 °C, необходимое БПК очищенных стоков – 20 мг/л.

Рассчитаем среднюю температуру стоков:

$$T_{cp} = \frac{(800 \cdot 10) + (500 \cdot 15)}{800 + 500} = 11,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определим концентрацию смеси перед биофильтрами:

$$L_{mix} = \frac{800 \cdot 700 + 100 \cdot 500}{800 + 500} = 469 \text{ мг/л.}$$

По табл. 2.35 при  $L_{ex} = 20$  и  $T^0 = 11,9$ , если  $E = (L_{en} - L_{ex})q$ , то гидравлическая нагрузка

$$q = E / (L_{en} - L_{ex}) = \frac{1,2}{469 - 20} = 2,68 \text{ м}^3 / (\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

Необходимая высота загрузки (расчетная)

$$H = \frac{1,2}{0,138 \cdot 1,45} = 6 \text{ м.}$$

Тогда фактическая гидравлическая нагрузка:

Для пеностеклянного фильтра составит

$$q = \frac{0,42 \cdot 44 \cdot 6 \cdot 0,138 \cdot 3,5 \cdot 60}{(2 - 1,3)469} = 9,8 \text{ м}^3 / (\text{м}^3 \cdot \text{сут});$$

для щебеночного фильтра

$$q = \frac{0,42 \cdot 40 \cdot 6 \cdot 0,15 \cdot 1,5 \cdot 45}{328} = 3,11 \text{ м}^3 / (\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

Необходимый объем фильтрующего материала:  
пеностеклянного  $W_1 = \frac{800 + 500}{9,8} = 133 \text{ м}^3$ ; щебеночного

$$W_2 = \frac{300}{3,11} = 418 \text{ м}^3.$$

Проектируем башенные биофильтры высотой 6 м, диаметром 3 м. Тогда объем фильтра составит  $W = 3,14 \cdot 1,5^2 \cdot 6 = 42,4 \text{ м}^3$ .

Общее количество биофильтров:

$$\text{Пеностеклянных} - \frac{133}{42,4} = m = 3,16 \text{ - принимаем три колонны;}$$

$$\text{Щебеночных} - \frac{418}{42,4} = m = 9,86 \text{ - принимаем десять колонн}$$

башенных фильтров.

Биофильтры с пластмассовой загрузкой (рис. 2.8) круглые или прямоугольные, в плане резервуары высотой 3, 4, 6 м.

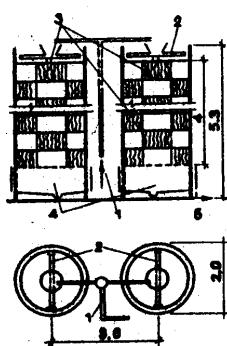


Рис. 2.8 – Биофильтр с пластмассовой загрузкой, производительностью 200  $\text{м}^3/\text{сут}$ :

- 1 – подача неочищенных сточных вод;
  - 2 – вращающийся распределитель;
  - 3 – пластмассовая загрузка;
  - 4 – поддонное пространство;
  - 5 – отвод очищенных вод.
- Пленок. Пористость этих конструкций достигает 70 – 98%; плотность – до 100  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Применяемые виды пластмасс должны удовлетворять требованиям СНИП [12], предъявляемым к загрузкам, и быть

кислотостойкими, выдерживать температуру в пределах 6...30 °C, не меняя внешнего вида и свойств.

Расчет пластмассовых биофильтров по критериальному комплексу имеет вид  $\Phi = P H K_T / E$ ,

где  $P$  – пустотность пластмассовой загрузки;  $K_T$  – температурная константа;  $E$  – удельное количество органических веществ по БПК<sub>5</sub>, г/(м<sup>2</sup>·сут) и определяемое как  $E = L_{en} q_{pf} / K_F$ .

После решения критериального комплекса имеем

$$L_{ex} > 11 \text{ мг/л}, L_{ex} = 10^{2,18-0,385} \varphi;$$

$$L_{ex} < 11 \text{ мг/л}, L_{ex} = 10^{1,23-0,06} \varphi.$$

Решение этих уравнений позволяет определить высоту слоя загрузки, м: при  $L_{ex} > 11$   $H = 2,6 (2,18 - \lg L_{ex}) E / P K_T$ ;

$$L_{ex} < 11 \text{ } H = 15,13 (1,23 - \lg L_{ex}) E / P K_T;$$

$$L_{ex} = 11 \text{ } H = 3 E / P K_T.$$

Гидравлическая нагрузка на пластмассовую загрузку

$$q = E K_F / L_{en}.$$

**Пример 8.** Рассчитать биофильтр с пластмассовой загрузкой при таких исходных данных:  $Q = 900 \text{ м}^3/\text{сут}$ ; БПК<sub>5</sub> неочищенных вод – 190 мг/л; БПК<sub>5</sub> очищенных стоков – 15 мг/л; среднезимняя температура стоков ~ 14 °C.

Рассчитываем загрузку пластических листов с удельной поверхностью  $K_F = 120 \text{ м}^2/\text{м}^3$  и пустотность  $P = 90\%$ .

**Решение.** Необходимый эффект работы биофильтров

$$\mathcal{E} = \frac{190 - 15}{190} 100 = 92\%, \text{ при таком эффекте принимаем}$$

высоту биофильтров  $H = 4 \text{ м}$ . Значение критериального комплекса для пластмассовых биофильтров в зависимости от БПК очищенных вод определяем из данных:

$$L_{ex}, \text{ мг/л} \dots 10 \ 15 \ 20 \ 25 \ 30 \ 35 \ 40 \ 45 \ 50$$

$$\varphi \dots 3,3 \ 2,6 \ 2,25 \ 2 \ 1,76 \ 1,6 \ 1,45 \ 1,3 \ 1,2.$$

При исходных данных  $\mathcal{E} = 90\%$  и  $L_{ex} = 15 \text{ мг/л}$ ,  $\varphi = 2,6$ .

Температура константа при  $T = 14 \text{ } ^\circ\text{C}$  равняется 0,15.

Допустимая нагрузка по органике

$$E = \frac{90 \cdot 4 \cdot 0,15}{2,6} = 20,76 \text{ г/(м}^2\text{·сут)}.$$

Определяем допустимую гидравлическую нагрузку

$$q = \frac{20,76 \cdot 120}{190} = 13,12 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

Рассчитываем необходимый объем пластмассовой загрузки:

$$W = \frac{900}{13,12} = 69 \text{ м}^3.$$

$$\text{Площадь поверхности биофильтров } F = \frac{69}{4} = 17,25.$$

Назначаем две секции биофильтра, тогда диаметр одной секции

$$D = \sqrt{\frac{1 \cdot 17,25}{3,14 \cdot 2}} = 3,3 \text{ м.}$$

Принимаем два биофильтра диаметром по 4 м каждый, высотой 4 м и размещаем в помещении.

**Пример 9.** Рассчитать биофильтр с загрузкой из асбестоцементных гофрированных листов при  $Q = 1400 \text{ м}^3/\text{сут}$ ;  $L_{ex} = 200 \text{ мг/л}$ ;  $L_{ex} = 20 \text{ мг/л}$ ;  $T = 15^{\circ}\text{C}$ ;  $K_F = 56 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ; пустотность 80 %.

$$\text{Эффект очистки (необходимый) } \mathcal{E} = \frac{200 - 20}{200} 100 = 90\%,$$

принимаем высоту биофильтров 4 м; подбираем величину критериального комплекса при  $T = 15^{\circ}\text{C}$ ;  $K_T = 0,158$ , в результате чего  $\varphi = 2,25$ . Рассчитываем органическую нагрузку

$$E = \frac{80 \cdot 4 \cdot 0,158}{22,5} = 22,5 \text{ г/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})}.$$

Находим допустимую гидравлическую нагрузку

$$q = \frac{19,45 \cdot 56}{200} = 6,3 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

Определяем необходимый объем асбестоцементной загрузки и площадь биофильтров:  $W = 1400/6,3 = 222 \text{ м}^3$ ;  $F_{bf} = \frac{222}{4} = 56 \text{ м}^2$ .

Принимаем четыре биофильтра круглыми с реактивными оросителями. Определяем их диаметр:

$$D = \sqrt{4F_{bf} / 4\pi} = \sqrt{56 / 3,14} = 4,25 \text{ м.}$$

Таблица 2.36. Технические показатели сточных вод к расчету

Показатели	Сточные воды			
	сахарных заводов	пансионатов	домов отдыха	шелковых комбинатов
$\rho$ , кг/(м <sup>3</sup> сут)	1,7...2,5	0,9...1,3	0,6...1,0	0,5...1,0
$L_{en}$ , г/ м <sup>3</sup>	30...40	20...25	15...20	15...20
$\gamma$ , г/( м <sup>3</sup> сут)	10	33	15	32
$Y$ , кг/( м <sup>3</sup> сут)	35...50	35...50	20...30	15...20

До настоящего времени не полностью изучена закономерность прироста биопленки. Это касается в частности, уравнения, предложенного Т.А. Кариухиной и видоизмененного автором:

$$Y = Y_0 \cdot \exp^{(0,8C+0,5\Delta L)t},$$

$C$  – концентрация взвешенных веществ;  $\Delta L$  - снятое БПК сточных вод;  $H$  – высота слоя загрузки биофильтра, м;  $\gamma$  - коэффициент, учитывающий сорбционное изъятие загрязнений отторгнувшимся биоценозом и при известных  $\rho$  и  $\gamma$  определяется по предложенной формуле. Значение  $\gamma$  для некоторых стоков приведены в таблице 2.36.

$D_0$  – коэффициент диффузии для биофильтров, равняющийся 0,6 – 0,9 или рассчитывающийся по первому закону Фика. После определения гидравлической нагрузки рассчитывают необходимый объем загрузки.

**Пример 10.** Рассчитать биофильтр с пеностеклянной загрузкой для очистки сточных вод дома отдыха при следующих исходных данных:  $L_{en} = 180$  мг/л;  $L_{ex} = 15$  мг/л;  $Q = 700$  м<sup>3</sup>/сут. Из таблицы 2.36 при  $L_{ex} = 15$ ;  $-Y = 20$  кг/(м<sup>3</sup>сут);  $\gamma = 15$ ,  $= 0,6$  кг/(м<sup>3</sup>сут).

Рассчитываем минимально необходимую высоту загрузки при  $L_{ex} = 15$  (по таблице 2.20)  $E = 1,4$ :

$$H = \frac{1,4}{2,25 \cdot 0,138} = 4,5 \text{ м.}$$

Определяем гидравлическую нагрузку:

$$q = \frac{-0,6 \cdot 15 \cdot 4,5 \sqrt{\frac{0,6}{20}}}{\ln \frac{15}{180}} = \frac{-7,02}{-2,48} = 2,83 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

Необходимый объем загрузки  $W = 700/2,93 = 247 \text{ м}^3$ .

Поверхность биофильтров  $F = 247/4,5 = 55 \text{ м}^2$ .

Принимаем два биофильтра диаметром 3 м и высотой 4,5 м.

**Пример 11.** Рассчитать биофильтр с пеностеклянной загрузкой для очистки сточных вод населенного пункта и шелкового комбината при следующих исходных данных:

$L_{\text{ен хоз.-б}} = 100 \text{ мг/л}; L_{\text{ен пр.}} = 200 \text{ мг/л};$

$L_{\text{ex}} = 20 \text{ мг/л}; T_{\text{cp}} = 13^{\circ}\text{C}; \rho = 0,5; Y = 15; \gamma = 32$ ;

$Q_{\text{общ}} = 1400 \text{ м}^3/\text{сут}; Q_{\text{хоз.-б}} = 30 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Вычисляем БПК смеси хозяйственно – бытовых и промышленных сточных вод:

$$L_{\text{mix}} = \frac{100 \cdot 300 + 1100 \cdot 200}{300 + 1100} = 179 \text{ мг/л или г/м}^3.$$

Определяем необходимую высоту:  $H = 1,7/(2,25 \cdot 0,145) = 5 \text{ м}$ .

Рассчитываем гидравлическую нагрузку:

$$q = \frac{-0,6 \cdot 32 \cdot 5 \sqrt{\frac{0,5}{15}}}{\ln \frac{20}{179}} = \frac{-16,2}{-2,21} = 7,4 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

Необходимый объем загрузки  $W = 1400/7,4 = 190 \text{ м}^3$ .

Площадь поверхности биофильтра  $F = \frac{190}{5} = 38 \text{ м}^2$ .

Назначаем две секции круглых биофильтров диаметром, м,

$$D = \sqrt{\frac{2 \cdot 38}{3,14 \cdot 5}} = 4,87 \cong 5 \text{ м.}$$

Принимаем биофильтр из двух секций 5 м и высотой 5 м.

Методика расчета биофильтров по константе загрузки применима при отсутствии параметров  $\rho$ ,  $Y$ ,  $\gamma$ . Сущность расчета заключается в том, что характеристику основного элемента биофильтров загрузки можно свести к общему понятию и условно назвать константой загрузки. По данным длительных опытов, а также

известных методик расчетов, учитывающих взаимное влияние множества факторов при биохимической очистке, константу загрузки можно определить по формуле  $K = PK_F K_H$ .

Значение  $K$ , подсчитанные для разных конструкций загрузок, приведены в табл. 2.37.

**Таблица 2.37. Значение  $K$  в зависимости от конструкций загрузок**

Загрузка	Пустотность $P$ , %	Площадь поверхности $K_F$ , $m^2/m^3$	$K_H$ при $H = 4$ м	$K$
Щебеночная при : 25 мм	45	52	0,070	164
40 мм	50	48	0,083	199
60 мм	55	49	0,081	218
Пластмассовая	90	90	0,045	364
Асбестоцементная	50	60	0,066	198
Пеностеклянная	55	60	0,066	217

Табл. 2.37 составлена для загрузок высотой  $H = 4$  м и учитывает влияние высоты на очистку и определена как соотношение высоты биофильтра к удельной поверхности загрузки.

При повышении температуры сточных вод до  $30^0C$ , при прочих равных условиях, гидравлическую нагрузку можно увеличивать. При увеличении БПК неочищенных сточных вод гидравлическая нагрузка должна уменьшаться. Кроме того, увеличение параметров загрузки  $P$ ,  $K_F$  увеличивает гидравлическую нагрузку, т.е. можно записать

$$\text{эмпирическое уравнение вида: } q = \frac{25KK_T}{L_{en} - L_{ex}} \left[ m^3/(m^3 \cdot \text{сут}) \right].$$

Для выявления справедливости предложенной зависимости выполнены сравнительные подсчеты по разным методикам и определена погрешность. Результаты расчетов, выполненных для условий: высота загрузки 4 м,  $T$  сточной воды  $20^0C$  и  $Q = 1000 m^3/\text{сут}$ , приведены в таблице 2.38. Таким образом, предложенная методика по константе загрузки приемлема для прогнозирования параметров проектируемых сооружений биофильтров.

**Таблица 2.38. Результаты расчета биофильтров**

Методика расчета	$q, m^3/(m^3 \cdot \text{сут})$	$\varphi$	$W, m^3$	Отклонение, %
По окислительной мощности	6,2	-	161	0
По С.В. Файзулиной	7,0	2,5	143	9
По С.В. Яковлеву	6,8	2,3	147	9,2
По Ю.В. Воронову	7,1	3,02	140	12,0
С учетом критериального комплекса	9,0	2,4	112	29
По константе загрузки	6,28	-	159	1,5

**Применение.**  $L_{en}/L_{ex}$  для всех методик расчета применяется 300/10.

**Пример 12.** Необходимо запроектировать биофильтр для полной биологической очистки при следующих данных:

$Q = 500 \text{ м}^3/\text{сут}$ ;  $L_{en} = 250 \text{ мг/л}$ ; температура сточной воды  $T = 15^{\circ}\text{C}$ ;  $L_{ex} = 20 \text{ мг/л}$ .

Определяем необходимую высоту загрузки:

$$H = \frac{1,7}{2,25 \cdot 0,158} = 4,8 \text{ м.}$$

Определяем  $K_n$  для пеностеклянной загрузки:

$$K_H = \frac{4,8}{60} = 0,08.$$

Определяем константу загрузки

$$K = 55 \cdot 60 \cdot 0,08 = 264.$$

Рассчитываем гидравлическую нагрузку

$$q = \frac{25 \cdot 264 \cdot 0,158}{250 - 20} = \frac{1042}{230} = 4,53 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

$$\text{Объем загрузки } W = 500/4,8 = 104 \text{ м}^3.$$

Площадь биофильтров  $F = 104/4,8 = 22 \text{ м}^2$ , биофильтры принимаем круглые в плане, состоящим из двух секций диаметром

$$D = \sqrt{\frac{2 \cdot 22}{3,14 \cdot 4,8}} = 1,7 \text{ м.}$$

Окончательно принимаем два биофильтра высотой 4,8 м и диаметром 2 м.

Биофильтры с жесткими засыпными загрузками – это сооружения, заполненные фильтрующим материалом (носителем биопленки) в виде различных пластмассовых, керамических и металлических обрезков труб, колец Паля, седел Берля, седел инталокс и др. Конструктивно эти биофильтры не отличаются от обычных, и все требования, предъявляемые к ним аналогичны.

Подается вода реактивным распределителем, аэрация искусственная, пустотность достигает 80...90 %; высота слоя загрузки 3...6 м, удельная площадь поверхности загрузки 80...120 м<sup>2</sup>/ м<sup>3</sup>.

Применяются загрузки из трубчатых материалов. Результаты работы биофильтров приведены в таблице 2.39. Используют также в качестве загрузки бамбуковые трубы. Бамбуковая загрузка удовлетворяет требования СНИП 2.04.03-85 и является дешевым и доступным материалом, особенно для тропических стран.

Бамбуковые трубы в виде цилиндрических отрезков укладывают в биофильтре вертикально друг над другом, аналогично кольцам Рашиге. Диаметр бамбуковых трубок составляет 40...50 мм, длина отдельных колец – 10...15 см. Бамбук имеет шероховатую поверхность. Трубы предварительно высушивают, поскольку использование сырого материала в качестве загрузки не рекомендуется. Важным качеством бамбука является его устойчивость к воздействию агрессивной среды, при этом не снижается механическая прочность и материал остается устойчивым к химической и биологической коррозии. Бамбуковая загрузка характеризуется следующими показателями: плотность до эксплуатации (без биопленки) 30 – 35 кг/ м<sup>3</sup>, в процессе эксплуатации – до 100 кг/ м<sup>3</sup>, площадь сорбционной поверхности – до 90...100 м<sup>2</sup>/ м<sup>3</sup>, пустотность – до 75 – 80 %.

**Таблица 2.39. Эффективность работы биофильтров с засыпными загрузками**

Содержание Ацетон	Смесь хозяйствственно – бытовых и промышленных	Целлюлозно – бумажные и крахмальные (смеси)	Характеристика загрузки			Нагрузки		
			Пористость	Параметры блоков	Площадь поверхности, $\text{м}^2 / \text{м}^3$	Органическая, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$	Гидравлическая, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$	
73	Кольца 50 · 50 · 5 мм	Сетки металлические 0,9 · 1,8 м	80	“Клоузения” 2,5 · 80 мм	90 110	0,5 – 1,5 11	2 – 12	
110	-	110	70 – 90	80 70 – 90	3000	БПК <sub>исх</sub> , мг/л	-	
135	2,5	0,11 – 1,23	-	-	0,5 – 1,5 11	-	-	

## 2.9.2. Аэротенки

На биохимические процессы в аэротенках влияют начальные концентрации сточных вод, которые согласно [6;12] в зависимости от конструкции сооружения допускаются в пределах 500...1000 мг/л. Конструктивные особенности аэротенков, особенно аэротенка – смесителя, при поступлении сточных вод с высоким БПК позволяет разбавлять эти концентрации со смесью жидкости и АИ, в результате чего процесс очистки протекает сравнительно с низкими концентрациями загрязнения в жидкости, из – за чего обеспечивается

постоянное количество кислорода в воде по длине сооружения. При поступлении немедленно начинается сорбция нерастворенных взвешенных веществ на хлопья АИ. Этот процесс протекает быстро, и его значения сильно зависят от физического состояния хлопьев АИ. Далее процесс изъятия загрязнений сопровождается окислением, протекает медленно и занимает несколько часов:

$$\rho = \rho_{\max} L_{en} / (L_{en} + K_m),$$

где  $\rho$  и  $\rho_{\max}$  – соответственно удельная и максимальная скорость процесса;  $L_{en}$  – концентрация загрязнений;  $K_m$  – коэффициент Михаэлиса.

Как видно из уравнения, именно связь БПК и скорости его потребления в совокупности описывают эффект работы аппарата.

По нагрузке различают аэротенки с большой скоростью прироста активного ила и относительно низким эффектом очистки, на которых нагрузка принимается более 400 мг  $O_2$  на 1 г беззольного вещества АИ в сутки. Аэротенки с относительно меньшим приростом АИ и высоким эффектом очистки сточных вод, на которых органическая нагрузка колеблется в пределах 150...400 мг  $O_2$  на 1 г беззольного вещества в сутки, и аэротенки третьей группы низконагруженые, в которых минимальный прирост АИ и очистка сопровождаются процессами нитрификации, где органическая нагрузка ниже 150 мг на 1 г беззольного вещества АИ в сутки.

Кроме того, можно пользоваться нагрузкой  $O_2$  на объем сооружения, определяется как  $E = L_{en} \cdot Q_2 / W$ , где  $E$  = 1 г БПК  $m^3$ /сут, приходящаяся на единицу объема аэротенков;  $W$  – объем аэротенка,  $m^3$ . Например, если поступает БПК сточных вод 300 г/ $m^3$  со временем аэрации 24 ч, то будем иметь нагрузку 300 г  $O_2/(m^3 \cdot \text{сут})$ .

Ориентированные параметры нагрузок и эффективность работы систем аэротенков приведены в табл. 2.40.

**Таблица 2.40. Параметры работы аэротенков**

Процесс аэротенки	Нагрузка 1 г $O_2/(m^3 \cdot \text{сут})$	Нагрузка БПК/сут г сухого активного ила	Время аэрации, ч	ЦАИ, %	Эффект очистки, %
Аэрация: продленная	150...500	0,05...0,2	20...30	100	85...95
Обычная	500...650	0,2...0,5	6...7,5	30	90...95

**Продолжение таблицы 2.40**

Ступенчатая	500...800	0,2...0,5	5,7	50	85...95
Контактная стабилизация	500...800	0,2...0,5	6...9	100	85...90
Высоконагруженные	1300	0,5...1,0	2,5...3,5	100	80...85
С техническим кислородом	1900	0,6...1,5	1...3,0	50	90...95

Нарушение состояния АИ при очистке преимущественно промышленных сточных вод обычно связано с присутствием в воде токсических веществ, превышающих ПДК. Отрицательное влияние на АИ оказывает наличие кислоты, солей тяжелых металлов, щелочей, синтетических и ПАВ, растворенных агрессивных газов и других трудно окисляемых веществ.

Склонность к биохимической очистке определяется величиной соотношения среды БПК/ХПК. Например, присутствие в промышленных сточных водах пищевой промышленности жировых включений в аэротенках повышает вспенивание иловой смеси и всплыивание активного ила во вторичном отстойнике, снижает скорость окисления. Отрицательное влияние жиров на работу АИ наблюдается при их концентрации более чем 100 мг/л.

Конструктивно аэротенки различают по назначению и режиму работы. Это такие аэротенки: смесители; вытеснители; с рассредоточенным впуском сточных вод; отстойники; аэроакселераторы; контактно – стабилизационные; осветлители; противоточные; аэроокислители; с низконапорной аэрацией; со струйной аэрацией; шахтные; колонные; с пластмассовой загрузкой (биотенки), окислители и др.

Для биологической очистки сточных вод с активным илом разработаны процессы в режимах продленной аэрации и в классическом.

Система продленной аэрации отличается от обычной значительно большей продолжительностью пребывания в аэротенках неочищенных сточных вод и полным возвратом ила в аэрационный бассейн. Продолжительность аэрации сточных вод в продленном режиме составляет 1 -3 сут. в зависимости от концентрации поступающих стоков по БПК. Режим продленной аэрации целесообразно применять при относительно невысоких БПК и малых расходах. Нагрузка на АИ и БПК принимается в пределах 0,05 кг/(кг·сут). Сооружения работают при дозе активного ила 3...5 г/л, Следовательно, объемная нагрузка достигает 0,15...0,25 кг БПК/(м<sup>3</sup>·сут). Режим продленной аэрации характеризуется малым

приростом активного ила и малым содержанием органических загрязнений, а также окислением азотистых соединений. Режим продленной аэрации отличается простотой эксплуатации, устойчивостью к неравномерности, к перерывам поступления стоков, но слишком энергоемких и легко подвергается переохлаждению. Кинетика процесса незначительно отличается от процессов деструкции органики в классических аэротенках.

При использовании эрлифтной системы можно успешно решить вопрос удаления всплывшего активного ила на свободной поверхности зоны отстаивания. В схемах продленной аэрации удаление избыточного ила можно не устраивать. В этих реакторах допустимо увеличение дозы активного ила с последующим механическим отбором один раз в несколько месяцев. Прирост составляет около 50 мг/(л·сут).

Центральным институтом типового проектирования (ЦИТП) разработаны проекты станции биологической очистки сточных вод в режиме продленной аэрации (блок емкостей) на расход 100, 200, 400, 700 м<sup>3</sup>/сут. Схема сооружения, показана на рис. 2.9 - вариант блока емкостей, предназначенный для очистки слабо концентрированных бытовых и промышленных сточных вод при отсутствии в них трудно окисляемых, токсичных и агрессивных веществ и концентрации взвешенных веществ в среднем до 250 мг/л. Сточные воды во всех случаях перед поступлением в аэрационную часть должны быть очищены на решетках и в специальной иловой камере смешиваться с циркуляционным активным илом. В иловую камеру эрлифтным устройством подают активный ил из вторичных отстойников. Такой способ подачи ила жидкостной смеси обеспечивает равномерное смешивание и выравнивание залповых нагрузок. При длительном пребывании сточных вод в аэрационной зоне сооружения, которое составляет более 12 ч, загрязнения полностью изымаются по классической схеме. Смесь очищенной сточной воды минерализованного активного ила поступает в отстойники для разделения. Далее активный ил с эрлифта возвращается в иловую камеру, смешивается с новой порцией неочищенных вод и процесс повторяется. Осветленные сточные воды направляются в контактную камеру на обеззараживание и затем выпускаются в водоем с БПК очищенных вод, как правило, не выше, чем 15 мг/л.

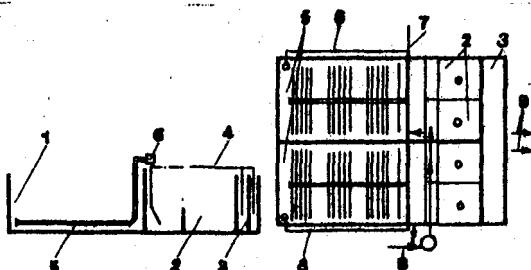


Рис. 2.9 – Блок емкостей на производительность 400...700 м<sup>3</sup>/сут:  
 1 – резервуар аэротенка; 2 – вторичный отстойник; 3 – контактный резервуар; 4 – система илопроводов; 5 – диспергатор воздуха; 6 – оборудование перекачки ила и подачи воздуха; 7 – подача ALL; 8 – подача неочищенных сточных вод; 9 – выпуск очищенных вод.

Типовые проекты предусматривают доочистку сточных вод при необходимости на песчаных фильтрах или биопрудах. Обеззараживание осуществляется добавлением гипохлоритнатрия или электрообеззараживанием. Основные показатели типовых проектов приведены в табл. 2.41-2.43.

Продолжительность аэрации определяют параметрами поступающей воды и эффектом очистки. Контрольные параметры:

$\alpha$  - доза ила, г/л;

$S = 0,3$  – зональность ила в долях единицы;  $\rho$  - скорость окисления по данным АКХ им. К.Д. Памфилова составляет 63 – 125 мг/(г · сут). Основные параметры, определяющие интенсивность биохимического процесса, в режиме продленной аэрации связаны между собой зависимостью:  $T = [(L_{en} - L_{ex})24]/[\alpha (1 - S) \rho]$ .

**Таблица 2.41. Технико – экономические показатели типовых проектов**

Номер типового проекта	Производительность, м <sup>3</sup> /сут	Сметная стоимость, тыс.руб.	Площадь застройки, м <sup>2</sup>	Количество		Энергозатраты кВт · ч/М <sup>3</sup>
				обслуживающего персонала, чел.	Реагента аэротенков	
902-3-17	100	11,09	63	4	2 · 3	35
902-3-17	200	17,43	99	6	2 · 9	55
902-3-18	400	25,08	232	6	8	96
902-3-18	700	29,00	304	5,25	2,63	1,31

**Примечание.** 1 – длина аэротенков изменяется добавлением трехметровых вставок. Глубина рабочей части аэротенка – 3 м; 2 – воздух в аэротенках подается через дырчатые трубы.

При данном относительном эффекте очистки уравнение принимает вид:  $t = [(L_{en} - 20)24 \cdot \mathcal{E}] / [\alpha (1 - S))p]$ ,  
где  $\mathcal{E}$  – относительный эффект очистки.

**Таблица 2.42. Технико-экономические показатели некоторых типовых проектов на производительность более 100 м<sup>3</sup>/сут**

Номер проекта	Производительность, м <sup>3</sup> · сут	Площадь застройки, м <sup>2</sup>	Сметная стоимость тыс. грн.	Численность рабочих, чел.
1	2	3	4	5
Блок емкостей: т.п. 902-3-075.88	100	78	14,68	4
	200	98	16,78	4
	400	241	28,1	4
	700	312	34,3	4

Продолжение таблицы 2.42

1	2	3	4	5
902-03-13	1400	760	96,3	13
Аэротенки с продленной аэрацией 902-2-303 с	200	95	13,2	
Аэротенки продленной аэрации с механическими аэраторами 902-03-38.85 и 86	700 400 200 100	372 253 149 104	60 44 27 19	6 6 4 4
Циркулярные окислительные каналы: т.п. 902-3-075.88	100 200	369 738	3,5 5,3	
Т.п. 902-3-075.88	400 700	603 1671	6,74 15	
902-2-257	1400	2322	32	

Продолжительность отстаивания, ч,

$$t_{OT} = \frac{[\alpha(1-S)/(1-S)]^{1,5} \cdot i_3}{35 \left\{ 10^3 - \left[ \frac{\alpha(1-S)}{1-S} \right] \right\}^{0,5}} + 2,2,$$

где  $i_3$  – величина илового индекса,  $\text{см}^3/\text{ч}$ .

**Таблица 2.43**

**Технико – экономические показатели некоторых типовых проектов установок заводского изготовления**

Номер проекта	Производительность, м <sup>3</sup> /сут	Площадь застройки, м <sup>2</sup>	Сметная стоимость, тыс.грн.	Численность рабочих, чел.
Компактные установки из четырех унифицированных секций: 902-2-223	100	48	16	3
902-2-224	200	96	32	3
902-2-225	400	192	55	3
902-2-226	700	325	92	3
Установки заводского изготовления с аэробной стабилизацией осадка: 902-2-265	200	118	18	3
902-2-266	400	230	33	4
902-2-267	700	345	49	4

**Примечание.** В показатели таблицы вошла стоимость сооружения биологической очистки без учета других затрат.

Общий объем блока емкостей можно определять как сумму аэрационной и отстойной частей:  $W_{об} = (W_{аэр} + W_{от})$ , где объем аэротенков составляет  $W_{аэр} = Qt$ , а отстойников  $W_{от} = Qt_{от}$ .

**Пример 2.** Рассчитать комплекс сооружений, работающих в режиме продленной аэрации типа “Блок емкостей” при следующих исходных данных:  $Q = 200$  м<sup>3</sup>/сут;  $L_{en} = 250$  мг/л;  $L_{ex} = 15$  мг/л.

Необходимое время аэрации при относительном эффекте очистки:  $\mathcal{E} = \frac{15}{250} = 0,06t_{at} = \frac{(250-15)0,06 \cdot 24}{6(1-0,35)80} = 1$  сут.

Объем аэрационной части  $W_{аэр} = 200 \cdot 0,98 = 196$  м<sup>3</sup>.

Продолжительность отстаивания:

$$t_{OT} = \frac{\left(\frac{4,2}{0,7}\right)^{1,5} 100}{35\left(10^3 - \frac{294}{0,7}\right)^{0,5}} + 2,2 = 3,55 \text{ ч.}$$

Продолжительность отстаивания связана с физическими характеристиками активного ила. Объем отстойника

$$W_{OT} = \frac{200}{24} 3,55 = 30 \text{ м}^3.$$

Получается большое число соотношения аэрационной и отстойной частей:  $196/30 = 6,5:1$ , что свойственно именно этому режиму очистки и допустимо только для малых расходов.

Общий объем блока емкостей  $W_{об} = 196 + 30 = 226 \text{ м}^3$ .

**Пример 3.** Рассчитать блок емкостей для очистки промышленных сточных вод с высокой концентрацией при исходных данных:  $L_{en} = 600 \text{ мг/л}$ ;  $L_{ex} = 20 \text{ мг/л}$ ;  $Q = 300 \text{ м}^3/\text{сут.}$

$$\text{Относительный эффект очистки } \mathcal{E} = \frac{20}{600} = 0,033.$$

Необходимое время аэрации:

$$t_{at} = \frac{(600 - 20)0,033 \cdot 24}{6 \cdot 0,7 \cdot 80} = 1,37 \text{ сут, или } 33 \text{ ч.}$$

$$\text{Объем аэрационной части } W_{aэр} = \frac{300}{24} 33 = 413 \text{ м}^3.$$

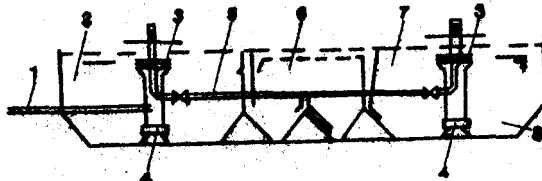
Продолжительность отстаивания при тех же параметрах (см. пример 2) останется без изменения и будет равна 3,35 ч. Тогда объем отстойника  $W_{OT} = \frac{300}{24} 3,35 = 45 \text{ м}^3$ .

Общий объем блоков емкостей  $W_{об} = 413 + 45 = 458 \text{ м}^3$ .

Сравнение результатов расчета с предыдущим примером показывает, что изменение БПК при постоянных параметрах активного ила требует значительного увеличения аэрационного объема.

Разработана компактная установка аэротенк – отстойник с аэробным сбраживанием. Эта установка (рисунок 2.10) применяется на

ряде объектов.



**Рис. 2.10 Схема установки заводского изготовления:**

- 1 - подача неочищенных вод;
- 2 - аэротенк;
- 3 - механические аэраторы;
- 4 - стабилизаторы потока;
- 5 - циркуляционный трубопровод;
- 6 - вторичный отстойник;
- 7 - илоуплотнитель ;
- 8 - аэробный сбраживатель

Типовые проекты разработаны на производительность 700...1400 м<sup>3</sup>/сут и более и предусматривают частично заводское изготовление крупноразмерных установок. Эти сооружения выполняют в блочном варианте, что позволяет набирать необходимые производительности. Одна секция компактной установки имеет общий объем 220 м<sup>3</sup>. Установка работает следующим образом. Сточная вода после решеток без отстаивания поступает в аэрационную часть сооружения. Аэрация смеси активного ила и сточных вод осуществляется механическим аэратором, установленным исключительно в центре аэрационной части. Обработанная жидкость в смеси с активным илом через затопленный водослив поступает в дегазационную камеру и в отстойник. Необходимость устройства дегазационных отсеков во всех пробных установках очевидна так как при поступлении активного ила с малыми пузырьками ухудшаются условия для его осаждения. Активный ил в аэрационную зону возвращается из бункерной части отстойника через циркулярный трубопровод за счет гидростатического напора.

Одновременно поступление сточных вод и возвратного ила обеспечивает хорошее их смешивание, а это в свою очередь дает эффективное изъятие загрязнений. Осветленные сточные воды собираются в отводной лоток вторичного отстойника, устроенного на поверхности жидкости, и отводятся вне сооружения на обеззараживание. Избыточный активный ил направляется в отсек для аэробного сбраживания, перекачивается в сбраживатель аналогично ЦАИ за счет энергии механического аэратора. Сброшенный избыточный активный ил осаждается, уплотняется и через иловую трубку периодически выпускается на иловые площадки.

Некоторые параметры установки сведены в таблице 2.44.

**Таблица 2.44****Техническая характеристика установки**

$Q, \text{м}^3/\text{сут}$	Общий коэффициент неравномерности	Ширина установки, м	Длина установки, м	Глубина АЭ, м	Глубина ОГС, м	Количество установок, шт.
700	2,1	6	5	3,5	4,5	2
1400	1,9	6	5	3,5	4,5	3

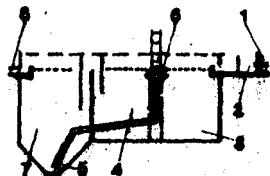
Размеры одной установки в плане  $6 \times 14$  м. Рассчитаны они на полную биологическую очистку и принимаются в количестве одной секции на  $200 \text{ м}^3/\text{сут}$ , двух секций на  $400 \text{ м}^3/\text{сут}$  и трех секций – на  $700 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Ориентировочная стоимость одной секции около 14 тыс. грн.

Разработаны проекты аэротенков для очистки высококонцентрированных промышленных стоков на расход 100, 150, 250  $\text{м}^3/\text{сут}$ , а также на 500 – 2000  $\text{м}^3/\text{сут}$  в металлическом и железобетонном исполнении.

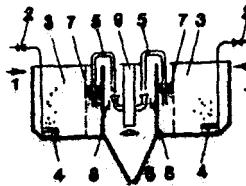
Установки на расход 500 – 700  $\text{м}^3/\text{сут}$  скомпонованы так, что аэрационные отделения состоят из двух последовательно работающих зон аэрации, оборудованных аэраторами. Такая компоновка позволяет перераспределять расход сточных вод (для малых расходов до 150  $\text{м}^3/\text{сут}$ ). Разработана также конструкция блока аэротенка и отстойника без сбраживания избыточного ила. Эта установка (рисунок 2.11) строится в виде прямоугольного резервуара, который разделен на аэрационную и отстойную секции с дегазационной камерой. Последовательность и принцип обработки сточных вод аналогичны выше приведенным. Расход возвратного ила в 4...6 раз выше расхода сточных вод, что дает возможность системе работать с высокими дозами активного ила и малыми органическими нагрузками. Объем аэрационной емкости составляет  $100 \text{ м}^3$ , продолжительность аэрации рассчитывает в зависимости от скорости окисления и параметров сточных вод. Отстаивать смеси предусматривается в среднем 1 ч при восходящем потоке со скоростью  $0,0003 \text{ м/с}$ .

Конструкция блока аэротенка с отстойником с переменным рабочим уровнем жидкости решает вопрос неравномерности поступления стоков и предложена (рис. 2.12) Б.И. Репиным [5].

Установка состоит из вертикального отстойника, расположенного в середине двух аэротенков классического типа, оборудованных подводящими трубопроводами и системой пневматической аэрации через фильтросные пластины. Она снабжена поплавками, дозаторами и сифоном, перемещающимся в вертикальном направлении направляющими устройствами.



**Рис. 2.11** Компактная установка малой производительности с турбоаэраторами: 1 – подача сточных вод; 2 – приемная камера; 3 – аэротенк; 4 – направляющая камера; 5 – трубопровод возврата ила; 6 – турбоаэратор; 7 – вторичный отстойник; 8 – выпуск очищенной воды.



**Рис. 2.12** Аэротенк с переменным рабочим уровнем жидкости: 1 – подача неочищенных сточных вод; 2 – подвод воздуха; 3 – зона аэрации; 4 – аэратор; 5 – дозаторы постоянного расхода сифонного типа; 6 – вторичный отстойник; 7 – поплавок; 8 – сборные лотки очищенных вод; 9 - центральная труба.

Установка работает следующим образом. Неочищенные сточные воды по трубопроводу поступают в аэрационную емкость. При этом оба аэротенка имеют автономный подвод сточных вод и воздуха. В аэротенке сточная вода смешивается с активным илом, контакт с воздухом осуществляется по классической схеме. Поступление сточных вод меняет уровень жидкости в аэротенке. Вдоль направляющих движется поплавок, снабженный дозатором постоянного расхода сифонного типа. Через дозаторы, отрегулированные на среднечасовой расход, очищенная жидкость переливается в отстойник и через лотки отстоянная вода отводится за пределы.

Такая конструкция позволяет при существенных комбинациях расхода поступающей жидкости равномерно ее подавать на вторичные отстойники, что способствует уменьшению объема этих отстойников. Кроме того, аэрационная часть не находится под залповыми нагрузками и работает одновременно как усреднитель.

Приведенные системы для очистки малых количеств сточных вод, работающих с активным илом в режиме аэротенк – отстойник с принудительным его возвратом, рассчитывают обобщенным методом согласно [12].

При отсутствии данных о  $\rho$  его вычисляют по формуле:

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_{ex} C_0}{L_{ex} C_0 + K_L C_0 + K_0 L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \alpha_i},$$

где  $\rho_{\max}$  – максимальная скорость окисления для городских и близких к ним по составу сточных вод 85 мг/(г·ч);  $C_0$  – концентрация растворенного кислорода, мг/л;  $K_L$  – константа БПК, равная для городских сточных вод 33;  $K_0 = 0,5$  – константа кислорода;  $\varphi$  – коэффициент ингибиции для слабоконцентрированных стоков (равняется 0,07 г/г).

Количество возвратного активного ила:  $Q_b = \alpha Q / [(1000/i) - \alpha]$ , где  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/ч;  $i$  – иловый индекс, см<sup>3</sup>/г, принимается по [5;12] или на основе экспериментов.

Прирост активного ила определяют по эмпирической формуле:

$\Pi_p = 0,8 C_{en} + K_p L_{en}$ , где  $C_{en}$  – концентрация взвешенных веществ, мг/л;  $K_p$  – коэффициент прироста для городских вод 0,5, для высоких концентраций – 0,8.

**Пример 4.** Определить объем аэротенков и вторичных отстойников при исходных данных:  $Q = 1200$  м<sup>3</sup>/сут; доза активного ила  $\alpha = 5$  г/л;  $L_{en} = 200$  мг/л и  $L_{ex} = 15$  мг/л.

Определяем удельную скорость окисления при  $\rho = 85$  мг/(г·ч):

$$\rho = 85 \frac{15 \cdot 3}{15 \cdot 3 + 33 \cdot 3 + 0,5} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 5} = 18,7 \text{ мг/(г·ч).}$$

Необходимая продолжительность аэрации:

$$t_{aer} = \frac{200 - 15}{5 \cdot 0,7 \cdot 18,7} \sim 3 \text{ ч; } W = \frac{1200}{24} \cdot 3 = 150 \text{ м}^3.$$

Гидравлическая нагрузка, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч), определяется по формуле:

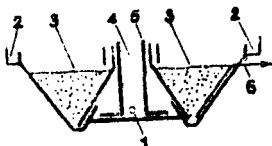
$$q = 8,33 \eta_0 H_{set}^{0,8} / (0,02 / \alpha_i)^{1,8-0,06\alpha},$$

где  $\eta_0$  – коэффициент использования отстойника (по [12] для вертикальных отстойников с периферийным выпуском  $\eta_0 = 0,5$ );  $H_{set}$  – рабочая глубина отстойной части, м (принимаем 3 м);  $i$  – иловый

индекс по [12] 100 см<sup>3</sup>/г;  $\alpha$  - концентрация ила в осветленной воде (вынос), принимаем 10 мг/л, тогда  $q = 31 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

$$\text{Рабочий объем отстойника: } W = \frac{\frac{1200}{24} \cdot 3}{31} = 5 \text{ м}^3.$$

Аэротенки – осветлители (разработанные в институте НИКТИГХ) рассчитывают для полной биологической очистки сточных вод с БПК<sub>полн</sub> до 500 мг/л и взвешенным веществом до 150 мг/л на средние и большие расходы до 1000 – 1400 м<sup>3</sup>/сут. Применение аэротенков – осветлителей позволяет сократить время аэрации. Из технологической схемы изымается отдельно стоящий вторичный отстойник, а также насосная станция циркуляционного активного ила.



**Рис.2.13** Аэротенк – осветлитель: 1 – подача сточных вод; 2 – отвод осветленных вод; 3 – зона осветления; 4 – зона аэрации; 5 – подача сжатого воздуха; 6 – выпуск избыточного ила.

Аэротенки – осветлители (рис. 2.13) – это прямоугольные в плане резервуары преимущественно с наклонными боковыми стенками. В таких аэротенках зона аэрации устраивается в центральной части сооружения, между зонами осветления. Зоны осветления отделены от зоны аэрации наклонными, не доходящими до дна перегородками, в верхней части которых устроены окна для перелива смеси активного ила и сточной воды из аэрационной зоны в зону осветления. Возле переливных окон устраиваются дегазационные щели, которые одновременно служат для создания нисходящего потока смеси. В нижней части зоны осветления между наружной стеной аэротенка и разделительной наклонной перегородкой образуется щель, через которую укрупненные хлопья активного ила возвращаются в зону аэрации.

В зону аэрации сжатый воздух подается через перфорированные трубы или диффузоры. Неочищенные сточные воды на очистку подают в нижнюю часть аэрационной зоны по всей длине по перфорированным трубам. Смесь при поступлении в нижнюю коническую часть осветлителя делится на два потока: первый устремляется в щель и с достаточно высокой скоростью поступает в аэрационную зону, второй – поднимает вверх и образует взвешенный слой. Осветленная вода с верхней зоны осветления лотками отводится

на обеззараживание. Избыточный ил из нижней части взвешенного слоя выпускается периодически на обработку. В зоне осветления, а именно во взвешенном слое наблюдаются интенсивные процессы окисления. По последним исследованиям в зоне осветления происходит также процесс денитрификации. Сооружения рассчитывают по гидравлической нагрузке на поверхность взвешенного слоя, а объем аэротенка как сумму объемов аэрационной, дегазационной и взвешенной частей.

Пропускная способность сооружения  $Q_{\max} = W_{\text{в.с}}q$ , где  $W_{\text{в.с}}$  – площадь поверхности взвешенного слоя ила,  $\text{м}^2$ ;  $q$  – гидравлическая нагрузка в объеме взвешенного слоя,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ :

Коэффициент неравномерности 1,15 1,2 1,25 1,35 1,4 и более  
 $q, \text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  0,96 0,98 1,01 1,05 1,08

Полный расчетный объем  $W = \frac{Q_{\max} (L_{\text{en}} - L_{\text{ex}})}{\alpha(1-S)\rho}$ , где  $\rho = 33$

$\text{мг}/(\text{г} \cdot \text{ч})$  – для городских и близких к ним по составу промышленных стоков. Прирост  $\Pi_p = Q \Delta L \alpha_{y\partial}$ , где  $\alpha_{y\partial}$  – удельный прирост активного ила при  $\rho = 33$ ,  $\alpha_{y\partial} = 0,69 \text{ г/г БПК}$ .

Расход воздуха определяется из условия  $Q_{\text{в}} = \Delta L Q' D$ , где  $Q'$  – часовой расход воздуха,  $D = 16 + 480 / \rho$  и при  $\rho = 33$ ,  $D = 30,5 \text{ м}^3/\text{кг БПК}_{20}$ .

Например, требуется определять объем аэротенка – осветлителя при исходных данных:  $Q = 1300 \text{ м}^3/\text{сут}$ ;  $L_{\text{en}} = 250 \text{ мг/л}$ ;  $L_{\text{ex}} = 12 \text{ мг/л}$ ;  $K_{\text{неп}} = 1,4$ .

Определяем пропускную способность:

$$W = \frac{1300 : 24}{1,08} = 50 \text{ м}^2;$$

$$Q_{\max} = 50 K_{\text{неп}} = 70 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Объем аэротенка – осветлителя (рабочий объем)

$$W = \frac{70(250 - 12)}{4 \cdot 0,7 \cdot 33} = \frac{16600}{92,4} = 178 \text{ м}^3.$$

В некоторых случаях по местным условиям, состоянию грунтовых вод для малых расходов экономично использовать низконапорные аэротенки. Разработаны ряд типовых аэротенков с низконапорной аэрацией (таблица 2.45).

Низконапорные аэротенки предназначены для очистки средних количеств промышленных сточных вод отдельно стоящих объектов. В низконапорных аэротенках, в основном коридорного типа, сточные воды подают по лотку вдоль коридора. Вода равномерно распределяется через пять выпусков. Возвратный активный ил попадают сосредоточенно в начало коридора. С противоположной стороны коридора, вдоль стены, на глубине 0,8 м от свободной поверхности расположены аэраторы из перфорированных труб. Перфорация на подачу 15 м<sup>3</sup>/ч воздуха на 1 м<sup>3</sup> объема аэротенка, что обеспечивает скорость окисления загрязнений до 50 г/(м<sup>3</sup>·ч).

**таблица 2.45**

**Параметры низконапорных аэротенков с двумя секциями**

Q, м <sup>3</sup> /сут	Размеры секций, м			Объем		Тип вентилятора
	Длина	Глубина	Ширина	Одной секции	Аэротенка, м <sup>3</sup>	
440	24	3,1	3,0	224	448	ЦВ-18 №8
770	39	3,1	3,0	363	726	ЦВ-18 №19
1100	30	4,3	4,5	580	1160	ВМ 500/1000-1Б

Активный ил вторичных отстойников (вертикальных), расположенных отдельно, возвращается в аэрационную зону. Избыточный активный ил подается на аэробную стабилизацию. Рассчитывают аэротенки по классическим формулам или по методике [5; 7; 12]. Результаты использования низконапорной аэрации в аэротенках при очистке сточных вод предприятий приведены в таблице 2.46.

**Таблица 2.46**

**Результаты работы низконапорных аэротенков**

Вода	Прозрачность, см	Взвешенные вещества, мг/л	БПК, мг/л	ХПК, мг/л	Активный ил, см <sup>3</sup> /г	Иловый индекс	Окислительная мощность, г/(м <sup>3</sup> ·сут)
Исходная	2,5	280	350	714	-	-	-
Очищенная	35	26	42	11	7	210	4
							700

Интенсификация процессов очистки сточных вод активным илом увеличенными дозами сказывается на работе вторичных отстойников: усиливается вынос активного ила и ухудшается качество воды.

Увеличение дозы активного ила в аэрационной части аэротенков возможно при использовании многоярусных илоотделителей трубчатых или плоскостного типа. Массообменные процессы лучше протекают в аэротенках шахтного типа, применяемых для очистки малых количеств стоков. Шахтные аэротенки занимают малые земельные участки, однако их строительство дорогостоящее.

Разработаны шахтные аэротенки U - образной формы глубиной до 100 м с одновременной подачей воды и воздуха. Смесь движется в нисходящем потоке с продолжительностью аэрации 1,26...2 ч, БПК исходной воды составляет 1500...1800 мг/л, очищенная вода имеет БПК 18...40 мг/л, что значительно превышает скорость потребления кислорода в обычных аэротенках. Увеличение массообменных процессов связано с тем, что кислород в данном сооружении находится в напорном режиме и его растворение усиливается. Наиболее экономичен этот процесс в колонных аэротенках. Разработан проект колонных аэротенков на малые расходы и применен для очистки сточных вод домов отдыха, пионерских лагерей, населенных мест и т.д. (рис. 2.14).

Конструкция колонного аэротенка (НИКТИГХ) сочетает в себе работу зоны аэрации и взвешенного слоя и позволяет компоновать их на разные производительности. Разработан проект колонного аэротенка на производительность 60...200 м<sup>3</sup>/сут. Данная установка работает следующим образом (рис. 2.14): неочищенные сточные воды после первичных отстойников поступают в нижнюю часть аэрационной зоны по трубопроводу 1 и перемешиваются с воздухом, подаваемым по трубопроводу 3, и с активным илом, поступающим через рециркуляционные зоны. С аэрационной зоны смесь сточных вод и активный ил через переливные окна и регуляторы расхода устремляются в дегазационную камеру. Далее смесь активного ила и сточных вод поступает в многоярусные зоны взвешенного слоя, где происходит очистка сточных вод. Осветленная

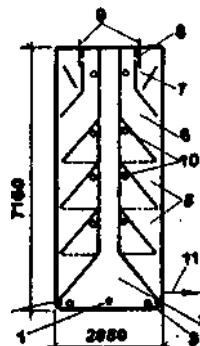


Рис. 2.14 Колонный аэротенк производительностью 100 м<sup>3</sup>/сут  
1-Подача сточных вод;  
2 - зона аэрации; 3 - сжатый воздух; 4 - зона рециркуляции активного ила; 6 - зона взвешенного активного ила; 7 - зона дегазации; 8 - переливные окна; 9 - щиберы; 10 - отвод очищенных вод; 11 - эрлифт-ное удаление избыточного ила

вода собирается в защитной зоне и отводится по выпускным трубам 10. возвратный активный ил по наклонным пластинам сползает и собирается в зоне рециркуляции, затем поступает в зону аэрации и так цикл работы повторяется. Избыточный активный ил выпускается по трубопроводам 11 на обработку. Нагрузка на ил в колонных аэротенках составляет 0,685 г/(г.сут); скорость окисления 28 (максимальная 55) мг/(г.сут); стоимость очистки 1 м<sup>3</sup> сточных вод 2,25 коп. Допустимая БПК20 неочищенных вод – 500 мг/л и взвешенных веществ – 160 мг/л, концентрация активного ила в системе – 4...6 мг/л. Расчет колонного аэротенка предусматривает определение его объема, времени аэрации, проектной скорости окисления, расхода воздуха и избыточного ила.

Продолжительность обработки сточных вод в колонном аэротенке  $t = (L_{en} - L_{ex}) / [\alpha(1 - S)\rho_{max}]$ ;  $W = Q / q$ ,

где  $q$  – гидравлическая нагрузка на поверхность взвешенного слоя в часы максимального притока; принимается  $q = 0,9 \dots 1 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  или  $W_{k.a.} = Qt$ . Максимальная скорость окисления:

$$\rho_{max} = (L_{en} - L_{ex})Q_{max} / [\alpha(1 - S)W_u],$$

где  $W_u$  – объем, занимаемый илом;  $W_u = W_{k.a.} - W_{3.3}$ ;  $W_{3.3}$  – объем защитной зоны, м<sup>3</sup>.

Необходимое количество воздуха, подаваемое в зону аэрации,

$$Q_{\Delta} = Q_e \Delta L \Delta / 1000 K,$$

где  $\Delta$  – удельный расход на 1 кг удаляемых загрязнений, принимаемый равным 22 м<sup>3</sup>/кг. БПК<sub>5</sub>;  $K = K_1/K_2$  – коэффициенты, учитывающие  $K_1$  – скорость растворения кислорода и  $K_2$  – глубина установки аэратора. Для нашего случая  $K_2 = 2,52$  и  $K_1 = 0,5$ ;

$$K = \frac{0,5}{2,52} = 0,2.$$

Количество циркуляционного активного ила или прирост  $\Pi_p = Q \Delta L \Pi_{p.kd}$ , где  $\Pi_{p.kd}$  – удельный прирост активного ила на 1 г удаляемой БПК<sub>5</sub> (принимается  $\sim 0,8 \text{ г/г БПК}$ ).

**Пример 5.** Рассчитать объем и основные технологические параметры аэротенка колонного типа по исходным данным:  $Q = 300 \text{ м}^3/\text{сут}$ ;  $L_{en} = 380$  и  $L_{ex} = 15 \text{ мг/л}$ .

Определяем продолжительность аэрации:

$$t = \frac{380 - 15}{6(1 - 0,27)55} = 1,52 \text{ ч},$$

где 6 – доза активного ила; 0,27 – зональность ила в долях единиц.

Необходимый объем

$$W = \frac{300}{24} \cdot 1,52 = 20 \text{ м}^3.$$

Необходимое количество воздуха

$$Q_{\text{вз}} = \frac{12,5 \cdot 0,375 \cdot 22}{1000 \cdot 0,2} = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Объем избыточного ила Пр = 300. 0,365. 0,8 = 87 кг/сут.

Устройство загрузок в аэротенках подобно биофильтрам интенсифицирует их работу за счет увеличения объема биопленки, сукцессии и многократного контакта, гидродинамики.

Были разработаны и внедрены вертикальные стеклоерши, увеличивающие объем и поверхность биомассы. Аэротенки с загрузкой из стеклоершей эксплуатируются на ряде промышленных объектов для очистки сточных вод на расход 100 м<sup>3</sup>/сут, 200 и 500 м<sup>3</sup>/сут.

Фиксированный биоценоз способствовал созданию аэротенков с пластическими загрузками и биотенков. Внедрена новая конструкция аэротенков с трубчатой загрузкой из пластмассовых, стеклянных, асбестоцементных, бамбуковых трубок.

Недостаток классических аэротенков - необходимость устройства компрессорных и насосных станций, вторичных отстойников, трубопроводов и устройств для регенерации активного ила. Устраняется это созданием аэротенков со взвешенным слоем и устройством загрузок в аэрационной зоне.

Трубчатый аэротенк содержит три зоны очистки сточных вод: аэрационную, сорбционную и осветления. Новое в этой конструкции - устройство самостоятельной сорбционной зоны со встроенной под 45° трубчатой загрузкой диаметром 32...38 мм (пластмассовые трубы ТУ № 6.19.222.83). Загрузка позволяет удерживать прикрепленный биоценоз до 30 кг/м<sup>3</sup>. Технологическая схема трубчатого аэротенка апробирована в реальных условиях на городских сточных водах в течение трех лет. Соотношение аэрационной, сорбционной и зоны осветления составляет 30:50:20.

### 2.9.3. Нитрификация

Нитрификация производится в сооружениях, аналогичных аэротенкам. Отличие заключается в поддержании характерных для процесса параметров: органической нагрузки на активный ил менее

150 мг/(г.сутки), возраст активного ила около 30 суток, рН более 7. Наиболее эффективны для этой цели аэротенки полного окисления.

Достоинством аэротенков полного окисления является также то, что в них протекают процессы денитрификации, эффективность которой может достигать 60-80%.

ЦНИИЭП инженерного оборудования на основе собственных разработок уже с 1974 г. начал внедрение аэротенков полного окисления, а в 1989 г. - на очистных сооружениях Зашекснинского района г. Череповца производительностью 100 тыс. м<sup>3</sup>/сутки - с использованием одностадийного процесса нитри-денитрификации, где для углубления процесса применена затопленная загрузка с прикрепленной микрофлорой. В последние годы практическое применение этот метод находит на московских станциях аэрации. Так, на одном из блоков Люберецкой станции аэрации производительностью около 250 тыс.м<sup>3</sup>/сутки был осуществлен процесс одностадийной нитри-денитрификации /24/. Авторы не называют процесс, проходящий в аэротенке, режимом полного окисления (или продленной аэрации), но указанные технологические параметры (органическая нагрузка 130-150 мг/(г.сутки), возраст ила от 20 до 40 суток, качество очищенной воды) свидетельствуют о работе аэротенка в этом режиме.

При условии осуществления нитрификации в аэротенке необходимо учитывать дополнительный расход кислорода из расчета 4,6 мг О<sub>2</sub> на 1 мг окисленного азота. Прирост беззольного вещества бактерий-нитрификаторов составляет примерно 0,16 мг на 1 мг окисленного азота.

На 1 мг окисленного азота используется 8,7 мг щелочности. Поэтому в сточной воде с низкой щелочностью, как это наблюдается практически во всех населенных пунктах Западно-Сибирского региона, процесс нитрификации при биологической очистке не может идти полностью, а рН воды снижается до 5 и ниже.

Для проведения глубокого процесса нитрификации наиболее рационально применение прикрепленной микрофлоры. При этих условиях обеспечивается снижение содержания аммонийного азота до 0,5 мг/л.

#### **2.9.4. Денитрификация**

Удаление из воды окисленных форм азота - нитритов и нитратов, образующихся при нитрификации, осуществляют в денитрификаторах. Денитрификаторы - резервуары различной в плане формы, в которых обеспечивается перемешивание иловой смеси и сточной воды без подачи кислорода воздуха.

В условиях дефицита оборудования для перемешивания жидкости с легкоосаждаемой взвесью применяются комбинированные системы перемешивания: механические скребки

с гидравлическими мешалками, вертикальные мешалки с погруженными лопастями. В настоящее время безусловное преимущество получили погруженные лопастные мешалки с горизонтальной осью вращения и погружные насосы осевого типа. Мешалки могут эффективно перемешивать жидкость и в коридорных резервуарах, и в цилиндрических. При этом расход мощности составляет около 1 кВт на 100 м<sup>3</sup> жидкости при глубине резервуара до 5 м. Насосы целесообразно устанавливать в перегородках между коридорами технологических емкостей различного назначения (нитрификатор - денитрификатор - анаэробная зона и т.п.)

Денитрификацию можно осуществлять как в сооружениях со взвешенным активным илом, так и в установках с прикрепленной микрофлорой.

Для глубокого удаления соединений азота из сточных вод применяется раздельное удаление азота аммонийного в нитрификаторе и азота нитритов и нитратов - в денитрификаторе. Могут применяться различные схемы (Рис.2.15), в которых денитрификация может осуществляться в начале, в середине или в конце сооружений. Чаще всего применяется схема: денитрификатор, нитрификатор, вторичный отстойник с рециркуляцией активного ила из нитрификатора в денитрификатор, в который подается исходная сточная вода. В этом случае для глубокого удаления окисленных форм азота необходима очень высокая степень рециркуляции активного ила: расход иловой смеси из нитрификатора в денитрификатор достигает 300-400%, а циркуляционного ила из вторичного отстойника - 100% от притока сточной воды.

Процесс биологической нитрификации – денитрификации является сравнительно недорогим и экологически чистым.

## **2.9.5. Удаление фосфатов биологическим методом**

В технологических схемах удаления фосфора биологическим способом используются анаэробные, аноксичные и аэробные сооружения.

Сооружения для осуществления аэробных процессов описаны выше. Анаэробные и аноксичные реакторы оформляются конструктивно и технологически как упомянутые выше нитрификаторы.

В настоящее время наибольшее применение могут найти двухпоточные схемы удаления фосфора (как правило, в комбинации с биологическим удалением азота):

- реагентное осаждение из циркуляционного потока иловой смеси - процесс Phostrip (Рис. 2.16);

- удаление с избыточным активным илом при использовании на стадии первичной обработки сточной воды ацидофикатора (Рис.2.17).

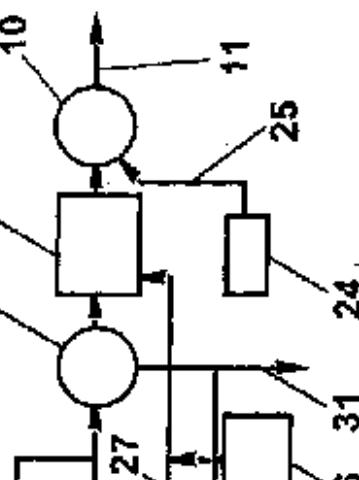
Для осуществления метода Phostrip необходимы анаэробный реактор, уплотнитель и отстойник. В анаэробном реакторе обработке подвергается циркуляционный поток активного ила из вторичного или третичного отстойников. Продолжительность пребывания в анаэробном реакторе составляет около 6 ч по расходу циркуляционного ила, который принимается равным от 5 до 25% от среднего притока сточной воды. Иловая смесь после анаэробного реактора разделяется в уплотнителе. Осветленная вода после уплотнителя обрабатывается раствором извести дозой 150 -200 мг/л по CaO и отстаивается. Продолжительность отстаивания 1,5 ч.

При удалении фосфатов с избыточным активным илом в технологическую схему включается ацидофикатор. Ацидофикатор представляет собой анаэробный резервуар, как правило, круглой в плане формы, высота которого должна быть больше диаметра (Рис. 2.18).

Ацидофикатор может встраиваться в первичный вертикальный или радиальный отстойник, образуя отстойник-ацидофикатор. Верхняя проточная часть рассчитывается на продолжительность отстаивания воды 2 ч, нижняя - на продолжительность обработки осадка 3-4 суток. Сточная вода подается в центральную коническую часть сооружения, постоянно перемешивая осадок, который насосами возвращается в поступающую сточную воду.

Перспективной является схема ацидофикации осадка из биокоагулятора, в который подается избыточный активный ил и происходит интенсивная сорбция активным илом органических загрязнений.

Биокоагулятором может быть аэрируемая песколовка с продолжительностью пребывания сточной воды 5-6 мин. Продолжительность отстаивания после биокоагулятора составляет 1 ч. Регулируемое количество осадка с активным илом (до 20%) подается в ацидофикатор, рассчитанный на продолжительность пребывания до 12 ч. Часть осадка возвращается в биокоагулятор для более полного выделения грубодисперсных загрязнений, осветленная вода подается в анаэробную зону для дальнейшей очистки.



Биологической очистки сточных вод  
процесс Rhoostrip

10 – подача сточных вод; 11 – насос; 12 – первичный отстойник; 13 – первичный фильтр; 14 – вторичный фильтр; 15 – вторичный отстойник; 16 – третичный фильтр; 17 – третичный отстойник; 18 – утилизационный бак на осветленную воду из утилизатора; 19 – утилизатор; 20 – осветленная вода из фильтр-танка; 21 – раствор извести; 22 – раствор фторида натрия; 23 – раствор на гипсокальций; 24 – раствор на гипсокальций; 25 – раствор на гипсокальций; 30 – осадок из первичного фильтр-танка.

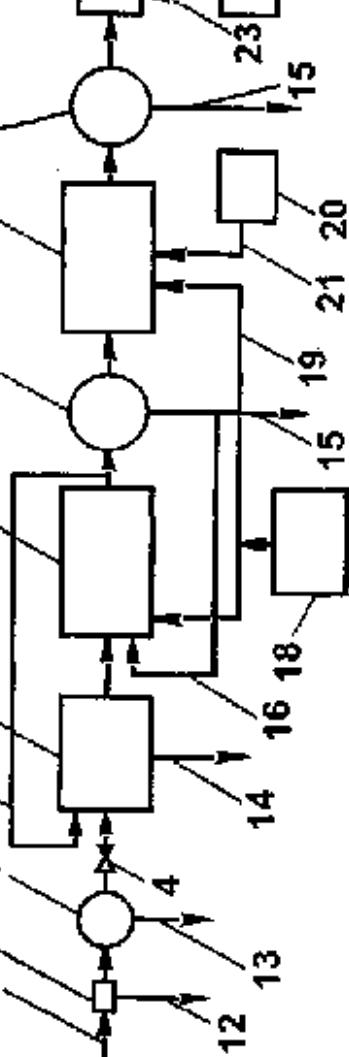


Рис. 2.15 Принципиальная технологическая схема биологической очистки сточного вод с биологическим удалением азота и химическим удалением фосфора

1 – подача сточных вод; 2 – насос; 3 – решетка; 4 – песколовка; 5 – первичный отстойник; 6 – вторичный фильтр; 7 – аэротенк; 8 – резервуар для отработанной воды; 9 – отборы с решетки; 10 – контактный резервуар; 11 – выпуск очищенной воды; 12 – контактный фильтр; 13 – отстойник; 14 – контактный фильтр; 15 – осадок; 16, 17 – контактный фильтр; 18 – контактный фильтр; 19 – компрессорная; 20 – сжатый воздух; 21 – реагентное хозяйство; 22 – компрессор; 23 – дозатор реагентов; 24 – дозатор реагентов; 25 – дозатор реагентов

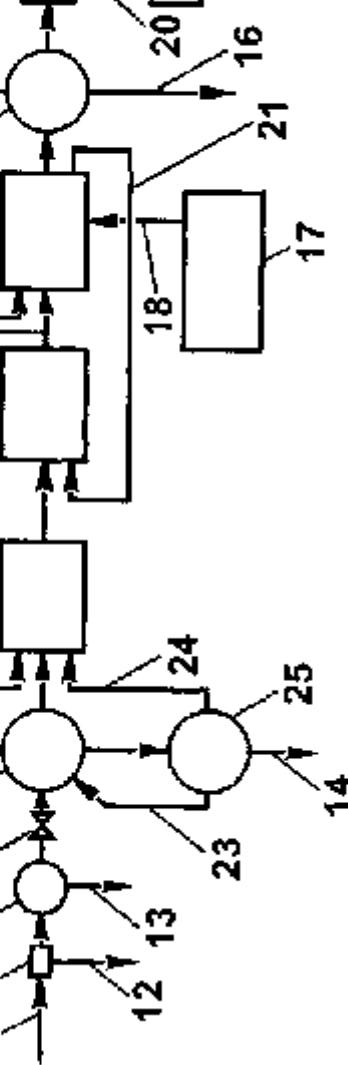


Рис.2.17 Принципиальная технологическая схема биологической очистки сточных вод с биологическим удалением азота и фосфора

1 – подача сточных вод; 2 – решетка; 3 – песчанка; 4 – песколовка; 5 – первичный отстойник; 6 – аэротен-нитрифициатор; 7 – донорент-нитрифициатор (аноксичная зона); 8 – аэротен-нитрифициатор; 9 – вторичный отстойник; 10 – конактный резервуар; 11 – выпуск очищенной воды; 12 – отбросы с решеток; 13 – песок из решеток; 14 – осадок на обработку; 15 – циркуляционный активный ил; 16 – избыточный активный ил; 17 – компрессор; 18 – сжатый воздух; 19 – установка для приготовления дезинфектанта; 20 – дезинфектант; 21 – рециркуляция нитрифицированной иловой смеси; 22 – рециркуляция дезинфицированной смеси; 23, 24 – рециркуляция надиловой воды; 25 – аэрификация гор

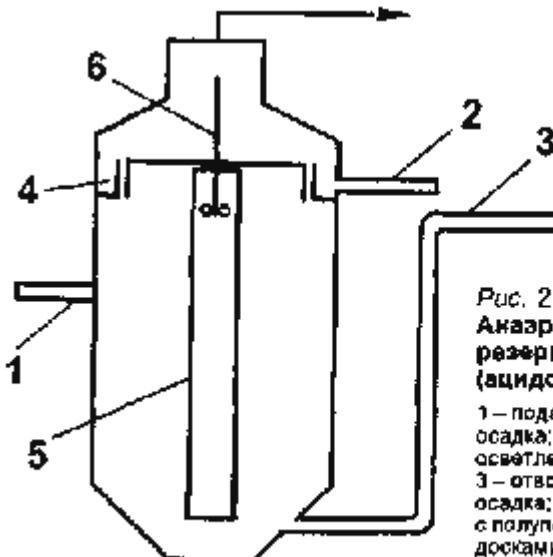


Рис. 2.18  
Анаэробный  
резервуар  
(ацидофикатор)

1 – подача исходного осадка; 2 – отвод осветленной воды; 3 – отвод обработанного осадка; 4 – сборные лотки с полупогруженными досками; 5 – центральная труба; 6 – шнековая мешалка

### 3. Источники образования осадков, их количество и состав.

Загрязнения, находившиеся в сточных водах в относительно разбавленном виде, при очистке сточных вод задерживаются, концентрируются и образуют осадок.

В зависимости от технологической схемы очистки возможно выделить несколько видов осадков:

- осадок (отбросы) с решеток;
- осадок (песок) из песколовок;
- осадок из первичных отстойников («сырой» осадок);
- осадок из первичных отстойников с коагулянтами или флокулянтами;
- избыточный активный ил после биологической очистки в аэротенках;
- избыточная биопленка после биологической очистки в биофильтрах;
- активный ил с коагулянтами или флокулянтами;
- смеси осадков и илов.

Загрязнения сточных вод могут переходить в осадок, не изменяя своего химического состава и структуры (это осадок с решеток, из песколовок, из первичных отстойников), и с изменением состава и структуры (избыточный активный ил или избыточная биопленка, осадки после реагентной обработки воды и т.п.).

Объем образующихся в процессе очистки осадков в зависимости от принятой технологической схемы составляет 0,5-10% от объема сточной воды.

Активная реакция среды в осадках колеблется в пределах 6-8, температура - 12-20° С. Во всех видах осадка (кроме отбросов с решеток и осадка из песколовок) содержится 90-99% жидкости, которая состоит из свободной (60-70%), коллоидно – связанной (20-30%) и гигроскопической (4-10%) воды. Свободная вода отделяется от осадка простой фильтрацией или отжимом, коллоидно связанная вода может быть частично переведена в свободную при коагуляции или флокуляции или при термической обработке. Гигроскопическая вода удаляется только при сжигании осадка. Удаление из осадка только свободной воды недостаточно для того, чтобы осадок приобрел влажность, при которой его можно транспортировать на плоских поверхностях (менее 83%), и необходимо, как правило, удалять еще до 30% коллоидно связанной воды.

Влажность отбросов, снимаемых с решеток, составляет 80%, объемная масса 750 кг/м<sup>3</sup>. Осадок, задерживаемый в песколовках, состоящий в основном из минеральных частиц (песка), имеет зольность от 70 до 90%, влажность около 60%, объемную массу 1500 кг/м<sup>3</sup>.

Осадки из первичных отстойников представляют собой студенистую массу и отличаются большой неоднородностью состава, что обусловлено разнообразием условий эксплуатации очистных сооружений и канализуемого объекта. В осадке находятся частицы размерами 5-10 мм и менее 1 мкм. Большую часть этих осадков составляют органические вещества (60-70%), в них содержатся соединения железа, алюминия, кремния, кальция, магния, калия и т.д. Осадки могут содержать токсичные и канцерогенные вещества, в том числе соли тяжелых металлов, синтетические ПАВ и др. Содержание этих веществ определяется наличием в хозяйствственно-бытовых сточных водах примесей производственных стоков. Из-за большого количества органического вещества осадки из первичных отстойников быстро загнивают. Средняя влажность осадка первичных отстойников 93-95%.

Размеры частиц активного ила не превышают 3 мм, а основная масса частиц (98%) имеет размер менее 1 мм. Избыточный активный ил и избыточная биопленка состоят в основном из органического вещества, количество которого в зависимости от режима работы

сооружений колеблется от 65% для аэротенков полного окисления до 75% для высоконагруженых сооружений. Влажность активного ила, удаляемого из вторичных отстойников, довольно высока: после аэротенков -99,2-99,7%, после биофильтров - 96-96,5%.

Осадок в значительной степени загрязнен патогенными бактериями, яйцами гельминтов, цистами простейших, поэтому опасен в санитарно-эпидемиологическом отношении и требует обеззараживания.

Как видно из показателей влажности, в осадках содержится большое количество воды, большая часть которой находится в связанном состоянии. Поэтому осадки обладают плохой водоотдачей. При загнивании осадков увеличивается количество коллоидных и мелкодисперсных частиц, что ведет к дальнейшему ухудшению водоотдачи.

Способность осадка отдавать воду характеризуется величиной удельного сопротивления фильтрованию, которое для осадков первичных отстойников составляет, как правило,  $(200-400) \times 10^{10}$  см/г, хотя колебания этой величины велики  $-(30-1000) \times 10^{10}$  см/г. Удельное сопротивление активного ила выше, колеблется от  $75 \times 10^{10}$  до 8000  $\times 10^{10}$  см/г и быстро возрастает с увеличением его концентрации. Удельное сопротивление смеси осадка первичных отстойников и активного ила ниже, чем удельное сопротивление только активного ила.

Показатель удельного сопротивления используется при расчете оборудования для обезвоживания осадка. Для вновь строящихся очистных сооружений данных об удельном сопротивлении нет и следует пользоваться указаниями нормативных документов; при реконструкции существующих сооружений для обработки осадков совершенно необходимо определить этот показатель.

### **3.1. Методы обработки осадков**

Обработка и утилизация осадка в нашей стране является одной из самых острых и актуальных проблем.

Органами санитарно-эпидемиологического надзора и охраны природы предъявляются очень жесткие, часто практически невыполнимые, требования к качеству очищенной воды, которое может превышать качество воды водоема-приемника, и одновременно некоторые населенные пункты открыто сбрасывают избыточный активный ил и другой осадок в те же водоемы, что в значительной степени снижает или сводит на нет экологический эффект, получаемый при очистке сточных вод. В результате такой экологической политики многие очистные станции не имеют полной мощности сооружений по обработке осадка.

В настоящее время применяется много различных методов по обработке осадков с целью их последующего использования в хозяйственной деятельности или ликвидации. При обработке осадков достигается их стабилизация (или минерализация), обезвоживание (уменьшение объема) и обеззараживание. Применение одного какого-либо метода, как правило, не позволяет решить общую проблему, и приходится использовать сочетание методов применительно к конкретному составу сточных вод, технологической схеме очистки, условиям эксплуатации очистных сооружений и практической возможности использования осадков. В табл. 31 приведены возможности наиболее распространенных методов обработки осадков, которые следует рассматривать как отдельные процессы в схемах полной обработки осадков.

Для уменьшения объема активного ила, образующегося на очистных сооружениях, используется его уплотнение. Уплотнение одновременно с уменьшением объема приводит к увеличению удельного сопротивления и, следовательно, к снижению эффективности обезвоживания. Активный ил без уплотнения из-за его малой концентрации обезвоживать нерационально с экономической точки зрения, но учитывая, что его удельное сопротивление при уплотнении возрастает очень резко, следует выбирать оптимальную степень уплотнения. Наиболее распространенным и экономичным методом уплотнения осадка является гравитационное уплотнение в илоуплотнителях различных конструкций. Продолжительность уплотнения от 5 до 15 часов, влажность активного ила после уплотнения составляет 97-98%.

Другим способом уплотнения является флотационное сгущение, осуществляемое методом напорной флотации при непосредственном насыщении воздухом осадка или при насыщении рециркулирующей части осветленной воды. Влажность уплотненного этим методом активного ила составляет в среднем 94,5-96,5%. Флотационное уплотнение из-за относительно сложной технологии применяется редко, и расчетные параметры установок следует определять экспериментально.

Стабилизация осадка различными методами применяется для предотвращения его загнивания при хранении в естественных условиях, а также для уменьшения объема осадка в результате разложения органического вещества.

Стабилизация или минерализация органического вещества осадка может осуществляться в анаэробных условиях (метановое брожение) и в аэробных условиях (окисление органического вещества бактериями при аэрации осадка воздухом).

**Таблица 3.1****Методы обработки осадков**

Метод	Результат обработки		
	обезвоживание	стабилизация	Обеззараживание
Гравитационное уплотнение	+	-	-
Флотация	+	-	-
Анаэробное сбраживание мезофильное	-	+	-
термофильное	-	+	+
Аэробная стабилизация	-	+	-
Компостирование	-	+	+
Сушка на иловых площадках	+	-	-
Вакуум-фильтрация	+	-	-
Фильтр-прессование	+	-	-
Центрифugирование	+	-	-
Тепловая обработка	-	+	+
Термическая сушка	+	+	+
Сжигание	+	+	+

Сбраживание осадка в метантенках осуществляется в мезофильном (при 33° С) или термофильном (53° С) режимах, что определяется способом дальнейшей обработки осадка. Для нормальной работы метантенков осадок в них должен поступать равномерно и при сбраживании подогреваться до заданной температуры. Количество осадка, подаваемого ежесуточно в метантенки, должно составлять при мезофильном режиме 7-10% от объема метантенка, при термофильном режиме - 14-19% в зависимости от влажности сбраживаемого осадка, т.е. продолжительность сбраживания в мезофильных условиях 10-14 суток, в термофильных - 5-7 суток. Величина максимально возможного сбраживания для разных по химическому составу осадков в среднем составляет для осадка первичных отстойников до 53%, для активного ила - до 44%.

При сбраживании осадка в метантенках образуется метан-содержащий газ, весовое количество которого составляет примерно 1 г на 1 г разложившегося органического вещества, теплотворная способность - 5000 ккал/м3.

В состав газа входят: метан (до 70%), углекислый газ, азот, водород, окись углерода. Получаемый газ после соответствующей обработки может использоваться для получения тепла для подогрева метантенков. Термофильное сбраживание требует большего расхода тепла, а образующийся осадок плохо отдает воду и требует более тщательной подготовки к обезвоживанию, чем осадок, полученный в мезофильных условиях. С другой стороны, при термофильном сбраживании происходит обеззараживание осадка.

Сбраживание в метантенках - процесс довольно сложный в конструктивном исполнении и в обслуживании, требует больших капитальных и эксплуатационных затрат, образующийся газ взрывоопасен. Объем метантенков может достигать 25% объема всех очистных сооружений. Однако до сих пор сохранился большой удельный вес метантенков среди сооружений по обработке осадка на очистных станциях, построенных 25-30 лет назад, когда этот метод был наиболее изученным и широко применяемым.

Процессы анаэробного сбраживания до сих пор детально изучаются с целью сокращения продолжительности сбраживания, повышения выхода биогаза и увеличения в нем содержания метана, улучшения водоотдающих свойств сброшенного осадка. Основными путями интенсификации технологии анаэробного сбраживания являются: оптимизация исходной влажности осадка и нагрузки на метантенки; конструктивное разделение двух свойственных процессу фаз - кислого брожения и метанового брожения - на две и более ступени; повышение температуры сбраживания и улучшение условий перемешивания содержимого метантенков.

При фазовом разделении анаэробного сбраживания на две и более ступеней общая продолжительность процесса может быть сокращена до 3-4 суток. В целом анаэробное сбраживание целесообразно применять для крупных очистных станций.

Процесс аэробной стабилизации осадка значительно проще и безопаснее анаэробных процессов и конструктивно, и в эксплуатации. Аэробная стабилизация осуществляется в резервуарах типа аэротенков при длительной аэрации осадка воздухом. При аэробной стабилизации осадки приобретают хорошую водоотдачу. Стабилизации подвергаются, как правило, активный ил или смесь активного ила с осадком первичных отстойников. Процесс при температуре около 20° С длится от 2 до 15 суток в зависимости от вида осадка. При изменении температуры на 10° С аналогично другим биологическим процессам продолжительность стабилизации изменяется в 2-2,5 раза. Длительность процесса зависит от состава осадка, температуры, интенсивности аэрации и необходимой степени распада

органического вещества для получения максимальной зольности и улучшения водоотдачи. Распад органического вещества колеблется в широких пределах в зависимости от свойств осадка: от 5 до 50%.

Расход воздуха, подаваемого в аэробные стабилизаторы, принимается 1-2 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>3</sup> объема стабилизатора. Интенсивность аэрации - не ниже 6 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>/ч) для поддержания осадка во взвешенном состоянии.

Объем аэробного стабилизатора  $W$  для активного ила определяется из соотношения:

$$W = GT/C$$

где:  $G$  - суточное количество сухого вещества осадка, подаваемого в стабилизатор, т/сутки;

$T$  - требуемая продолжительность сбраживания (в сутках);

$C$  - концентрация сухого вещества, поддерживаемая в сооружении, т/м<sup>3</sup>.

Для увеличения концентрации осадка в стабилизаторе выделяется успокоительная зона, из которой отводится иловая вода. Более высокой концентрации (до 20 г/л) можно достичь сочетанием аэробного стабилизатора и уплотнителя, связанных аналогично аэротенку и вторичному отстойнику системой возврата осадка. Влажность осадка после аэробной стабилизации 98-99%, а из уплотнителя - 96,5-97%. Такая система применена в ряде проектов ЦНИИЭП инженерного оборудования.

В аэробных стабилизаторах используется пневматическая аэрация, так как механические аэраторы частично разрушают хлопья осадка, что ухудшает его водоотдающие свойства.

После аэробных стабилизаторов осадок направляется для подсушивания на иловые площадки или на механическое обезвоживание, иловая вода - в аэротенки.

Основным, наиболее часто применяемым методом обезвоживания осадка является подсушивание его на иловых площадках. Иловые площадки еще долго будут использоваться в практике очистки сточных вод, особенно на очистных сооружениях небольшой производительности. Даже при строительстве на больших станциях цехов механического обезвоживания осадка со сложными и трудоемкими процессами иловые площадки обязательно предусматриваются как аварийные сооружения.

На иловых площадках осуществляется уплотнение осадка и удаление жидкости с поверхности, фильтрация ее через слой осадка, удаление с помощью дренажа, испарение с поверхности осадка.

Применяются различные типы иловых площадок: на естественном основании с дренажом или без дренажа, на искусственном асфальтобетонном основании с дренажом, каскадные с отстаиванием и удалением воды с поверхности.

Нагрузка на иловые площадки в зависимости от климатических условий, вида осадка, метода его предварительной подготовки и типа иловых площадок составляет 0,8-2,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> в год.

**Таблица 3.2**

**Технические характеристики осветлителей-перегнивателей**

Диаметр, м	Высота конической части, м	Рабочий объем сооружения, м <sup>3</sup>	Показатели	Температура сточных вод или осадка, °С			
				10	12	15	20
5	1,45	120,4	Время брожения, сут				
6	1,74	176,3	Объем камеры брожения, л/чел.	70	53	35	18
7	2,03	244	Суточная доза загрязнения, %	1,28	1,7	2,57	5

**Примечание.** Доза загрузки принята при влажности 95 %, при других значениях табличные данные следует умножить на отношение  $[5 / (100 - P_{mud})]$ .

Допустимая скорость движения воды в зоне осветления рекомендуется 1 мм/с. Необходимо отметить, что температура осадка в септической части изменяется в зависимости от температуры сточных вод. Температура осадка отдельно стоящего перегнивателя значительно ниже, чем в осветлителе-перегнивателе. При температуре сточных вод зимой 14...16 °С, летом 18...22, в среднем за год 17,8 °С температура бродящего осадка в септической части колеблется незначительно и в среднем составляет 17,6, т.е. на 0,2 °С ниже воды, а в отдельно стоящем сооружении температура этой массы доходит до 6 °С, что требует дополнительных затрат для завершения процесса. Расчет осветлителя-перегнивателя ведется раздельно: вначале осветлителя, а затем септической камеры. По расчетным параметрам подбирают типовые осветлители – перегниватели.

**Пример 1.** Рассчитать осветлитель-перегниватель. Исходные данные: - концентрация взвешенных веществ 300 мг/л;  $Q = 1200 \text{ м}^3/\text{сут}$ ; среднезимняя температура сточных вод 12 °C; количество обслуживаемого населения 6000 чел. при норме 200 л/сут.

Количество сухого осадка, образующегося в осветлителе,

$$\text{при эффекте осветления } 70\% \text{ составит } W = \frac{QC\mathcal{E}}{100n},$$

где  $Q$  – количество сточных вод,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;  $C$  – концентрация взвешенных веществ,  $\text{мг/л}$ ;  $\mathcal{E}$  – эффект работы осветлителя,  $\%$ ;  $n$  – количество сооружений (принимаем  $n = 2$  шт);

$$W_{oc} = \frac{1200 \cdot 300 \cdot 70}{100 \cdot 2} = 0,126 \text{ т/сут},$$

или при переводе на осадках с содержанием 95 % воды

$$W_{oc} = \frac{100 \cdot 0,126}{100 - 95} = 2,52 \text{ м}^3.$$

Требуемый объем перегнивателя при среднезимней температуре вод 12 °C и дозе загрузки 1,7 %:  $W_{nep} = \frac{100W_{oc}}{d}$ ,

где  $d$  – доза загрузки;

$$W_{nep} = \frac{100 \cdot 2,52}{1,7} = 148 \text{ м}^3.$$

Объем камеры брожения должен быть увеличен на 70 % для сбраживания биологической пленки после высоконагруженых биофильтров:

$$W_n = 1,7 \cdot 148 = 252 \text{ м}^3.$$

Для определения диаметра осветлителя-перегнивателя находим необходимый соответствующий объем осветления при 20-минутном осветлении:

$$W_{oc} = \frac{1400}{24 \cdot 60} \cdot 20 = 19,5 \text{ м}^3.$$

$$\text{Общий объем } W_{об} = 294 + 19,5 = 313,5 \text{ м}^3$$

При очистке сточных вод широко применяется стабилизация осадка преимущественно активного ила в аэробных условиях. Это можно объяснить простотой конструкций реактора и аппаратурного

оформления. Сооружение аэробной стабилизации проще, чем анаэробной, как в строительстве, так и в управлении процессом.

Аэробная стабилизация - это процесс окисления органических веществ в присутствии микроорганизмов и кислорода атмосферного воздуха, вводимого принудительно. Процесс аэробной стабилизации осадка с точки зрения кинетики распада органики аналогичен процессу окисления органических загрязнений в аэротенке. Поскольку данное сооружение работает на полное окисление, уместно для описания механизма процесса применение уравнения Моно, в котором именно учитывается сам процесс окисления.

Перечисленные преимущества делают приемлемым процесс аэробной стабилизации осадка для расходов до 1400 м<sup>3</sup>/сут, но согласно [5; 12] его можно применять для больших расходов. Поскольку продолжительность процесса зависит от начальной концентрации по БПК и объема образующегося осадка, то для малых расходов стабилизаторы получаются малыми и легко эксплуатируемыми. Продолжительность стабилизации осадка вторичных отстойников зависит от применяемого в аэротенках режима, т.е. при длительной аэрации активный ил уже частично проходит минерализацию и в стабилизаторы поступает с малыми начальными концентрациями, что уменьшает время его обработки. И наоборот, если время аэрации в аэротенках принято малым, то продолжительность стабилизации увеличивается. Таким образом, после биофильтров продолжительность стабилизации должна быть большем, чем после реакторов биологической очистки, работающих с активным илом.

Продолжительность стабилизации значительно увеличивается при совместной обработке осадка из первичных и вторичных отстойников в связи с изменением качества и количества вносимой органики. Так, согласно [5; 8; 12] продолжительность процесса стабилизации ограничена: для неуплотненного активного ила 2...5 сут; смеси осадка первичных отстойников и неуплотненного активного ила 6...7 сут; смеси осадка и уплотненного активного ила - 8...12 сут. Эти данные справедливы при оптимальной температуре 20 °C.

На процесс стабилизации осадков, как и на процесс биологического изъятия загрязнений, влияет наличие токсических, агрессивных и трудноокисляемых веществ концентраций больше допустимых.

Оптимальными считается температурный режим 20 °C; при снижении температуры до 8 °C процесс затухает, его продолжительность увеличивается в 2,5 раза, ухудшается водоотдача.

Аэробную стабилизацию можно осуществить в любом открытом сооружении, имеющемся на территории очистных сооружений: в отстойниках, уплотнителях. В качестве аэраторов для малых расходов целесообразны механические аэраторы-турбинные или струйные. Расчета эраторов аналогичен рекомендованным ранее (подразд. 4.4). Использовать пневматическую аэрацию неэкономично. При расчете аэраторов расход воздуха рекомендуется принимать 1...2 м<sup>3</sup> при необходимости и более на 1 м<sup>3</sup> обрабатываемого осадка за 1 ч. Уплотнение стабилизированного ила на малых станциях неэкономично. При аэробной стабилизации кишечная палочка уничтожается на 99 %, а яйца гельминтов не погибают, поэтому при больших объемах осадка в процессе тепловой обработки применяют дегельминтизацию. Использовать стабилизированный осадок в качестве удобрения не рекомендуется.

Для малых расходов процесс аэробной стабилизации необходимо контролировать по водоотдаче, т.е. по удельному сопротивлению осадка. Не всегда целесообразно увеличение продолжительности стабилизации, поскольку длительная аэрация измельчает частицы осадка и ухудшает их водоотдачу.

При минимальных значениях удельного сопротивления стабилизация будет неполной, поэтому при подсушке на иловых площадках осадок может загнивать, а это ухудшает его водоотдачу. Для исключения заболачивания иловых площадок устраивают дренаж. Осадок на современных малых очистных станциях стабилизируется применением биологических реакторов, работающих в режиме аэротенков -осветлителей со взвешенным слоем. В этих сооружениях в зоне взвешенного слоя происходит глубокое окисление, минерализация накопившихся загрязнений. Этот процесс аналогичен процессу стабилизации осадков (активного ила) после вторичных отстойников. Активный ил из взвешенного слоя имеет хорошую водоотдачу, иловые площадки работают успешно. При относительно больших объемах осадков необходимо устройство стабилизаторов, однако значительное содержание воды в активном иле и осадке создает определенные трудности, что удорожает схему очистки. При соответствующем обосновании для больших значений прироста активного ила может оказаться выгодным устройство илоуплотнителей.

Аэробная стабилизация на расход 1400 м<sup>3</sup>/сут применяется по технологической схеме, предусматривающей строительство в одном блоке с аэротенком и вторичным отстойником блока аэробной стабилизации, совмещенного с уплотнителем. В аэробный стабилизатор

одновременно подается осадок с первичного отстойника и активный ил со вторичного. После аэробной стабилизации в течение 5...8 сут смесь уплотняется, в течение 1,5...2 ч и направляется на иловые площадки для подсушивания. После подсушки смесь компостируется в бурты на срок до 2...3 мес. Нагрузка на иловые площадки с искусственным основанием и с дренажом при влажности осадка 97 % может быть принята до  $2,5 \text{ м}^3/\text{м}^2$  год). Надиловая вода из илоуплотнителя с концентрацией взвешенных веществ 100 мг/л и дренажная вода от иловых площадок направляется на повторную очистку в аэротенки. На больших станциях целесообразно применять сооружения механического обезвоживания. Рабочая температура и эффект обработки в стабилизаторе поддерживаются подачей сточных вод их первичных отстойников. Осадки, обработанные аэробной стабилизацией, подсыхают на иловых площадках быстрее, чем после анаэробного сбраживания. При выборе способа обработки осадков необходимо учитывать и тот факт, что если при анаэробной обработке в метантенках происходит дегельминтизация, то при аэробной обработке этот вопрос необходимо решать отдельно. Для малых расходов в этом случае применяют компактные установки, работающие аналогично реакторам, изображенным на рис. 4.31. Такая установка может быть изготовлена из бетона и металла; это резервуар с горизонтальной перегородкой, обеспечивающей два яруса: нижний - камера сбраживания осадка и активного ила, поступающего с верхнего яруса из вторичного отстойника. Верхний ярус работает в режиме аэротенка-осветлителя. Аэрация осуществляется механическим импеллерным аэратором как в зоне аэротенка, так и в каюре сбраживания. Неочищенные сточные воды поступают в приемную камеру и далее в камеру сбраживания, где взвешенные вещества отделяются от сточных вод. В верхней части камеры сбраживания вода насыщается кислородом механическим аэратором и смешивается с активный илом, который в осветлителе отделяется. Отстоянная вода уходит вне сооружения, а активный ил возвращается в камеру сбраживания. Удаляется избыточный ил один раз в два года. Второй способ предотвращения инфекционной опасности аэробно обработанного осадка - его компостирование. Расчет сооружений аэробной стабилизации заключается в определении рабочего объема сооружения, а остальные строительные параметры подбирают конструктивно. Объем реактора определяют продолжительностью аэробной стабилизации по формуле

$$t_1 = t201,08T - 20, \text{ где } t20 = 1 + 5L;$$

L - нагрузка по органике, г БПК/ г ила в сутки; Т- расчетная температура, °C.

При стабилизации смеси осадков из первичных и вторичных отстойников продолжительность процесса определяют по формуле где  $t_3$  - продолжительность стабилизации активного ила; В - соотношение по массе количества осадка из первичных отстойников к количеству избыточного ила.

Необходимое количество воздуха на стабилизацию активного ила определяют по формуле:

$$D = \frac{qG}{K_1 K_2 n_1 n_2 (C_p - C)} \text{ [м}^3 \text{ /сут]},$$

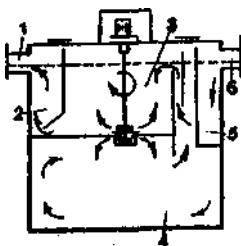
где  $q$  - удельный расход кислорода, кг/кг, органического вещества активного ила, принимаемый в зависимости от концентрации осадка:

Концентрация осадка, г/л... до 15 15...20 20...25 30 и выше  
Коэффициент  $K_2$  ..... 0,75 0,65 0,55...0,5 0,4...0,3 ...0,6

$G$  - количество органического вещества осадка, кг/сут.

Остальные данные аналогичны расчету объема воздуха в аэротенках. Удельный расход кислорода при стабилизации смеси активного ила и осадка из первичных отстойников определяется по формуле:

$$q = (q_1 + \beta)/(1 + \beta)$$



**Рис. 3,1** Схема установки с анаэробно-аэробной обработкой осадка: 1 - подача осадка; 2 - подающая шахта; 3 - зона аэрации; 4 - зона сбраживания; 5 - зона отстаивания; 6 - выпуск

**Пример 2.** Определить объем реактора для аэробной стабилизации активного ила на очистной станции с биологической очисткой на установках без первичных отстойников при БПК – 300

мг/л; температура сточных вод  $15^{\circ}\text{C}$ ; концентрация взвешенных веществ 250 мг/л;

$$Q = 500 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Определяем продолжительность процесса стабилизации при  $20^{\circ}\text{C}$  и при  $L = 0,06 \text{ г}/(\text{г}\cdot\text{ч}) = 1,4 \text{ г}/(\text{г}\cdot\text{сут})$ ;

$$t_{20} = 1 + 5 \cdot 1,44 = 8,2 \text{ сут.}$$

при температуре  $15^{\circ}\text{C}$

$$t_{15} = 8,2 \cdot 1,08^{15-20} 12 \text{ сут.}$$

Объем избыточного ила (ориентировочного) составит:

$$P_p = 0,81C + 0,3L = 0,8 \cdot 250 + 0,3 \cdot 300 = 200 + 90 = 0,29 \text{ г}/\text{л.}$$

Тогда

$$W_{a.u} = 0,29 \cdot 500000 = 1,45000 \text{ г}/\text{сут} = 145 \text{ кг}/\text{сут} \cong 0,15 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

$$\text{Объем стабилизатора } W_{CT} = 0,15 \cdot 12 = 1,8 \cong 2 \text{ м}^3.$$

Подбираем емкость цилиндрической формы с механической аэрацией диаметром 1,5 и высотой 1,4 м. Определяем необходимое количество воздуха. Для этого рассчитываем удельный расход кислорода

$$q = 0,2 + 0,55 = 0,2 + 0,55 \cdot 1,4 = 0,97 \text{ г}/\text{сут.}$$

Тогда

$$D = \frac{0,97 \cdot 145}{0,75 \cdot 0,4 \cdot 0,9 \cdot 0,75(10,23 - 2)} = 78 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$n_1 = 1 + 0,02^{(15-20)} = 0,9;$$

$$C_p = C_m = \frac{10,3 + \left( \frac{0,4}{2} \right)}{10,3} = 10,04 \frac{10,5}{10,3} = 10,23.$$

**Пример 3.** Определить объем реактора для аэробной стабилизации осадка первичного отстойника и избыточного активного ила при следующих исходных данных: БПК – 400 мг/л; температура стоков  $18^{\circ}\text{C}$ ;

Концентрация взвешенных веществ – 300 мг/л;  $Q = 1000 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Находим продолжительность стабилизации при  $T = 20^{\circ}\text{C}$  и  $L = 0,08 \text{ г}/(\text{г}\cdot\text{ч}) \sim 1,92 \text{ г}/(\text{г}\cdot\text{сут})$ :

$$t_{ila} = 1 + 5 \cdot 1,92 = 10,6 \text{ сут, тогда общая продолжительность}$$

$$t_c = 10,6(1 + 0,5 \cdot 0,7) = 14 \text{ сут.}$$

Необходимый объем реактора

$$W_{из.ила} = 0,8 \cdot 150 \cdot 0,3 \cdot 400 = 0,24 \text{ г/л};$$

$$W = 0,24 \cdot 1000 = 240 \text{ кг/сут};$$

$$W_{ac.nep.om} = \frac{300 \cdot 0,5 \cdot 1,1 \cdot 1000}{10^6} = 0,165 \text{ кг/сут};$$

$$W_{ac.cm} = 0,165 + 0,24 = 0,405 \text{ Т/сут} \cong 0,405 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Тогда объем реактора  $W_{peak} = 0,405 \cdot 14 \cong 6 \text{ м}^3$ .

Удельный расход кислорода для окисления активного ила

$$q = 0,2 + 0,55 \cdot 1,92 = 1,256 \text{ кг/кг.}$$

Удельный расход кислорода для стабилизации смеси составит

$$q_c = \frac{1,256 + 0,7}{1 + 0,7} = 1,15 \text{ кг/кг.}$$

Значительное место в общей схеме обработке сточных вод занимает вопрос обезвоживания осадков. Для этого применяют механическое обезвоживание на вакуум – фильтрах, фильтр – прессах и центрифугах, а также на иловых площадках в естественных условиях.

При производительности более 60-100  $\text{м}^3/\text{сут}$  стабилизированный осадок необходимо подсушивать на иловых площадках до влажности 55...70 %, что позволяет грузить его в машины для вывоза. При устройстве иловых площадок уровень грунтовых вод должен быть на глубине не менее 1,5 м от поверхности карт, и соответствующие грунты, обеспечивающие фильтрацию. Строительную глубину карт принимают 0,7...1,0 м, ширину валиков по верху не менее 0,7 м (при использовании механизмов (- 1,8...2 м), уклон подающих труб или лотков - по расчету с учетом самоочищающихся транспортных скоростей с уклоном не менее 0,01. Количество карт, как правило, должно быть не менее двух или четырех. Подсушивание стабилизированных осадков с влажностью 90 % из септической части двухъярусных отстойников и несброшенного активного ила с влажностью 99,5 % обеспечивает влажность 70-75% и ниже. Ширину карт рекомендуется принимать: на мелких станциях не более 10 м, а на больших ее увеличивают до 35...40 м. Размеры карт назначают из расчета обеспечения разового выпуска (как минимум) толщиной налива 0,25...0,3 м летом, 0,5 м зимой.

Интенсивность (скорость) подсушивания увеличивают перелопачиванием осадка. Удовлетворительная работа иловых площадок достигается правильным определением нагрузок на единицу поверхности.

Среднегодовые параметры принимаются: по температуре воздуха 3...6 °С, по количеству атмосферных осадков до 500 мм/м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площадки в год. При данных параметрах нагрузку на иловые площадки следует принимать по табл. 4.59.

**Таблица 3.3**

**Нагрузки осадка на иловые площадки**

		Нагрузка осадка, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> , иловых площадок в год									
		На естественном основании		На естественном основании с дренажом		На асфальтобетонном основании с дренажом		С поверхностью удалением воды		Площадки уплотнители	
1		2	3	4	5	6					
Сброженный из первичных отстойников и из осветлителей – перегниватель Аэробно стабилизированный активный ил или его смесь с осадком из вторичных отстойников	1,2	2,0	1,5	2,3	2,0	2,5	1,5	2,0	1,5	2,3	

**Примечание.** При других данных необходимо учесть специфические условия согласно требованиям СНиП 2.04.03-85.

Процесс подсушивания прежде всего зависит от качества и свойств водоотдачи осадка, от климатических условий и норм полива. Сопротивление осадка лимитирует значение нагрузки. Кольматация фильтрующего слоя обусловлена наличием в осадках мелкодисперсных и коллоидных частиц. Пористость в верхних фильтрующих слоях поддерживается регенерацией площадок. В случае образования на поверхности корки, тормозящей испарение, ее разрыхляют специальными устройствами. Для исключения кольматации фильтрующих слоев используются иловые площадки на искусственных основаниях.

Разработаны иловые площадки на естественных основаниях без дренажа и с дренажом, на искусственном дренируемом основании, на асфальтобетонном основании, каскадовые иловые площадки с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды, с гравийными колодцами, площадки-уплотнители с механическим удалением осадка и др. При хороших климатических и геологических условиях используют иловые площадки на естественном основании (рис. 3.2), а характеристики осадка определяют конструктивные параметры карт.

На малофильтрующих грунтах применяют иловые площадки с отстаиванием и поверхностным удалением надиловой воды. В этом случае немедленный забор надиловой воды может ускорить процесс подсушивания. Количество надиловой воды принимается 30-50 % количества осадка. Для обезвоживания осадков с хорошими водоотдающими свойствами лучше использовать иловые площадки-уплотнители. Они представляют собой прямоугольные железобетонные резервуары с отверстиями в продольной стене на разных глубинах и перекрытые шиберами. Возможность отвода воды с разных уровней позволяет значительно увеличить удельную нагрузку до 10-12 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> год.

Площадь поверхности иловых площадок:

$$F = W_{oc} \cdot 365 / (q_{oc} \cdot k_3),$$

где  $W_{oc}$  – количество осадка, м<sup>3</sup>/сут;  $q_{oc}$  – нагрузка осадка на иловые площадки, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> год);  $K_3$  – коэффициент, определяемый как  $K_3 = a \cdot b$ , где  $a = 2$  – коэффициент уменьшения объема осадка при сбраживании;  $b = 2$  – то же, за счет уплотнения; тогда  $K_3 = 4$ .

Высота слоя намораживания  $H_n = W_{oc} t K_4 / F K_3$ , где  $t$  – период намораживания;  $K_4 = 0,75$  – коэффициент, учитывающий уменьшение объема по причине фильтрации, испарения;  $K_5 = 0,8$  – коэффициент, учитывающий часть площади под намораживание.

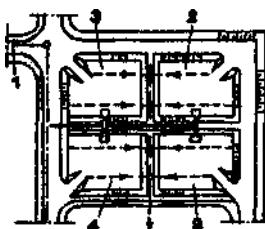
**Пример 4.** Определить площадь иловых при концентрации взвешенных веществ 200 мг/л,  $\mathcal{E} = 1,15$ ;  $n = 1,15$ ;  $b = 7$  мг/л;

Рассчитываем объем сырого осадка:

$$W_{oc} = \frac{[C(1 - \mathcal{E})n - b]}{1000 \cdot 1000} = \frac{(200 \cdot 0,5 \cdot 1,15 - 7)800}{1000 \cdot 1000} = 0,0864 \text{ м}^3/\text{сут}$$

(т/сут).

Рассчитываем полезную площадь:



**Рис. 3.2** Иловые площадки: 1 - подача осадка; 2 - иловые карты; 3 - дренажные трубы; 4 - выпуск (деревянный щит под сливным лотком)

$$F = \frac{0,0864 \cdot 365}{1,2 \cdot 4} = 6,7 \text{ m}^2.$$

### **3. 2. Механическое обезвоживание осадка**

Для сокращения площади, занимаемой иловыми площадками, предлагаются различные конструктивные усовершенствования, которые, как правило, не дают заметного результата. Значительно больший эффект можно получить, используя технологические приемы, повышающие водоотдачу осадка; наиболее перспективным является применение флокулянтов. При применении катионных флокулянтов для предварительной обработки осадков нагрузка может быть увеличена в 2-3 раза. Методика использования флокулянтов для повышения водоотдачи осадков на иловых площадках существенно отличается от таковой для механического обезвоживания, и ее применение должно быть тщательно отработано для различных видов осадка.

Длительность процесса, неблагоприятные для естественной сушки атмосферные условия, перегрузки по количеству поступающего осадка и отсутствие достаточного уровня эксплуатации в связи с несовершенством или отсутствием уборочных механизмов зачастую определяют неудовлетворительную работу иловых площадок, независимо от их конструкции. Все это, наряду с антисанитарным состоянием иловых площадок, вторичным загрязнением природной среды на прилегающих территориях, а главное, необходимостью отвода больших площадей под иловые площадки, привело к развитию методов механического обезвоживания.

Для обезвоживания осадков большое распространение получили осаждательные горизонтальные центрифуги непрерывного действия со шнековой выгрузкой кека. Работу центрифуги характеризуют ее производительность, эффективность задержания сухого вещества осадка и влажность получаемого кека. Эффективность задержания сухого вещества в зависимости от вида осадка варьируется от 10 до 65%, влажность кека - от 60 до 85%. Для повышения эффективности центрифугирования используются катионные флокулянты, которые позволяют повысить эффективность задержания сухого вещества до 90-95%, а в некоторых случаях до 99%, тогда как минеральные коагулянты повышают этот показатель до 70-80%. Учитывая большое количество сухого вещества, остающегося в фугате, при использовании центрифуг приходится предусматривать дополнительную обработку фугата, кроме случаев эффективного применения флокулянтов.

Эффективными способами обезвоживания осадка является фильтрование на вакуум-фильтрах и фильтр-прессах. Процесс отделения жидкости от твердой фазы осуществляется при разности давлений над фильтрующей средой и под ней. В начале процесса фильтрующим материалом является фильтровальная ткань, на которой затем образуется слой осадка, создающего добавочный фильтрующий слой.

Барабанные вакуум-фильтры непрерывного действия общего назначения применяются для обезвоживания сырых и сброшенных осадков. На фильтрах под действием вакуума (300-500 мм рт. ст.) обезвоживаются осадки первичных отстойников или смесь их с избыточным активным илом, за 3-4 минуты образующие слой кека не менее 5 мм влажностью 75-80%. При обезвоживании только активного ила влажность кека значительно выше - до 85-87%.

Производительность вакуум-фильтров составляет для осадков из первичных отстойников 20-40 кг/м<sup>2</sup> в час по сухому веществу, и для активного ила - 8-12 кг/м<sup>2</sup> в час.

Применение для обезвоживания осадков фильтр-прессов обеспечивает получение осадка влажностью 50-70%. Рамные и камерные фильтр-прессы являются установками периодического действия, ленточные горизонтальные, вертикальные, барабанные фильтр-прессы — непрерывного действия. Производительность фильтр-прессов - для сброшенных осадков из первичных отстойников от 7 до 17 кг/м<sup>2</sup> в час, для активного ила от 2 до 7 кг/м<sup>2</sup> в час, хотя данные о результатах, получаемых на практике при применении фильтр-прессов, очень противоречивы.

Перед механическим обезвоживанием осадка для снижения его удельного сопротивления необходимо применять реагентную обработку. В настоящее время в качестве реагентов используется хлорное железо ( $FeCl_3$ ) и известь ( $CaO$ ) с дозами по сухому веществу до 6% и 15-20%, соответственно. Удельное сопротивление после реагентной обработки должно быть, в общем случае, в пределах (5-60)  $\times 10^{10}$  см/г.

Через каждые 20-24 часа работы требуется регенерация фильтровальной ткани 10%-ным раствором ингибиранной соляной кислоты. Учитывая сложность эксплуатации реагентного хозяйства, проблемы с транспортировкой и хранением реагентов, вредность производства работ при использовании хлорного железа и извести, большие суммарные их дозы (до 20% по сухому веществу обрабатываемого осадка), при низком содержании активного вещества реагента в товарном продукте, поставляемом на очистные сооружения, цеха механического обезвоживания осадка на больших станциях не могут работать на полную мощность. Так, в товарной извести, поставляемой на очистные сооружения, активное вещество составляет 10-20%, следовательно, при дозах реагента 15% от сухого вещества осадка для обработки 1 т осадка на станцию необходимо завести 1 т извести. Для цеха обезвоживания осадка производительностью 60 т в сутки нужно ежесуточно завозить на очистные сооружения 1 вагон товарной извести, что совершенно нереально. С минеральными реагентами в осадок вносится большое количество инертных веществ, увеличивающих стоимость вывоза и хранения осадка.

С целью интенсификации процесса обезвоживания осадков сточных вод ведутся исследования по созданию и применению высокомолекулярных флокулянтов. Сущность действия высокомолекулярных флокулянтов заключается в ускорении процесса образования и повышении прочности коллоидных структур, а также связывании микрохлопьев в крупные агрегаты.

Метод обработки осадка флокулянтами прост и безопасен в эксплуатации, не вносит посторонних дополнительных компонентов, а по сравнению с хлорным железом значительно меньшие дозы флокулянтов снижают удельное сопротивление осадков до величин, позволяющих обрабатывать осадок на вакуум-фильтрах и фильтр-прессах, и при этом не требуют применения извести.

ЦНИИЭП инженерного оборудования отработан и внедрен на очистных сооружениях г. Подольска метод обезвоживания осадка на вакуум-фильтрах с применением флокулянта КФ-91, выпускаемого Волжским производственным объединением «Оргсинтез» (Россия).

Доза флокулянта КФ-91 составляет 0,1-0,15% от количества сухого вещества осадка, что в 100 раз меньше, чем при применении хлорного железа и извести. Производительность вакуум-фильтров увеличилась почти в 2 раза, влажность получаемого кека менее 80%, причем общее количество вывозимого осадка уменьшилось более чем на 15%.

ЦНИИЭП инженерного оборудования разработаны типовые проекты цехов механического обезвоживания осадка на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах и центрифугах.

Подробно методы и конструкции установок для уплотнения, стабилизации, реагентной обработки и обезвоживания осадка приведены в /28/.

Любая технологическая схема обработки осадков должна отвечать следующим требованиям: возможности использования или ликвидации осадка, целесообразности использования побочных продуктов (газа, тепла), экономии площадей, занимаемых очистными сооружениями. На рис. 3.3, 3.4, 3.5 приведены некоторые наиболее распространенные принципиальные комплексные технологические схемы обработки осадка. Та или иная схема может применяться в определенном ограниченном диапазоне производительности сооружений для обработки осадка.

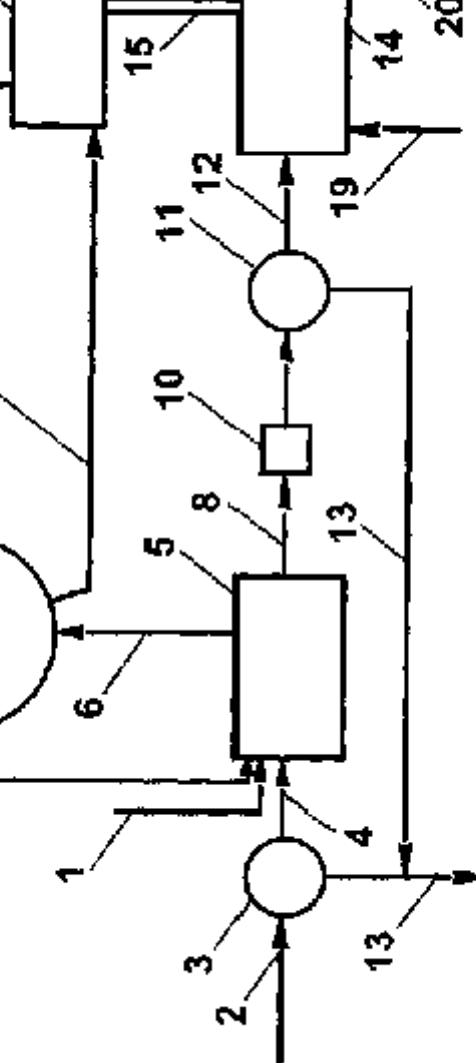


Рис. 3.3 Комплексная система вакуум-фильтрации и термической сушки  
 1 – осадок на первичного отстойника; 2 – наборочный аппаратный ил; 3 – вакуумный илборнитер; 4 – уплотнительный ил; 5 – насосная станция; 6 – смесь осадка и активного ила; 7 – магнитный; 8 – спиральный осадок; 9 – спиральный осадок; 10 – промывная камера; 11 – флокулятор; 12 – промывный илборнитер; 13 – магнитный осадок; 14 – цех засолки; 15 – конвейеры; 16 – установка для термической обработки; 17 – осадок на утилизацию; 18 – газ – реагент; 19 – газ – реагент; 20 – газ – реагент

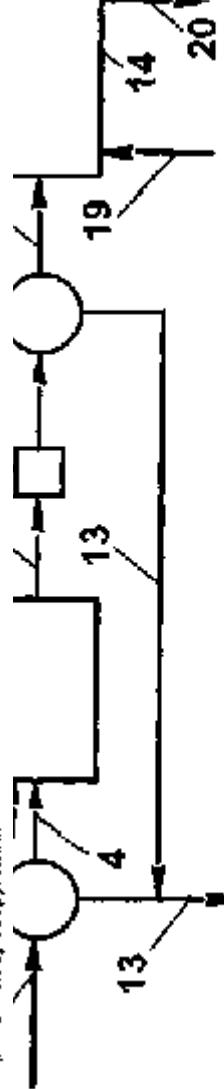


Рис. 3.3 Комплексная система вакуум-фильтрации и термической сушки  
 1 – осадок на первичного отстойника; 2 – наборочный аппаратный ил; 3 – вакуумный илборнитер; 4 – уплотнительный илборнитер; 5 – насосная станция; 6 – смесь осадка и активного ила; 7 – магнитный; 8 – спиральный осадок; 9 – спиральный осадок; 10 – промывная камера; 11 – флокулятор; 12 – промывный илборнитер; 13 – магнитный осадок; 14 – цех засолки; 15 – конвейеры; 16 – установка для термической обработки; 17 – осадок на утилизацию; 18 – газ – реагент; 19 – газ – реагент; 20 – газ – реагент

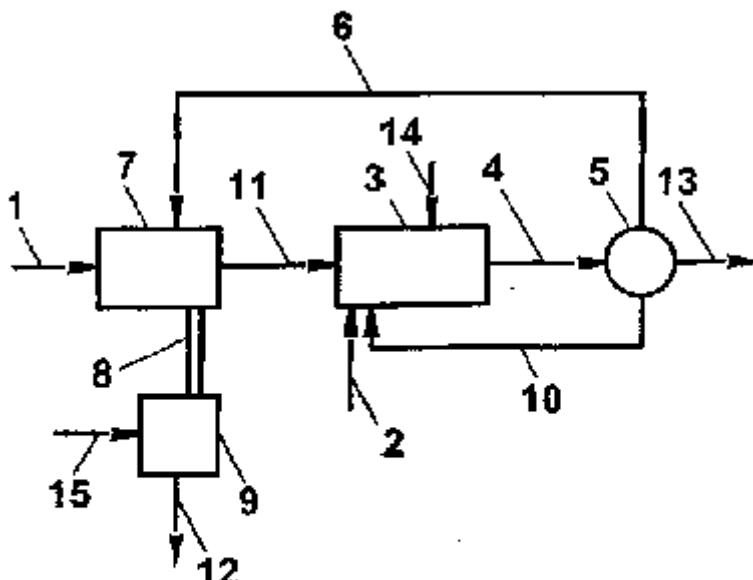
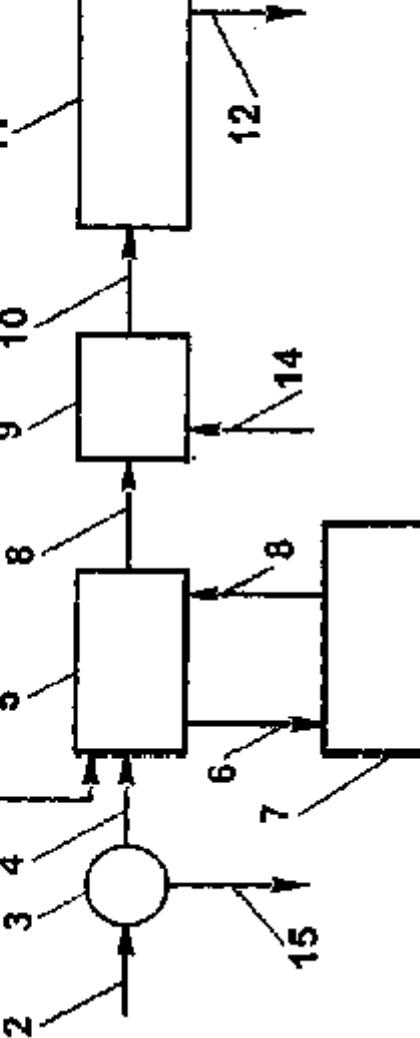


Рис. 3.4 Комплексная схема центрифугирования и аэробной минерализации активного ила и смеси фугатов

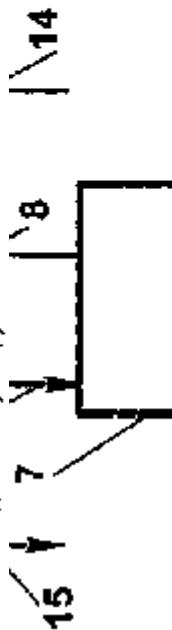
1 – осадок из первичного отстойника; 2 – избыточный активный ил; 3 – минерализованный ил; 4 – минерализованный ил; 5 – уплотнитель; 6 – уплотненный минерализованный ил; 7 – цех центрифугирования; 8 – конвейеры; 9 – установка для термической обработки; 10 – возврат ила; 11 – фугат; 12 – осадок на утилизацию; 13 – иловая вода; 14 – воздух; 15 – газ

Приемлемыми способами ликвидации обработанного осадка могут быть только сельскохозяйственное использование или хранение (депонирование) осадка. Сельскохозяйственное использование чаще всего не применяется из-за высокой концентрации в осадках солей тяжелых металлов. Для решения этой проблемы нужно за счет локальной очистки исключить или хотя бы снизить поступление тяжелых металлов со сточными водами, или разрабатывать технологии по выделению из осадков тяжелых металлов, т.е. по детоксикации осадков.

В табл. 3.4 приведены методы и объемы утилизации осадков в различных европейских странах (по данным финской фирмы «Планцентр») /29/.



**Рис. 3.5 Комплексная система взрывной минерализации, тепловой обработки и фильтр-пресоводания осадков**



**Рис. 3.5 Комплексная схема взрывной минерализации, тепловой обработки и фильтр-прессования осадков**

**Таблица 3.4****Методы и объемы утилизации осадков в некоторых европейских странах**

Страна	Методы утилизации, в %			
	в сельском хозяйстве	свалка	сжигание	Другие
Австрия	13	56	31	0
Швейцария	50	30	20	0
Германия	25	55	15	5
Дания	27	28	36	9
Швеция	15	70	0	15
Англия	53	16	7	24 (сброс в море)
Финляндия	27	36	0	37

Наиболее приемлемым на сегодняшний день и по-видимому, ближайшее будущее является складирование и хранение обработанного обезвоженного осадка на специально оборудованных полигонах. Так, например, обезвоженный осадок сточных вод г. Санкт-Петербурга влажностью около 80% складируется на специальных полигонах, площадь которых в настоящее время уже достигла 150 га /29/.

При этом должны быть приняты меры по защите подземных вод от загрязнения, а также проведены мероприятия по озеленению поверхности полигона, чтобы уменьшить возможный вред от биогаза, выделяемого осадком при хранении.

#### **4. Особенности водоотведения и очистки малых количеств сточных вод**

Вопросы канализования и очистки малых количеств сточных вод от отдельно стоящих объектов, а именно от жилых домов усадебной (коттеджной) застройки и фермерских хозяйств, отдельно стоящих административных зданий, путевых служб железнодорожного, автодорожного транспорта, объектов метеослужбы, изыскательских партий и т.п., в большинстве случаев сейчас представляют значительную проблему. Во многих регионах территории неканализованных населенных мест загрязнены органическими отходами, болезнетворными бактериями, яйцами гельминтов, цистами простейших. Эти органические и бактериальные

загрязнения при паводках, с талыми и дождевыми водами смываются в водоемы, приводя к их загрязнению.

В условиях усадебной (или коттеджной) застройки, когда сроки строительства домов или их реконструкция и благоустройство растянуты по времени, практически невозможно и часто экономически нецелесообразно осуществлять строительство централизованной системы канализации с очистными сооружениями. Применяемое на практике широко распространенное техническое решение канализования отдельного жилого дома со сбором сточных вод в накопители и последующим их вывозом приводит к загрязнению близлежащих водоемов и территорий.

Принимаемые в проектах усадебных жилых домов технические решения, рассчитанные на присоединение к централизованным системам канализации, формально имеющие высокие технико-экономические и экологические показатели, не соответствуют реальным условиям строительства.

Водоотведение отдельно стоящих объектов характеризуется высокой неравномерностью притока сточных вод по расходам, концентрациям загрязнений, температуре. Нередки длительные перерывы в образовании сточных вод, например, из-за отъезда жителей усадебного дома на отдых. Эти особенности водоотведения малых объектов канализования крайне отрицательно сказываются на условиях проведения процессов очистки сточных вод. Это усугубляется тем, что на автономных очистных сооружениях, как правило, нет специализированного обслуживающего персонала. Поэтому очистные сооружения в этом случае должны отвечать следующим требованиям:

- простота в монтаже и эксплуатации;
- эффективность и надежность в работе;
- низкая энергоемкость.

В нашей стране и за рубежом для очистки малых количеств сточных вод применяются сооружения, основанные на естественных методах - это сооружения подземной фильтрации с предварительным осветлением в септиках: фильтрующие колодцы, поля подземной фильтрации, фильтрующие траншее и песчано-гравийные фильтры. Эти сооружения, типовые проекты которых разработаны ЦНИИЭП инженерного оборудования, обеспечивают полную биологическую очистку воды.

Однако, они занимают значительную площадь, что при небольших размерах индивидуальных участков, выделяемых под коттеджи, весьма существенно. Но самое главное, фильтрующие колодцы и поля подземной фильтрации применимы только на хорошо фильтрующих грунтах при низком стоянии грунтовых вод, что встречается у нас только в 15-20% случаев. Фильтрующие траншее и

песчано-гравийные фильтры, применяемые в условиях плохо фильтрующих грунтов и поэтому имеющие сброс очищенных вод в открытые водоемы, не обеспечивают глубокой очистки сточных вод. Во многих случаях это имеет решающее значение, т.к. требования, предъявляемые органами санэпиднадзора и охраны природы, постоянно ужесточаются.

В зарубежной практике очистки сточных вод кроме сооружений подземной фильтрации распространены установки искусственной биологической очистки заводского изготовления. Это UPO-Vesipoika фирмы UPO, Argument фирмы Kaivo ja Pohja, Bioclere (Финляндия), Combi AO Druzstvo (Чехия) и др. Все они выполнены в едином блоке, снабжены насосами или воздуходувками, работают по принципу аэротенков или биофильтров. Требования к качеству очищенных сточных вод в этих странах значительно ниже, а именно по БПК полн. 20-30 мг/л, концентрация взвешенных веществ 25-30 мг/л. Серийно выпускаемых установок для очистки сточных вод индивидуальных жилых домов, обеспечивающих снижение БПК и концентрации взвешенных веществ до 3-5 мг/л, в зарубежной практике не существует.

В установках UPO-Vesipoika и Bioclere использован принцип работы биофильтра-стабилизатора. В установке Bioclere может быть смонтирована дополнительная ступень реагентной обработки для удаления соединений фосфора. UPO-Vesipoika выполнена из металла, Bioclere - из стеклопластика или железобетонных элементов. Концентрация загрязнений в воде, очищенной на этих установках, по взвешенным веществам 20-30 мг/л, по БПК.5 15-25 мг/л, при использовании ступени реагентной обработки - по ВПК 25 мг/л, по фосфатам 1,5 мг/л.

Установки Combi АО Druzstvo представляют собой вращающийся биофильтр. При последовательном монтаже нескольких секций биофильтра можно получить высокую степень очистки сточных вод. Однако следует иметь в виду, что для нормальной жизнедеятельности бактерий биопленки необходимо обеспечить положительную температуру воздуха над биофильтром и в зимний период, что сложнее, чем обеспечить необходимую температуру воды. Следовательно, установка должна располагаться в отапливаемом помещении.

В ЦНИИЭП инженерного оборудования разработана технология и установка «Водолей» для очистки сточных вод индивидуальных жилых домов, обеспечивающие качество очищенных сточных вод, позволяющее осуществлять их сброс в открытые водоемы или фильтрацию в грунт без загрязнения окружающей среды. Установка располагается под землей, занимая минимальную площадь для размещения, не требует ежедневного обслуживания, проста и надежна в эксплуатации.

Установка (Рис. 4.1) выполнена в едином блоке, состоящем из первичного отстойника по типу двухъярусного, аэротенка с затопленной загрузкой и струйной аэрацией и вторичного отстойника.

Использование затопленной загрузки (с прикрепленной микрофлорой) позволяет постоянно иметь в установке запас микроорганизмов, осуществляющих очистку сточных вод, биомасса которых саморегулируется в зависимости от величины органической нагрузки. Установка может эффективно работать при сколь угодно низкой величине органической нагрузки, не выходит из строя при отсутствии притока сточных вод и быстро повышает свою окислительную мощность при увеличении нагрузки.

Предлагаемая технология исключает необходимость постоянного удаления накапливающегося осадка за счет высокой степени минерализации и малого его количества, а также конструктивных особенностей установки.

Производительность установок от 1 до 12 м<sup>3</sup>/сутки, потребляемая мощность 0,3-1,5 кВт. Установка выполнена из металла с антакоррозийным покрытием.

Установки «Водолей», дополненные блоком глубокой очистки, обеспечивают необходимые требования к качеству очищенной воды по БПК и взвешенным веществам до 3-5 мг/л.

Сооружения построены в Московской области. Исследования эффективности работы установок «Водолей» научно-исследовательским институтом экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н.Сысина РАМН подтвердили их высокую эффективность, и Государственным комитетом санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации выдан гигиенический сертификат на их использование на территории России. В установке «Сириус-Б» (Рис. 4.2) производительностью до 25 м<sup>3</sup>/сутки предусмотрено регулирование притока исходной сточной воды, что позволяет на всех последующих стадиях применять

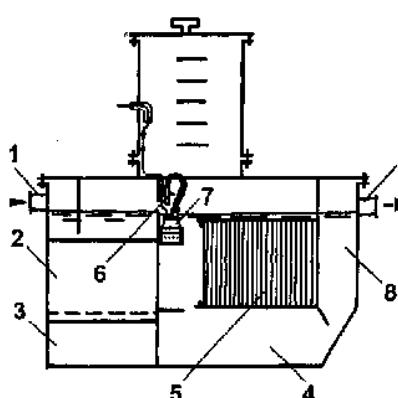
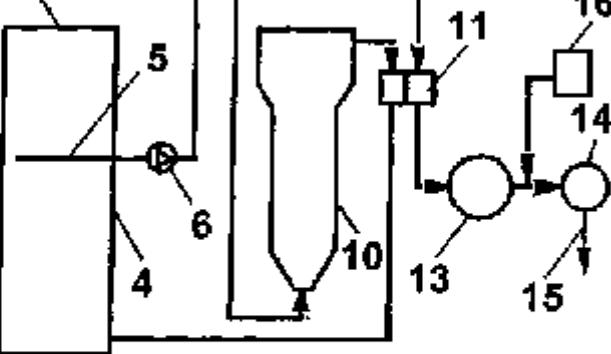


Рис. 4.1

Установка «Водолей» 1 - подача сточных вод; 2 - первичный отстойник; 3 - зона анаэробного сбраживания; 4 - аэротенк; 5 - затопленная загрузка; 6 - аэратор; 7 - погружной насос; 8 - вторичный отстойник; 9 - выпуск очищенной воды



### Хронологическая схема установки «Сириус Б»

сточных вод; 2 – песколовка; 3 – регулирующая ёмкость;  
фильтратор; 5 – сборная решётка; 6 – насос; 7 – эжектор;  
9 – распределительная камера; 10 – биореактор;  
усреднительная камера; 12 – дозатор коагулянта;  
13 – насос; 14 – контактный резервуар; 15 – выпуск  
воды; 16 – дозатор дезинфектанта

устройства, эффективно работающие при равномерном притоке (биореактор со взвешенным слоем на инертном носителе, осветлители со взвешенным слоем). В этой схеме оптимальным оказывается применение струйной аэрации. Значительный расход рабочей жидкости, подаваемой на эжектор, при поступлении в биореактор создает устойчивый взвешенный слой.

Сточная вода после решетки и песколовки поступает в усреднитель-денитрификатор, где накапливается в часы максимального притока и расходуется вочные часы. В усреднитель подается также циркуляционная иловая смесь. В нижней пирамидальной части усреднителя образуется постоянный слой, в котором иловая смесь находится в анаэробных условиях. Осветленная сточная вода из средней части усреднителя циркуляционным насосом подается через эжектор в нижнюю зону биореактора. В биореакторе с инертным зернистым материалом при подъеме воды образуется взвешенный слой, где происходит интенсивный процесс нитрификации. В верхней уширенной части биореактора происходит разделение иловой смеси и удержание носителя.

Часть потока, равная среднему притоку сточной воды, отводится в осветлитель, другая часть (примерно в 5-10 раз больше, чем первая) возвращается в усреднитель. При необходимости удаления фосфора в распределительную камеру перед осветлителем добавляется раствор коагулянта.

Минерализованный осадок из усреднителя периодически отводится на иловую карту. Полученный продукт может быть использован в качестве удобрения.

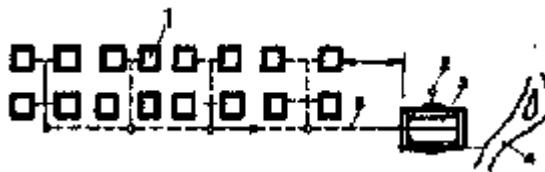
На установке достигается снижение взвешенных веществ и БПК полн. до 6-8 мг/л, азота аммонийного до 1 мг/л, фосфатов до 0,5 мг/л,

нитратов до 9 мг/л. Потребляемая мощность не более 4,4 кВт. Установка производительностью 25 м<sup>3</sup>/сутки представляет собой блок размерами в плане 3,5 × 4,8 м, высотой 6м.

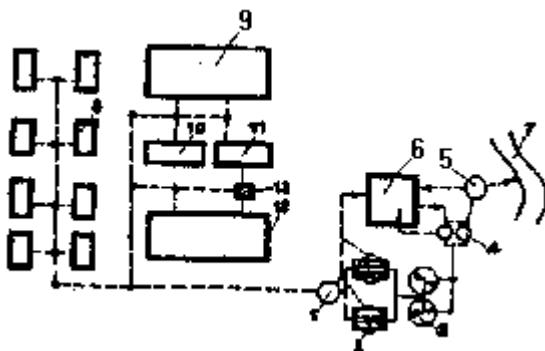
## 5. Технологические схемы очистки сточных вод

Преимущества новых сооружений биологической очистки хозяйствственно-бытовых и близких к ним по составу промышленных сточных вод -это высокие удельные показатели по нагрузкам, производительности, полезному использованию объема установок, минимальные затраты ручного труда, компактность и удобство в обслуживании, сбережение земельных участков, минимальное экологическое воздействие на окружающую среду. Однако имеются и сложности, связанные с производством оборудования для снабжения аэрируемых емкостей воздухом. Для очистных станций малых объемов приемлемы сооружения с Минимальным количеством дефицитного оборудования либо вовсе без него. Это конструкции компактных установок с вертикальными биофильтрами для пересеченной местности и установок биокомпакт или биофильтратор для равнинной. Эти установки мало энергоемки.

Сточные воды объектов сельской местности (рис. 4.3) относятся преимущественно к хозяйственно-бытовой категории. Расчет характеристик сточных вод (концентрации, количества) и сооружений очистки аналогичен классическим, рекомендуемым СНиП 2.04.0.3-85. В схемах канализования сосредоточенные расходы могут отсутствовать /рис.4.3/ или присутствовать /рис.4.4/.



**Рис.5.1** Схема водоотведения малого населенного пункта при отсутствии сосредоточенного расхода: 1 - жилая застройка; 2 - иловый колодец; 3 - биокомпакт; 4 - водоем; 5 - канализационный коллектор



**рис.5.2** Схема водоотведения населенного пункта с сосредоточенными расходами: 1 - песковка; 2 - двухъярусные отстойники; 3 - биофильтры; 4 - вторичные отстойники; 5 - контактный резервуар; 6 - иловые площадки; 7 - водоем; 8 - жилая застройка; 9 - больница; 10 - дом быта; 11 - пищеблок; 12 - школа; 13 - жироулавливатели

Средние показатели данных сточных вод перед очистными сооружениями: взвешенные вещества 150...450 мг/л; БПК 100...400 мг/л; ХПК - 140...500 мг/л; высокомолекулярные трудноокисляемые вещества я пределах ПДК; в достаточном количестве соединения азот-аммониевых солей; соотношение БПК:ХПК стремится к единице, что подтверждает хорошие условия для биологической очистки.

## Список литературы

1. Правила приема производственных сточных вод в системы канализации населенных мест. - М., 1991.
2. Правила охраны поверхностных вод (типовые положения). - М., 1991.
3. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. СанПиН 4630-88.
4. Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. -М. 1992.
5. Охрана природы. Гидросфера. ГОСТ 17.1.3.13-86.
6. Абрамович И.А., Обоснованность нормативных требований к качеству очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 1996, № 1.
7. Пальгунов П.П., Эль Ю.Ф., Иванов Г.Г. Поэтапное достижение современных требований к качеству очищенных сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 1996, № 6.
8. Роговская Ц.И., Биохимический метод очистки производственных сточных вод. - М., Стройиздат, 1967.
9. Абрамов А.В., Драчикова Е.С., Клячко И.Л., Эль Ю.Ф., Модифицированный способ доочистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 1996, № 6.
10. Шеломков А.С., Эль Ю.Ф., Захватаева Н.В. Биогальванический метод интенсификации сооружений биологической очистки // Водоснабжение и санитарная техника. 1996, № 6.
11. Levin G.V. et all. Pilot plant tests of a phosphate removal process // J.WPCF. 1972, V.44, № 10.
12. Wieschers H.N.S. Phosphate removal in biological treatment processes // Water Science and Tehnology. 1983, V. 15, № 3-4.
13. Hascoet M.C., Florentz M. L'influence des nitrates et la nature du substrat carbone sur la déphosphatation biologique // L'eau. l'Industrie, les nuisances. 1985. № 91. April.
14. Plerano L.E., Parlin L.G. Achieving two goals with biological-chemical phosphorus removal // Public Works. 1987. Oct.
15. Burkard E. Biologische Phosphatelimination // Gas-Wasser-Abwasser. 1985. B. 65. № 11.
16. Kuba T., Smolders G. et al. Biological phosphorus removal from wastewater by anaerobic-anoxic sequencing batch reactor // Wat. Sci. Tech. 1993. 27, № 5-6.
17. Заявка 58-290 Японии, МКИ С 02 F 1/28, В 01 F 20/16. Способ удаления фосфатов из сточных вод /Саг Акира, Танака Комэси, Оругано (Япония). - № 56-96576; Заявлено 22.06.81; Опубликовано 05.01.83.

18. Заявка 57209682 Японии, МКИ С 02 F 1/28. Удаление фосфора из сточных вод. Нагаути Муцуко, Симода Кадзую, Хи-росава Идзули, Эбара Инфирику (Япония). - № 56-99332; Заявлено 22.06.81; Опубликовано 23.12.82.
19. Kayer R., Roll R. Development of a control scheme for simultaneous phosphorus precipitation // Inform, and Control Water and Wastewater Treat, and Transp. System: Proc. 4-th IAWPRC Workshop, Houston, Denver, 27 april - 4 may 1985. - Oxford, 1985.
20. Zerrer H.P. Betriebserfahrungen mit der Phosphorelimination am Boden // Korrespond. Abwasser. 1983. В.30 № 11.
21. Step Screen. Проспект фирмы «Hydropress» (Швеция). Step Screen L, Step Screen Master. 1996.
22. Яковлев С.В., Мясников И.Н., Потанина В.А., Буков Ю.Б., Ляхтеэнимяки Х., Кескинен Т. Применение реагентной очистки на муниципальных очистных сооружениях // Водоснабжение и санитарная техника, 1995, № 3.
23. Навикайте Д.П., Скирдов И.В., Демидов О.В. Исследования аэротенков с загрузкой. // Труды ин-та НИИ ВОДГЕО, М., 1985.
24. Загорский В.А., Эль Ю.Ф. Реконструкция очистных сооружений канализации больших городов. // Водоснабжение и санитарная техника, 1996, № 6.
25. Toveko CX sand filter. Проспект фирмы «Toveko», 1996.
26. Орлов В.А. Озонирование воды. - М., Стройиздат. 1984.
27. Bourbigot M. The ozonation-flotation process. // Ozonens, 1987. V.15. № 5.
28. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. - М., Стройиздат, 1982.
29. Гумен С.Г. Обработка и утилизация осадков городских сточных вод. // Водоснабжение и санитарная техника, 1995, № 4.
30. Грулер И. Очистные сооружения малой канализации .- М.: Стройиздат, 1980, - 200 с.
31. Молчанов И.И. и др. Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных мест. - Л.: Стройиздат. 1991. - 158 с.
32. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. -Л: Стройиздат, 1981. -639 с,
33. Тавартиладзе И.М. Сорбционные процессы в биофильтрах. - М.: Стройиздат, 1989. - 125 с.
34. Колобанов О.К., Ершов А.В., Нигель М.Е. проектирование очистных сооружений канализации, - К.: Будивэльнык, 1977. - £10 с.
35. Ласков Ю.К., Воронов Ю.В., Калицун В.И. Примеры расчета канализационных сооружений. - М.: Высш. шк., 1987. -230 с.
36. Мацнев А.И. Водоотведение на промышленных предприятиях. -Львов: Высш.шк., 1986. - 200 с.

37. Разумовский Е.Г., Медриш Г.Л., Назарян В.А. Очистка и обеззароживание сточных вод малых населенных мест. - М.: Стройиздат, 1986. - 172 с.
38. Синев О.П. Интенсификация биологической очистки сточных вод. - К.: Техника, 1983. -110 с.
39. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. - М.: Стройиздат, 1986.
40. Шифрин С.М., Иванов Г.В., Мишуков В.Г., Феофанов Ю.А. Очистка сточных вод мясной и молочной промышленности. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. - 272 с.
41. Юрьев В.Т. Очистка сточных вод малых объектов. - Рига: Авотс, 1983. - 170 с.
42. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Биологические фильтры. - М.: Стройиздат, 1982. - 120 с.

## Содержание

	Стр.
Введение	3
1. Сущность биологических процессов при очистке хозяйственно-бытовых сточных вод	5
1.1. Окисление органических веществ	5
1.2. Нитрификация, денитрификация	15
1.3. Удаление фосфатов биологическим методом	20
2. Сооружения биологической очистки	26
2.1. Септики.	26
2.2. Фильтрующие колодцы.	31
2.3. Подземная фильтрация сточных вод	37
2.4. Биопруды	44
2.5. Биофильтры	49
2.6. Аэротенки	50
2.7. Сооружения с прикрепленной микрофлорой	54
2.8. Биодисковые фильтры	55
2.9. Примеры расчета сооружений	63
2.9.1. Биофильтры	63
2.9.2. Аэротенки	95
2.9.3. Нитрификация	113
2.9.4. Денитрификация	114
2.9.5. Удаление фосфатов биологическим методом	115
3. Источники образования осадков, их количество и состав	120
3.1. Методы обработки осадков	122
3.2. Механическое обезвоживание осадка	137
4. Особенности водоотведения и очистки малых количество сточных вод.	143
5. Технологические схемы очистки сточных вод	148
Список литературы	150