

Л.Ф. Долина

Реакторы для очистки сточных вод

Днепропетровск, 2001 г

Предисловие.

Сточные воды предприятий по переработке сельскохозяйственной продукции, химико-фармацевтической и микробиологической отраслей промышленности, мойке автотранспорта и других производств характеризуются наиболее высокими концентрациями загрязнений по БПК - 1500 - 5000 мг/л и более (до 40000кг/л), что требует особого подхода к выбору технологии их очистки. Традиционные методы очистки в аэротенках утрачивают свою популярность ввиду больших расходов электроэнергии на аэрацию и высоких капитальных затрат, а также острых экологических проблем, связанных с обработкой и удалением постоянно образующихся больших масс избыточного активного ила..

Применение современных биотехнологий аэробной и анаэробной очистки, а также физико-химических процессов в реакторах, позволяет уменьшить значения вышеназванных главных технико-экономических и экологических показателей в 3-5 раз и практически свести их до минимума.

В настоящее время за рубежом и в нашей стране успешно эксплуатируются сотни различных био- и физико-химических реакторов для очистки производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод. В то же время информация о них "рассыпана" в различных, преимущественно в периодических изданиях (журналах, рекламных буклетах и пр.) и совершенно отсутствует в учебниках и в учебных пособиях [1,2]. В особенности отсутствуют вопросы, касающиеся расчетов и проектирования реакторов. Это объясняется многими причинами, в том числе не желанием фирм опубликовывать свои "ноу-хау", связанные с расчетами реакторов, отсутствием методов расчета и оптимизации конструктивных и технологических параметров, недостаточной изученности процессов, происходящих в реакторах и, в особенности в биореакторах, и другими причинами.

В то же время эти вопросы актуальны как в учебном так и в производственных процессах; в особенности при проектировании станций очистки сточных вод.

Автором сделана попытка объединить разрозненную информацию о био- и физико-химических реакторах.

Книга не претендует на исчерпываемость информации, а автор убежден, что ни один из новосозданных учебников не может быть целиком лишен недостатков, а потоку примет с благодарностью все замечания и предложения.

Автор глубоко признателен уважаемому Виктору Федоровичу Рожко за труд по рецензированию книги и ценные советы, а также рецензенту Ларисе Александровне Ярьшиной.

Автор выражает благодарность студентке-выпускнице Анне Черной за помощь в подготовке информации к этой книге.

Введение

В этой книге автор больше внимания уделил биореакторам. Аэробная и анаэробная обработка сточных вод в реакторах рассматривается как наиболее перспективный метод очистки концентрированных сточных вод с загрязненностью по БПК_п более 1000 мг/л. К ним относятся сточные воды и жидкие отходы практически всех отраслей АПК крохмалопаточной, спиртовой, сахарной, коньячной, ромовой, винодельческой, пивоваренной, сыроваренной, молочной, мясной, переработке фруктов, овощей, а также сточные воды животноводческих ферм, производства белка из кормовых трав, микробиологической, химико-фармацевтической и некоторых производств химической промышленности.

В основе процесса анаэробной очистки лежит биохимическое превращение в бескислородных условиях органических веществ загрязнений сточной воды в биогаз (смесь 70% метана и 30% углекислого газа). От 1 кг ХПК удаленных загрязнений образуется около 0,5 кубометров биогаза, который является прекрасным топливом с калорийностью 5500- 7000 ккал/м³, что очень важно для Украины, не имеющий в достаточных количествах энергоносителей.

Производительность современных конструкций анаэробных биореакторов достигает 115-30 кг ХПК/м³сут, что в 10-15 раз выше производительности аэротенков. Это обеспечивается поддержанием в анаэробных биореакторах больших доз (20-60 г/л) высокоактивного анаэробного ила, который образует устойчивые плотные флоккулы (гранулы) диаметром 1-5 мм.

Современные конструкции биореакторов весьма разнообразны. Удержание биомассы в них производится с помощью внутренних специальных перегородок, либо с помощью иммобилизации на загрузочных материалах-носителях. Имеются конструкции, не содержащие загрузочного материала - так называемый UASB -реактор (реактор с восходящим потоком сточной воды через слой активного ила (аэробного или анаэробного). Это наиболее простой и дешевый реактор.

Реакторы выполняются из железобетона или металла и не содержат нестандартного оборудования, которое требует заводского изготовления. Компактность, полная герметичность и небольшие габариты био и физико-химических реакторов позволяет устанавливать их не только на площадке очистных сооружений, но и на территории предприятий и даже, в ряде случаев, внутри производственных помещений.

Процесс очистки прост в управлении и может быть полностью автоматизирован. Количество необходимых контролируемых параметров минимально, например, для аэробных биореакторов – это температура, pH и ХПК очищенного стока. Процесс устойчив и к таковым нагрузкам и изменению качества поступающих сточных вод.

Большим преимуществом для сезонных производств (сахарная; крахмальная и др.) является свойство биореакторов сохранять биологическую активность без подачи новых порций воды на очистку.

Характерной особенностью технологии является исключительно малый прирост ила, например, для анаэробного - это не более 5-10 % от массы удаленных при очистке загрязнений. В то же время при очистке сточных вод в аэротенке, только количество циркуляционного (возвратного) ила составляет по объему 30-50% от расхода очищаемой воды. Количество избыточного активного ила также относительно велико (табл. 1 и 2), и при его влажности 99,2-99,6% составляет 4 л/сутки на одного человека. Кроме того, анаэробный ил после биореакторов практически стабилен (он не разлагается при открытом хранении, не распространяет неприятных запахов), легко обезвоживается. За рубежом сбыт гранулированного избыточного анаэробного ила для первичного запуска новых биореакторов приносит большую прибыль.

Реакторная очистка на локальных станциях высококонцентрированных сточных вод на предприятиях, расположенных в черте населенных пунктов, улучшает условия работы перегруженных коммунальных очистных сооружений, повышает их эффективность, уменьшает количество образующегося избыточного активного ила.

При реконструкции действующих перегруженных сооружений аэробной биологической очистки (аэротенки, биофильтры) производственных сточных вод использование аэробно-анаэробных биореакторов позволяет минимальными дополнительными затратами многократно повысить производительность станции.

Общая себестоимость аэробно-анаэробной технологии в биореакторах значительно ниже традиционной одно или двухступенчатой аэробной очистки, а надежность и качество очистки стока - выше. (ХПК снижается на 70-95 % и БПК_п на 85-90%).

На Украине новая биотехнология внедрена на:

- Ивано-Франковском заводе тонкого органического синтеза при очистке раннее сжигаемых сточных вод ($50 \text{ м}^3/\text{сутки}$) от неионогенных ПАВ с 10000 мг/л до 20 мг/л.

- Днепропетровском ПО "Азот" при очистке сточных вод производства полиизоцианата ($720 \text{ м}^3/\text{сутки}$) от анилина в концентрации

1500мг/л и других загрязнителей - до ПДК для сброса на биологические очистные сооружения.

- Черниговском ПО "Химволокно" в очистке раннее сжигаемой "мертвой" сточной воды (80м³/сутки) производства анида (найлона 66) от гексаметилендиамина с 1500...4000 мг/л до менее 5 мг/л

- Автостоянка ВС Украины, Киев.

- а также на ряде птицефабрик и животноводческих комплексов при очистке бытовых сточных вод в поселках городского типа и районных центрах

Количество избыточного активного ила в аэротенках при полной очистке сточных вод

Таблица №1

БПК _п г/м ³ очищенных сточных вод	15	20	25
Количество избыточного ила на 1 м ³ жидкости, г сухого вещества	160	200	220

Количество избыточного активного ила в аэротенках при неполной очистке сточных вод

Таблица №2

Снижение БПК _п сточных вод, %	30	70	60	50
Количество избыточного активного ила на 1 м ³ жидкости, г сухого вещества	220	210	190	170

1. Классификация реакторов, применяемых и очистке сточных вод.

Реактор - это аппарат, в котором происходят различные процессы - реакции (биохимические, химические, ядерные, физико-химические и др.), Реактор от французского recteur, английского - reactor, латинского ге...против+астог...действующий.

Химический реактор - это аппарат для проведения химических реакции при заданных температурах и давлениях. Биологический реактор - это аппарат для проведения биохимических реакций (процессов) в аэробной или анаэробной среде при заданной температуре, давлении, pH и других факторов с помощью специальных микроорганизмов.

Ниже предлагается классификация реакторов, применяемых в очистке сточных вод. Автор претендует только на абсолютность такой классификации, т.к. считает, что развитие реакторов лежит только в начале своего пути. С каждым годом растет не только их число, но и всевозможность конструкций и различных процессов, происходящих в них.

Так, появились реакторы, в которых в одной части происходят биохимические процессы в анаэробных условиях, а в другой части - в аэробных условиях. Изменяются их формы, появляются комбинированные сооружения, создаются новые виды загрузки с новыми начертаниями.

По методу очистки сточных вод реакторы делятся на:

- а) Биологические ;
- б) Физико-химические;
- с) Химические.

1 Биологические реакторы в свою очередь классифицируются по таким признакам:

1 По подаче воздуха:

- а) аэробные;
- б) анаэробные;
- с) аэробно-анаэробные .

2. По иммобилизации
микроорганизмов в аппарате:

- а) с прикрепленными
микроорганизмами на загрузке;
- б) с плавающей микрофлорой:
 - в рабочем объеме;
 - в рабочем слое.
- с) комбинированные.

3. По конструктивным особенностям:

- а) с прикрепленной насадкой;
- б) с вращающейся насадкой;
- с) с псевдоожиженным слоем.

4. По конструктивно-технологическим признакам или комбинированные сооружения-реакторы;

- а) биофильтры
- б) биосорберы
- с) биотенки
- д) фильтр-биореактор
- е) флототенки.

5. По другим признакам:

- а) по виду загрузки (плоская, объемная и др).
- б) по форме реактора (конические, цилиндрико-конические, пирамидальные, тороидальные и др)

II Физико-химические реакторы бывают:

- а) химические (реакторы нейтрализации) и др.
- б) электрохимические (плазмохимические) и др,
- с) физические (реактор-с месите ль) и др.

2.Биореакторы для очистки сточных вод.

2.1. Аэробно-анаэробный биореактор с иммобилизованной микрофлорой на прикрепленной загрузке и со свободноплавающими микроорганизмами в рабочем слое. Технологическая схема очистки сточных вод с участием аэробно-анаэробных биореакторов.

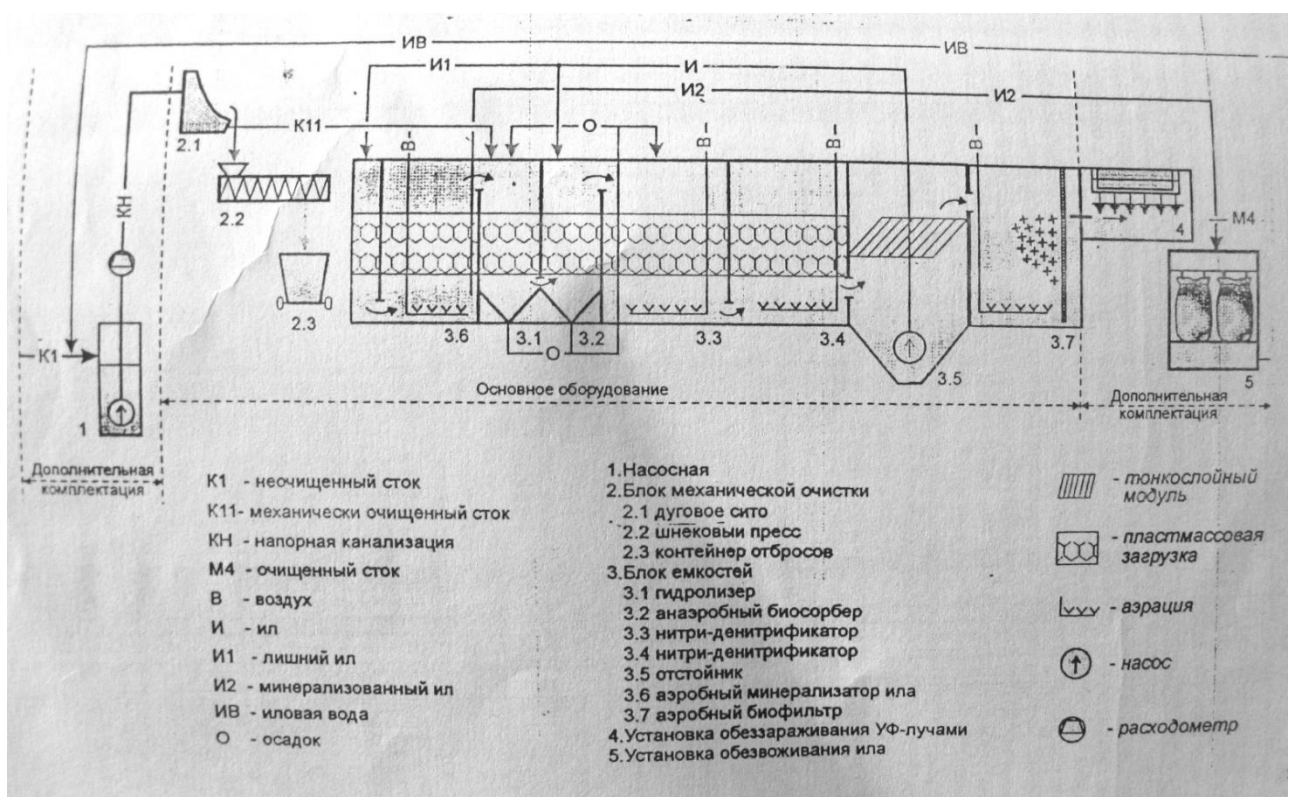


Рис.1. Технологическая схема станции ВКВ – 60000-911

Биореактор, разработанный российско-украинской фирмой "Комплект-экология"» применяется для очистки сточных вод от органических загрязнений при переработке стоков гостиниц, ресторанов, жилых домов, школ, больниц, а также пищевой, овоще-, мясоперерабатывающей промышленности. Биореакторы могут устанавливаться на станциях биологической очистки с производительностью от 120 м³/сутки до 55000 м³/сутки. Станция биоочистки с $Q = 55000$ м³/сутки построена в городе Озерске (Россия), включает в себя блок механической очистки, блок

емкостей ВКЗ-60000.911 (биореактор), вспомогательные помещения Биореактор состоит из контейнеров-модулей (рис 1) и представляет собой прямоугольный металлический резервуар, разделенный внутри перегородками, образующие многоступенчатые аэротенки. Все ступени аэротенка оборудуются пластмассовой загрузкой, которая крепится в средней части биореактора и иммобилизует на себя микрофлору. В нижней части биореактора активный ил находится во взвешенном состоянии. Аэрация осуществляется придонными аэраторами. Процесс очистки СВ осуществляется биоценозом микроорганизмов в восстановительных условиях, постепенно переходящие в окислительные, соответственно нагрузка меняется от высокой до низкой на микроорганизм также постепенно. Это создает благоприятные условия для нитрификации-денитрификации. Оба процесса происходят одновременно. Прикрепленный биоценоз микроорганизмов последних камер характеризуется формированием богатого и разнообразного видового состава простейших, которые являются регулятором прироста активного ила. Избыточный активный ил имеет достаточно высокую степень минерализации, потому хорошо обезвоживается. Он вывозится в мешках и используется как органическое удобрение. Прирост ила в 3-4 раза меньше, чем у аэротенков такого класса. Небольшое количество взвешенных веществ в сбрасываемом очищенном стоке составляют гидробионты 2-го и 3-го трофических уровней. При сбросе они не нарушают естественный баланс водоема, включаясь в трофические системы (хищные коловратки, малощетинковые черви, сосущие инфузории - представители 3-го трофического уровня являются отличным кормом для рыб; бактериядные инфузории, нематоды, коловратки - представители 2-го трофического уровня; усиливают бактериальную очистку в планктоне, перифитоне, тем самым улучшая санитарное состояние водоема). Лишний активный ил, количество которого устанавливается достаточным для удаления фосфора, отводится в аэробный минерализатор, где благодаря трофическим взаимоотношениям микроорганизмов, масса ила снижается в 2-3 раза.

Данная технология позволяет задержать богатый и разнообразный биоценоз, который на 99% обеспечивает биологическую дезинфекцию ила и стока

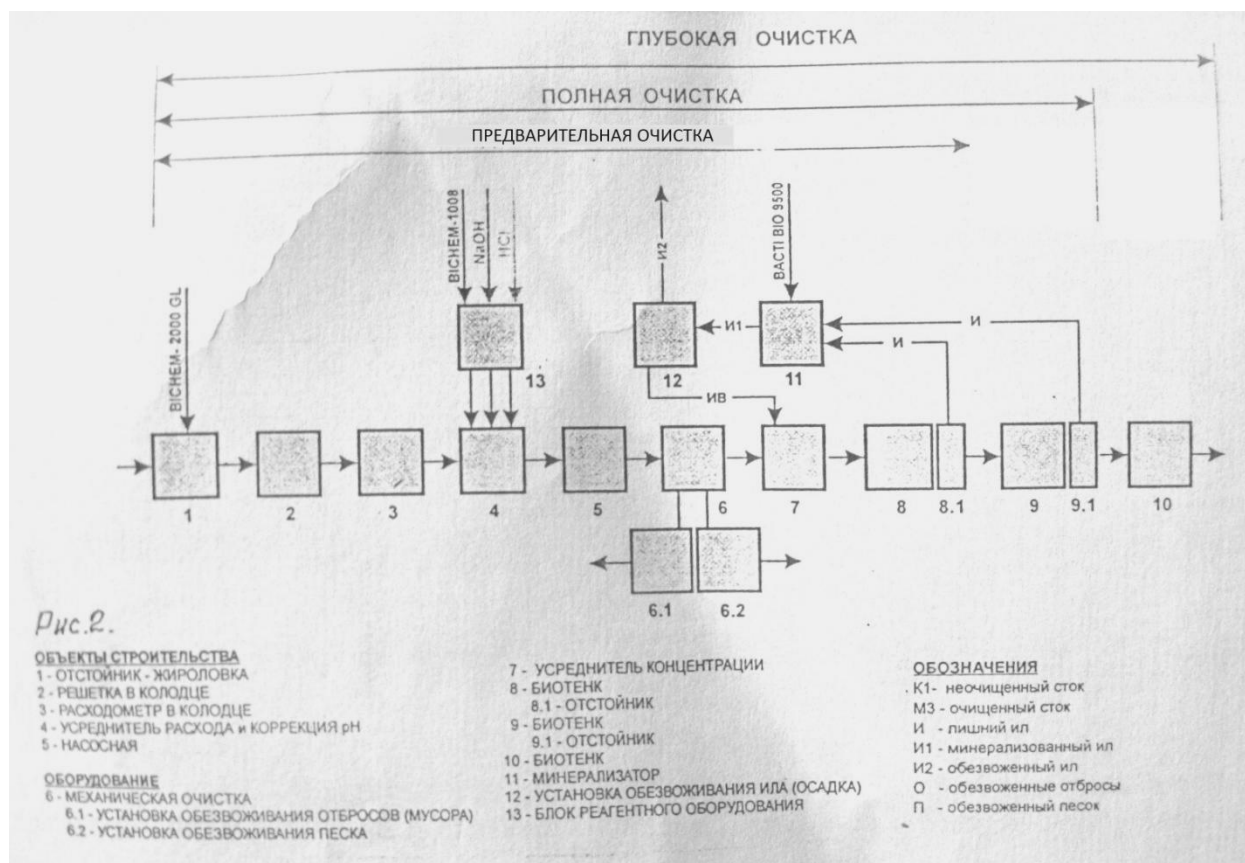
Эффективная технология, сочетающая аэробные и анаэробные процессы, использующая как взвешенный в нижней части биореактора, так и прикрепленный в средней части активный ил, биосорбцию, фильтрацию, позволяет обеспечить стабильное количество очистки воды при;

- гидравлических нагрузках от 25 до 100 %;
- концентрациях загрязнения от 50 до 500 мг/л БПК;
- снижении температуры стоков до $+10^0$ C;

При длительных перерывах в подаче СВ или электроэнергии, биореактор быстро (в течение нескольких суток) входит в оптимальный режим работы.

Станция с применением таких биореакторов имеет следующие достоинства:

1. Высокая степень очистки СВ (таблица 3)
2. Простота и надежность в эксплуатации
3. Компактность (занимаемая площадь 34-95.2 м²)
4. Возможность к расширению
5. Чистый биологический процесс
6. Минимальные затраты на подключение
7. Отсутствие запаха
8. Высокая устойчивость к колебаниям нагрузок
9. Минимальное количество избыточного активного ила
10. Низкое энергопотребление (3,2-14,1 кВтч)
11. Не требуется квалифицированного обслуживания



№ п/п	Наименование показателей	Производительность, м ³ /сутки	
		1600	55000
1	Взвешенные вещества, мг/л	3	5-7
2	БПК мгО ₂ /л	3	3-6
3	Азот аммонийный, мг/л	0,4	2-4
4	Нитраты, мг/л	1-2	4-6
5	Фосфаты, мг/л	< 0,2	12
6	Жиры, мг/л	< 1	< 5
7	Coli, Fee	< 100	< 1000
8	ХПК мгО ₂ /л	15-20	30

Российско-украинским экологическим холдингом "Комплект-экология" разработана технологическая схема (рис. 2) для очистки СВ таких производств, как: пивоваренное, спиртовое, безалкогольных напитков, винодельческое, крахмалопаточное, молокоперерабатывающее, мясоперерабатывающее, сахарное, кондитерское и др.

Условия технологического процесса очистки меняются от анаэробных до аэробных с использованием последовательно меняющихся изолированных иммобилизованных биоценозов, а также минерализованного взвешенного ила, содержащего большое количество ферментов.

Автоматическое поддержание оптимальных условий аэробности на каждой стадии позволяет вести очистку стоков с:

1. минимальными затратами электроэнергии,
2. минимальным количеством лишнего ила .

2.2 Аэробные и анаэробные биореакторы "БРИЗ", разработанные фирмой "Бионик"

Фирмой "Бионик" [3,4] разработана гибкая технология биологической очистки сточных вод, удовлетворяющая требованиям водоема рыбохозяйственного назначения. Преимущество этой технологии заключается в использовании на 1-ой стадии анаэробного окисления, которое в отличие от аэробного не требует значительных энергозатрат и не сопровождается большим приростом активного ила.

Разработаны биореакторы производительностью от 1 м³/сутки до 100 м³/сутки. Сравним два варианта очистки сточных вод на однотипных аппаратах с небольшими изменениями технологического режима обработки стоков. На рисунке 3 представлена принципиальная технологическая схема

очистки сточных вод для расхода до $25 \text{ м}^3/\text{сутки}$, реализующая анаэробную очистку СВ.

Исходная сточная вода поступает в приемную камеру, где происходит удаление крупных взвесей всплывающих веществ и песка, которые задерживаются специальной «корзиной» с прозорами 8 мм. Прошедшая приемную камеру сточная вода через треугольный водослив сливается в регулирующий резервуар, из которого вода насосом в расчетном количестве направляются в анаэробный биореактор 1-ой ступени, а избыточная часть воды возвращается в регулирующий резервуар.

В анаэробном биореакторе происходит биологическая деструкция органических загрязнений сообществом взвешенных иммобилизованных на волокнистой загрузке типа "Вия" микроорганизмов осветление частично очищенной сточной воды в верхней части аппарата. Загрузка представляет собой капроновый текстурированный шнур (масса - 60 гр на погонный метр, длина бахромы - 100 мм), намотанный по спирали - многограннику на крючки кольцевых рамок, которые одеваются своей опорно-центрирующей средней частью на отводящий трубопровод реактора.

Для интенсификации протекания окислительных процессов предусмотрено рециркуляционное перемешивание насосом. После первой ступени окисления сточная вода подается на анаэробный биореактор 2-ой ступени, где происходит дальнейший процесс анаэробной переработки загрязнений микроорганизмами, дополнительное осветление воды и уплотнение избыточной биомассы. Очищенная вода подается на фильтрацию и обеззараживание.

Объем и число необходимых биореакторов зависит от расхода и концентрации сточных вод. Ориентировочно для очистки $1 \text{ м}^3/\text{сутки}$ СВ требуется аппарат объемом $0,85 \text{ м}^3$, для очистки $15 \text{ м}^3/\text{сутки}$ СВ-аппарат объемом 13 м^3 .

Биореакторы представляют собой вертикальные колонные аппараты с соотношением высот к диаметру - (3-6): 1, с коническим днищем, герметически съемной крышкой. Корпус металлический, изготовленный из стали (ст 3) с покрытием, теплоизолированный ($t = -30^\circ \text{C}$). Реакторы рассчитаны на 20 лет эксплуатации. Простота эксплуатации обеспечена возможностями полной автоматизации работы аппаратов. Установка компактна и необходимая площадь для размещения сооружений не превышает 9×5 при производительности $25 \text{ м}^3/\text{сутки}$.

На рисунке 4 представлен второй вариант технологической схемы очистки СВ с расходом от $25 \text{ м}^3/\text{сутки}$ до $50 \text{ м}^3/\text{сутки}$. Предназначается для небольших поселков, промышленных объектов с автономной очисткой сточных вод и близких к ним по составу производственных сточных вод, где уровень эксплуатации более квалифицирован.

Схемой предусмотрена аналогичная 1-ая ступень анаэробной очистки сточных вод, а 2-ая ступень представляет собой тот же аппарат "БРИЗ", но работающей в анаэробном режиме с рециркуляцией сточных вод. Насыщение воды кислородом происходит либо в промежуточном напорном баке, либо с помощью эжектора на всасывающей линии рециркуляционного насоса. Введение в технологическую схему аэробного биореактора позволяет исключить дополнительную стадию глубокой биоочистки. Эффективность процесса 2-го варианта соответствует эффективности 1-го варианта, но экономические различия, безусловно, есть. Для сопоставления двух вариантов технологических схем на рисунке 5 дан материальный баланс из расчета на условную единицу - 10 кг ХПК.

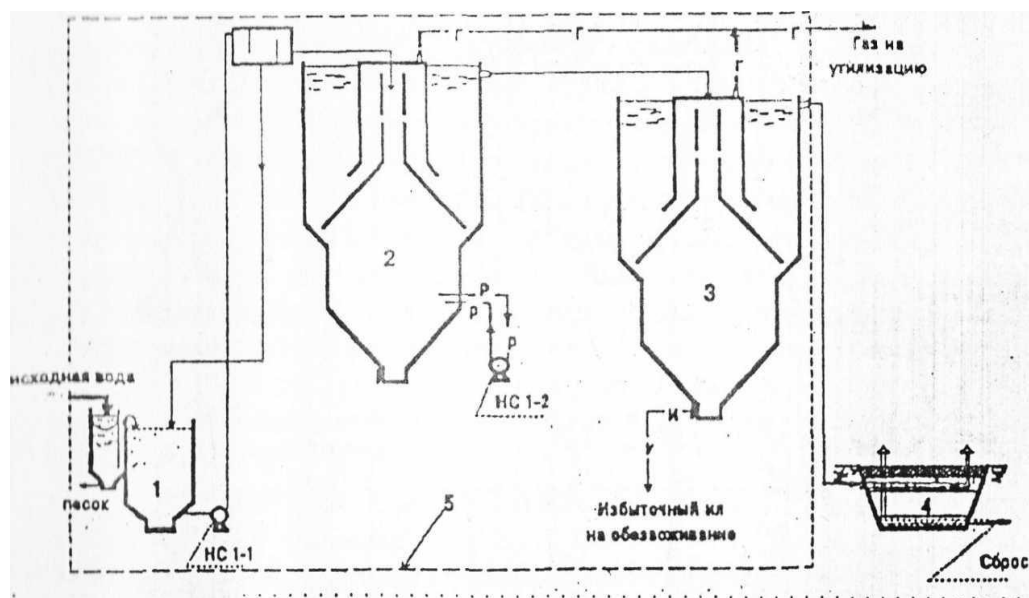


Рис 3. Принципиальная технологическая схема очистки бытовых сточных вод:

1 - приемный резервуар; 2 - анаэробный реактор с рециркуляцией; 3 - анаэробный реактор без рециркуляции; 4 - фильтрующая траншея; 5 - здание; НС 1-1 - насос подачи воды на очистку; НС 1-2 — насос для рециркуляции; р - трубопровод рециркуляционной воды; г - газопровод; и - илопровод для стабилизации осадка.

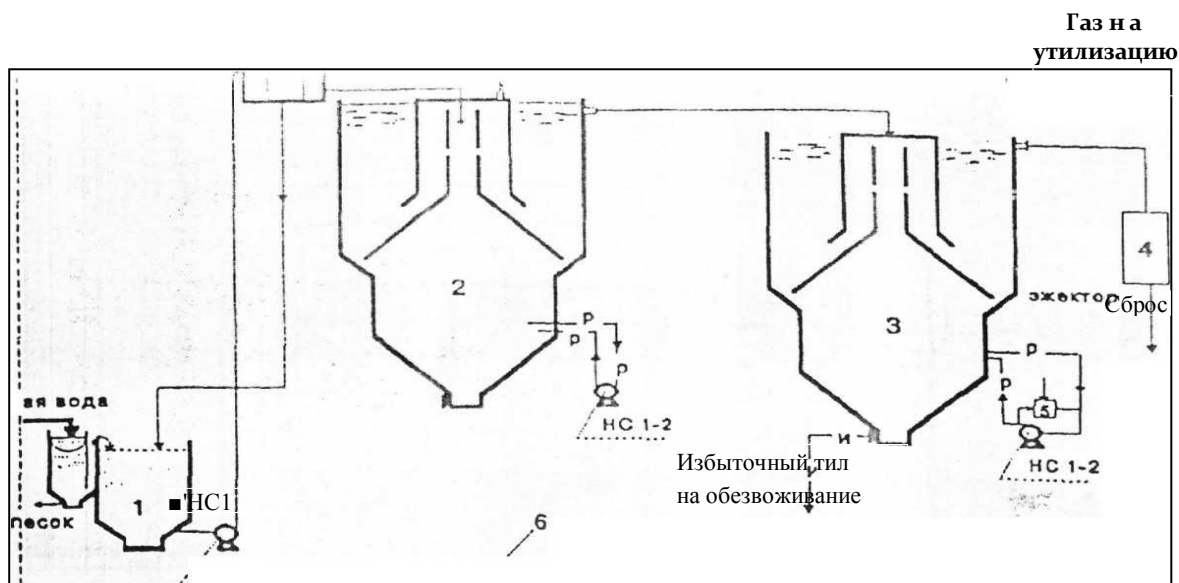


Рис.4 Принципиальная технологическая схема очистки бытовых сточных вод (расход 25-50 м³/сут)

1 - приемный резервуар; 2 - анаэробный реактор с рециркуляцией; 3 - аэробный реактор; 4- блок обеззараживания; 5- эжектор; 6- здание; НС 1-1 - насос подачи воды на очистку; НС 1-2 - насос для рециркуляции; р - трубопровод рециркуляционной воды; г - газопровод; и - илопровод для стабилизированного осадка.

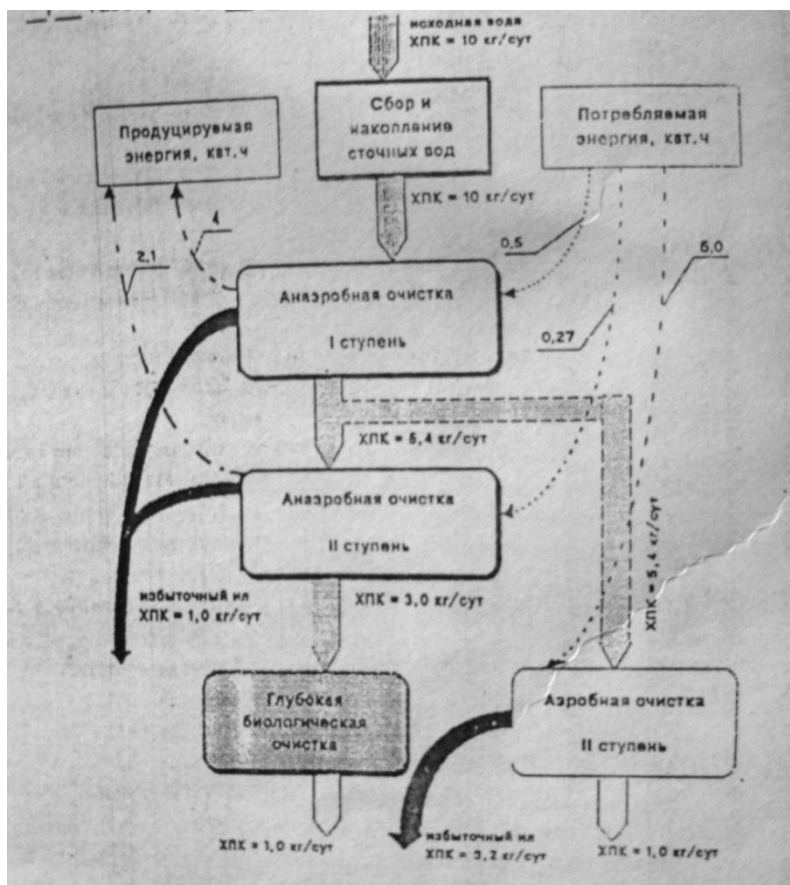


Рис.5 Материальный баланс трансформации загрязнений

Как видно из рисунка 5 при одинаковом качестве очищенной сточной воды замена анаэробного биореактора 2-ой ступени на аэробный приводит к увеличению суммарного прироста ила примерно в 4 раза, что усложняет процесс обработки осадка. Кроме того, потребляемая энергия возрастает примерно в 20 раз в случае применения воздуходувок. Однако для расхода сточных вод более 15-25 м³/сутки преимущественно вторичной схемы определяется компактностью размещения аэробного биореактора, меньшей удельной площадью,

В обоих случаях достигаются требования водоема рыбохозяйственного назначения, то есть концентрации загрязнений в очищенной СВ равны:

- БПК = 3 мг/л;
- Взвешенные вещества 3 мг/л;
- ПАВ = 0,5 мг/л;

Анаэробные методы обработки предпочтительней аэробных из-за низких энергозатрат, прироста биомассы и потребности в биогенных элементах. Значительным преимуществом является получение биогаза и связанной с ним рекуперацией энергии. В среднем выход метана составляет 0,1-0,35 м³ на 1 кг снятой ХПК. И следует отметить возможность анаэробной обработки сточных вод с концентрацией по ХПК до 75-100 кг/м³. По современным представлениям анаэробное разложение органических загрязнений производственных сточных вод до конечных продуктов осуществляется след. образом (рис. 6)



Рис. 6 Схема анаэробного разложения органических загрязнений.

Одним из ключевых факторов анаэробного процесса является температура. Считается, что скорость роста микробной популяции и соответственно ее активность удваиваются при повышении t рабочей среды на каждые 10°C . Эта зависимость наблюдается в диапазоне $t = 35-37^{\circ}\text{C}$ (мезофильный режим), в котором работают большинство анаэробных биореакторов. Прирост активной биомассы при анаэробном процессе составляет 0,05-0,5 кг сухого вещества на 1 кг снятой ХПК, что существенно меньше показателей обычных аэротенков. Установлено, что чем интенсивнее процесс метанообразования, тем меньше прирост биомассы, и наоборот. Необходимое соотношение биогенных элементов для анаэробного процесса «ХПК: азот: фосфор» составляет 100:2:0,1. Так как потребность в азоте и фосфоре значительно ниже, чем при очистке в аэробных условиях, многие производственные сточные воды могут быть обработаны без биогенной подпитки.

2.3. Анаэробный биореактор со свободноплавающей микрофлорой в рабочем объеме

Процесс анаэробного разложения органических веществ происходит в рабочем объеме микроорганизмами (5), которые поддерживаются во взвешенном состоянии с помощью механического перемешивания или барботаж (рис. 7).

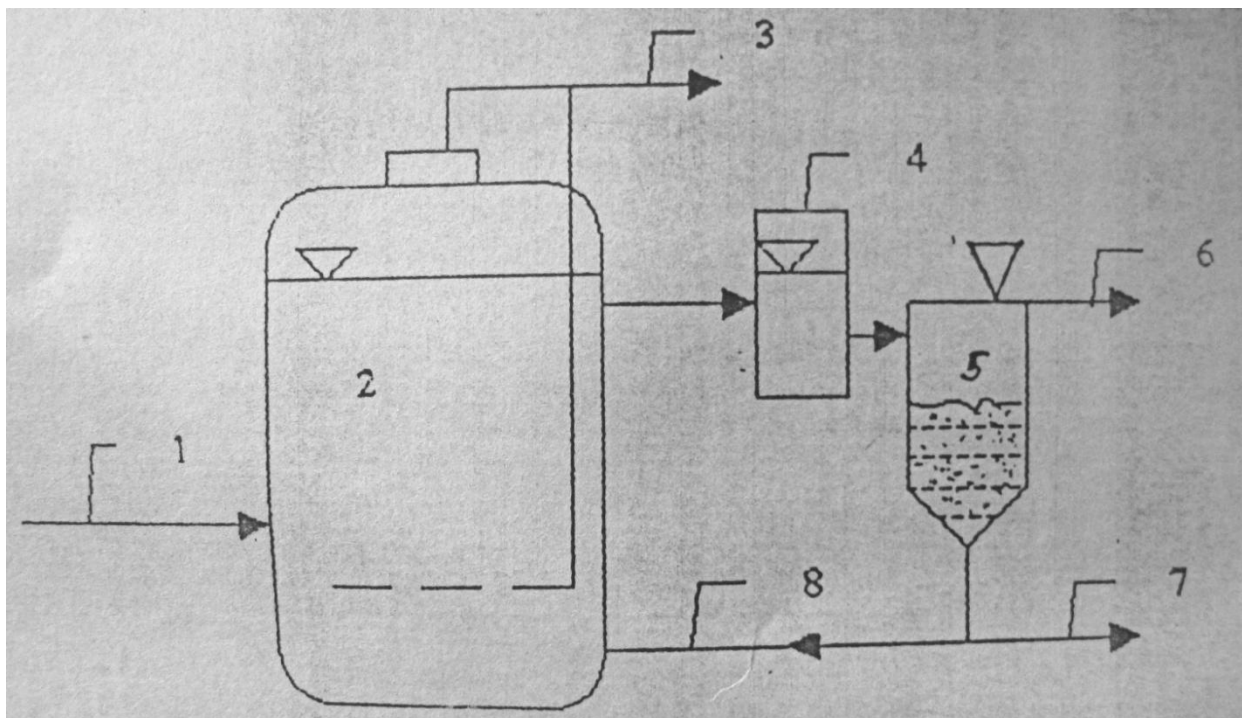


Рис. 7. Анаэробный биореактор со свободноплавающей микрофлорой.

1 - исходная сточная жидкость; 2 - реактор; 3 - биогаз; 4 - дегазатор; 5 - илоотделитель; 6 - обработанная сточная вода; 7 - избыточный активный ил; 8 - возвратный активный ил.

Данная технология успешно применена на сахарном заводе в городе Оффштейне (Германия). Расход сточных вод - 2100 м³/сутки, нагрузка 23 т/сутки, снижение БПК на 98%. Аналогичные установки функционируют на сахарных заводах городов Юлих и Платтинг (Германия) с нагрузкой 30 и 35 т/сутки соответственно, а также на спиртовом заводе в г. Агрифула (США) с нагрузкой 330 т/сутки. Основные технические показатели процесса даны в таблице 4.

Таблица 4

Основные технические показатели очистки	Величина
ХПК исходной воды, мг/л	≥2000
БПК _п исходной воды, мг О ₂ /л	≥1000
Температура процесса, °С	35
Удельная нагрузка по ХПК, кг/(м ³ сут)	(1)3-6
Снижение ХПК, %	60-90
Снижение БПК _п , %	70-95
Биогенные элементы, ХПК:N:P	100:2:0,1
Прирост ила, кг/кг	0,1
Возраст активного ила, сут.	30-100
Время контакта, сут.	1-3
Выход газа, м ³ /(кгХПК)	0,1-0,4
Содержание метана, %	60-80
Содержание углекислого газа, %	20-30
Гидравлическая нагрузка на поверхность илоотделителя м ³ /м ³ ч	0,6-0,6
Режим удаления избыточного ила	Непрерывный

Опыт показывает, что наряду с достоинствами реактора, они весьма чувствительны к колебаниям pH, температур, исходной нагрузки, а также к наличию в стоках сульфидов, перекиси водорода, тяжелых нефтепродуктов. Эффект работы илоотделителя и реактора существенно улучшается при подаче в исходную сточную воду известкового молока с изменением pH от 5-6 до 7-8.

2.4. Анаэробный биореактор со свободноплавающей флорой в рабочем слое.

Процесс анаэробного окисления органических веществ происходит при движении СВ через уплотненный и частично гранулированный слой [7,3] анаэробной микрофлоры, находящейся в нижней части реактора (рис. 8)

Данная технология применена на ряде пивоваренных заводов во Франции г. Марсель (13 т/сутки - загрузка) снижение БПК на 90%; в г.

Антрактике (Бразилия) с нагрузкой 7,8 т/сутки и в г. Лакнау (Индия) с нагрузкой 14 т/сутки.

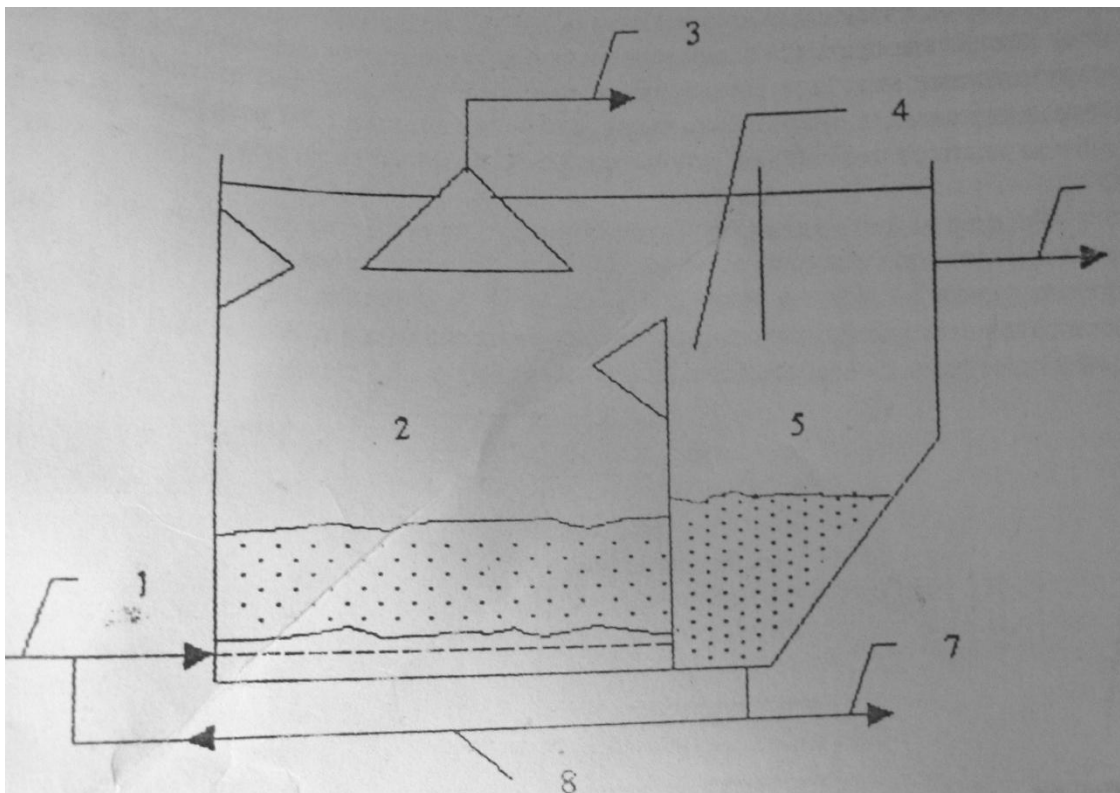


Рис.8. Анаэробный реактор со свободноплавающей флорой в рабочем слое.

1 – исходная СВ; 2 – реактор; 3 – биогаз; 4 – дегазатор; 5 – илоотделитель; 6 – обработанная сточная вода; 7 – избыточный ил; 8 – возвратный ил.

Основные технические показатели работы сооружений даны в таблице 5.

Основные технические показатели очистки	Величина
ХПК исходной воды, мг/л	>500-1000
БПК исходной воды, мгСУл	>500
Температура процесса, °С	25-35
Удельная нагрузка по ХПК, кг/(м ³ сут.)	10-20
Снижение ХПК, %	60-90
Снижение БПК %	70-95
Высота реактора, м	5
Высота рабочего слоя, м	2,5-3
Размер иловой гранулы, мм	2
Возраст ила, сут.	> 100
Время контакта, сут.	0,2-1
Режим удаления избыточного ила	Непрерывный

Потребность в биогенных элементах, прирост ила и параметры по выходу и состав биогаза аналогичны показателям реактора со свободноплавающей микрофлорой в рабочем объеме.

2.5. Анаэробный биореактор с прикрепленной микрофлорой на неподвижной загрузке.

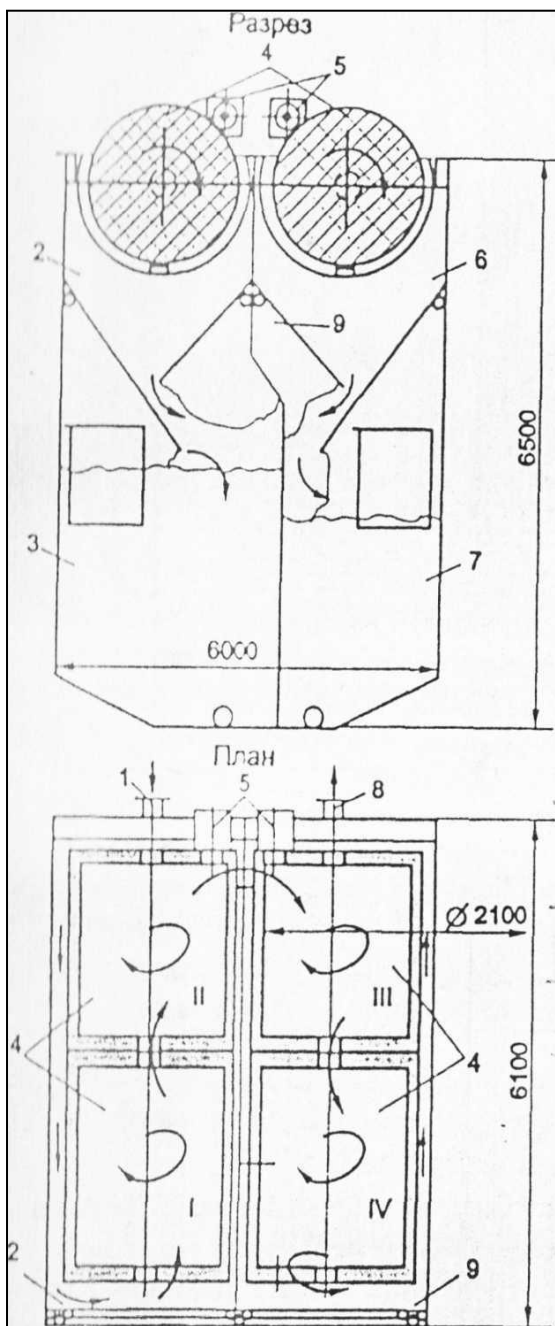


Рис 10. Схема установки «КУРБ-250» 1 - впуск сточной воды; 2 - зона первичного отстаивания; 3 - септическая камера для осадка; 4 - ротор биофильтра; 5 - приводы роторов; 6 - зона вторичного отстаивания; 7 - септическая камера биопленки; 8 - выпуск очищенной воды; 9 - отвод газа

Анаэробное разложение органических (5) загрязнений сточных вод осуществляют по мере движения сточной жидкости снизу вверх или сверху вниз через слои инертной загрузки (гравий, пластмассовая крошка, стекло и т. п.) покрытой биопленкой. Основные технические показатели процесса в целом аналогичны показателям биореакторов, работающих микроорганизмами, находящимися во взвешенном состоянии, однако отношение возраста ила и времени контакта существенно выше, а рабочий объем в 1,5-2 раза ниже. Для успешной работы реактора необходимо, чтобы удельная поверхность загрузки была не ниже $100 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Реактор данного типа (рис 9), являющийся по существу аэробным фильтром, применен на заводе молочных продуктов в г. Магнер (Франция): расход сточных вод $264 \text{ м}^3/\text{сутки}$; нагрузка $2,8 \text{ т/сутки}$, снижение БПК_{на} 98%, удельная нагрузка - $10,8 \text{ кг}/(\text{м}^3 \text{сут.})$. Аналогичные реакторы функционируют на сахарных заводах в г. Ахаузене (Германия) с нагрузкой 65 т/сутки , в г. Фернесе (Бельгия) с нагрузкой - $15,5 \text{ т/сутки}$.

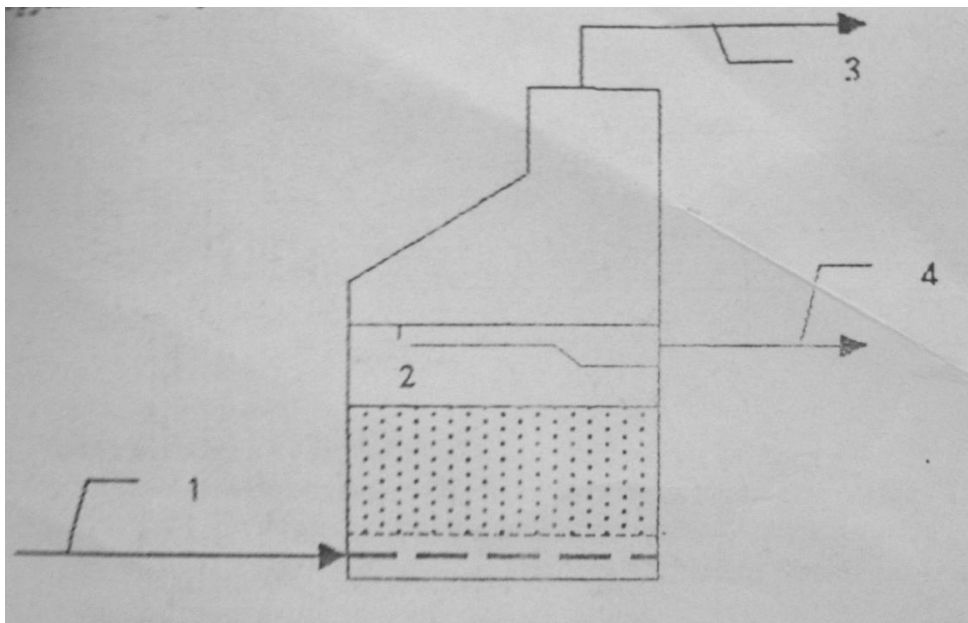


Рис. 9. Биореактор с прикрепленными микроорганизмами на неподвижной загрузке.

1 - исходная СВ; 2 - реактор; 3 - биогаз; 4 - обработанная сточная вода;

Такие реакторы подвержены быстрому заиливанию загрузки, если содержание взвешенных веществ в сточных водах превышает 200 мг/л, что необходимо учитывать при эксплуатации данного сооружения.

2.6. Аэробнореактор с прикрепленной микрофлорой на подвижной загрузке.

В данном сооружении [6] разложение органических веществ осуществляется при помощи микроорганизмов, иммобилизованных на вращающуюся загрузку (насадку) - роторные, дисковые биофильтры.

Толщина биопленки, образующейся на загрузке, играет существенную роль в процессе окисления. Увеличение ее уже в 1,5-1,8 мм повышает окислительную мощность биофильтров. Концентрация биомассы в таких сооружениях достигает 150-200 г/л, что в 50-100 раз превышает обычную дозу ила в аэротенках. Это дает возможность сокращать пребывание воды в биофильтре до 10-15 минут, что в 20 раз меньше, чем в аэротенках. В качестве примера можно привести комбинированную установку с роторными биофильтрами ("КУБР"), рис 10.

Эта установка блочной конструкции изготавливается из металла, включает в себя узел 1-го отстаивания с септической камерой, узел биоочистки с роторными биофильтрами и узел 2-го отстаивания со своей септической камерой.

Роторный биофильтр представляет собой непрерывно вращающийся барабан полупогруженный, сетчатый, заполнен насадкой из тонкостенных пластмассовых колец диаметром 20-60 мм. Производительность установки от

2 м³ /сутки до 250 м³/суки. Предназначена для очистки бытовых и производственных сточных вод, молочных, мясоперерабатывающих, овощеперерабатывающих предприятий.

При реконструкции действующих аэротенков [6] рационально применение плавающих, вращающихся биороторов в аэротенках. Это позволяет повысить окислительную мощность аэротенка в 1,5-2 раза без увеличения мощности воздуходувок, и дополнительных затрат на пневмопривод. Применение биореакторов (рис 11), которые являют собой насадку для биопленки дает возможность повысить биомассу в сооружении, обеспечив тем самым площадь для микрофлоры на уровне 1000 м²/м³ реактора (аэротенка).

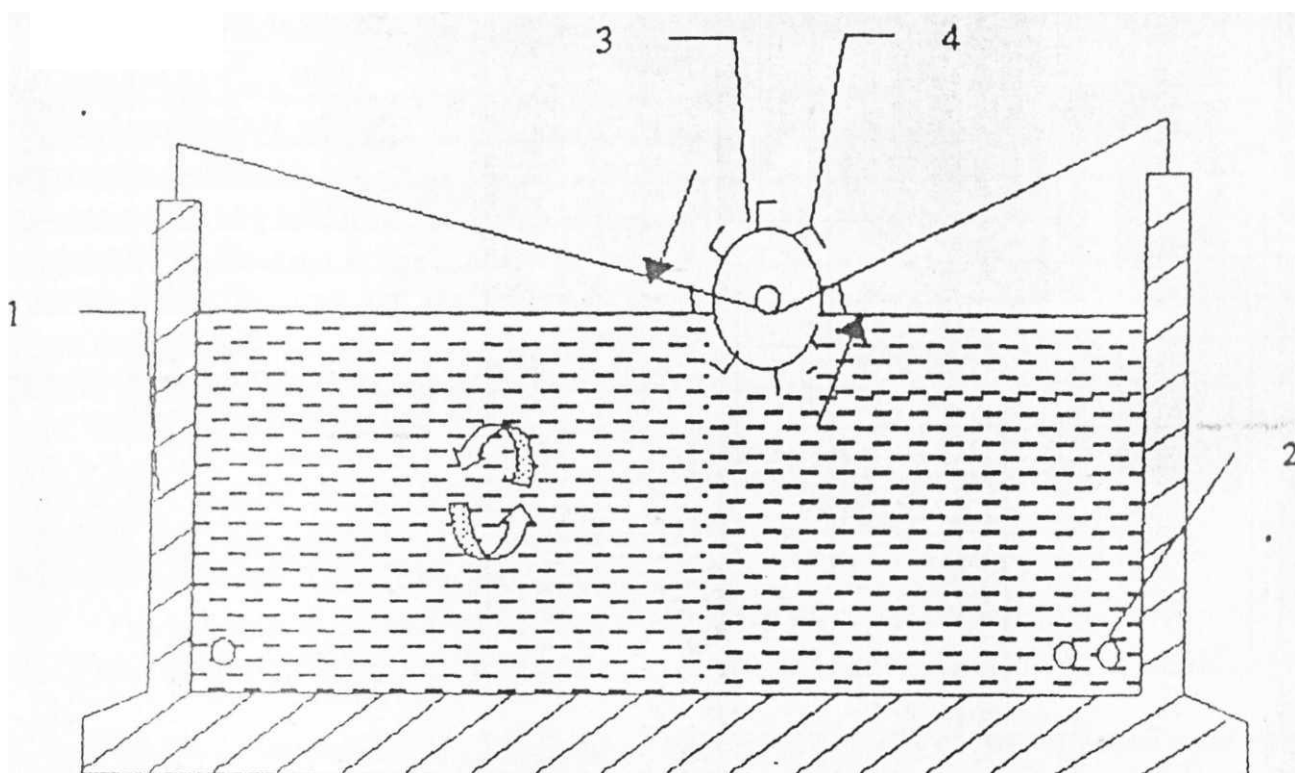


Рис. 11. Аэротенка с плавающим, возвращающимся биореактором.

1 – аэротенк; 2 – пневматические аэраторы; 3 м – биоротор с понтоном; 4 – карманы для воздуха.

В последнее время широко исследуются биореакторы, где биопленка закрепляется на погруженную в воду насадку. В основном испытывали 4 вида насадок:

- 1 Трубчатая;
2. Ленточная
3. Плоскостная;
4. Сетчатая с ячейками размером 10 X 10 мм

Насадки позволили повысить дозу ила в биореакторах в 1,5-2 раза. Так как активный ил закрепляется на насадках; то технологическая схема

работает без вторичных отстойников. В режиме доочистки насадка дает возможность снизить БПК, до 4-5 мг/л

По технико-экономическим показателям наиболее перспективным видом является сетчатая насадка. Ее количество на 1 м³ загрузки составляет 0,75 кг/м⁵ (для ленточной - 30 кг/м³, плоскостной - кг/м³. "Ершей" - 10 кг/м³); удерживающая способность ила сетчатой насадки составляет - 4500 г/кг (что для ленточной - 220 г/кг, плоскостной - 450 г/кг, "ершей" - 400 г/кг).

Высокие показатели сетчатой насадки объясняется тем, что активный ил закрепляется на всех ее нитях довольно толстым слоем до 3 мм. Такая насадка не засоряется, легко регенерируется и не обрывается, как "ерши".

Из трубчатых загрузок наибольшее применение нашли загрузки типа BIO-BLOCK. Пластмассовая загрузка BIO-BLOCK используется в очистных сооружениях, предназначенных для очистки и предочистки производственных и бытовых стоков низкой, средней, а также высокой концентрации.

Пластмассовая загрузка BIO-BLOCK изготовлена из биологически, химически механически устойчивого полиэтилена и соответствует мировым стандартам.

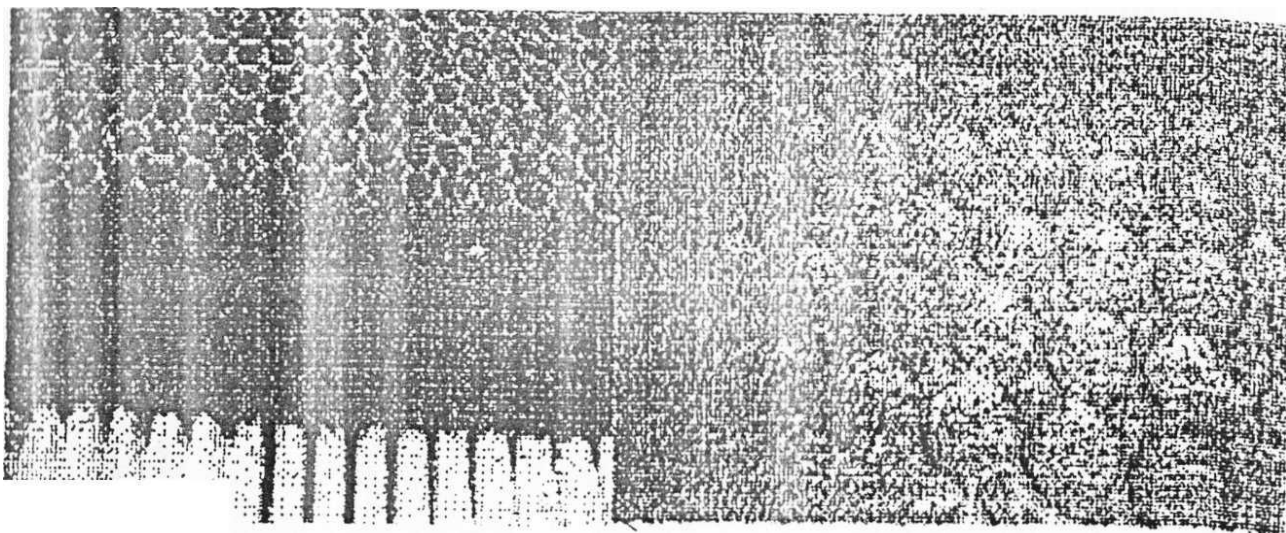


Рис. 12. Пластмассовая загрузка BIO-BLOCK Конструкция **BIO-BLOCK** представляет собой объемный блок, состоящий из соединенных между собой полиэтиленовых труб. Особая поверхность позволяет увеличить площадь загрузки и способствует иммобилизации большого количества биомассы микроорганизмов, что увеличивает эффективность работы очистных сооружений.

Технические характеристики BIO-BLOCK 200, 300

	200 м ² /м ³	300
Удельная площадь м ² /м ³		
Свободное прохождение потока	-60%	- 50%
Процент свободного пространства	-82%	-65%
Диаметр труб	55 мм	30

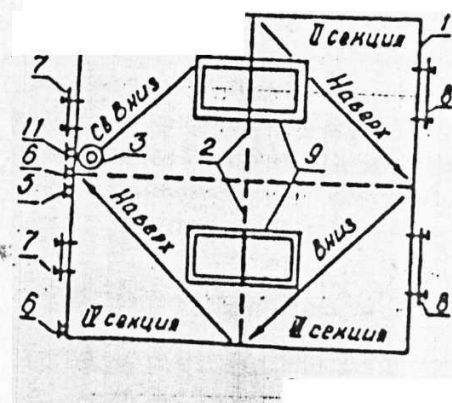
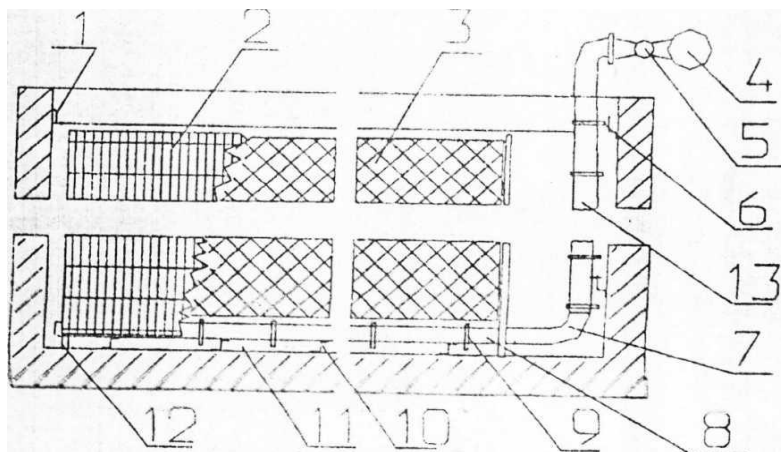
Предлагаемые АО "Бротеп-ЭКО" (Украина) пластмассовые наполнители (загрузка) для биофильтров и биореакторов из гофрированных листов и труб решетчатых отличаются следующие параметры

- большая удельная поверхность - до $200 \text{ м}^2/\text{м}^3$ при высоте гофры равной 15; 20; 30; и 40 мм;
- большой объем свободного пространства для воды и воздуха - 96-98%;
- малый собственный вес - $30\text{-}35 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- большой срок службы (долговечность) - до 20 лет.

Гофрированные ПВХ листы используются в качестве наполнителя (загрузка) в системах биологической очистки производственных и бытовых сточных вод и являются основным технологическим элементом, от качества и технических характеристик которого зависит эффективность очистки.

Аэротенки с погружаемым наполнителем (загрузкой)

Погружаемый наполнитель (загрузка) является собой дополнительную, с прямой вентиляцией плоскость, на поверхности которой образуются колонии микроорганизмов, и используется в биореакторах с целью увеличения биомассы. Благодаря большой удельной поверхности ($200 \text{ м}^2/\text{м}^3$) и большому объему свободного пространства (96-93 %), как минимум вдвое увеличивается продолжительность контакта воздушных пузырьков, тем самым значительно повышается кислородная подпитка сточных вод.



- 1 - стяжной замок;
- 2 - боковая четырехсторонняя стенка с нижней вентиляционной камерой;
- 3 - погружаемый наполнитель (загрузка);
- 4 - главный воздушный распределитель;
- 5 - шариковый вентиль;
- 6 - натяжной трос с крепежным устройством;
- 7 - соединительный шланг;
- 8 - мембранный вентиляционный шланг;
- 9 - кольцевой ползунок;
- 10 - нижняя строительная конструкция;

- 11 - направляющая планка;
- 12 - натяжной трос с направляющим роликом

Рис 13. Биореактор с погружаемым наполнителем (загрузкой)

2.7. Анаэробные биореакторы с иммобилизированной микрофлорой на закрепленной насадке.

Данный биореактор [6] применяют для очистки сточных вод в производстве козеина. При применении насадки в сооружении из производственных сточных вод удаляется 85-95 % загрязнений при формировании меньшего количества биомассы, кроме того, экономия электроэнергии и производственных площадей или территории под очистные сооружения. Аэробные же процессы очистки производственных стоков на предприятии пищевой промышленности противопоказаны из-за опасности загрязнения воздуха микробными аэрозолями.

Анаэробный биореактор размером 4 х 4 х 4 м изготовлен из листовой стали с $b = 10$ мм и установлен на фундамент, внутри разделен перегородками на секции (рис. 13). Сточные воды через штуцер подаются на секцию 1, откуда через окно размером 300 х 300 мм, расположенное внутри перегородки, перетекают во вторую секцию, в которой сточные воды поднимаются и по аналогичному окну перетекают в секцию 3. Размер этого окна 150х150 мм.

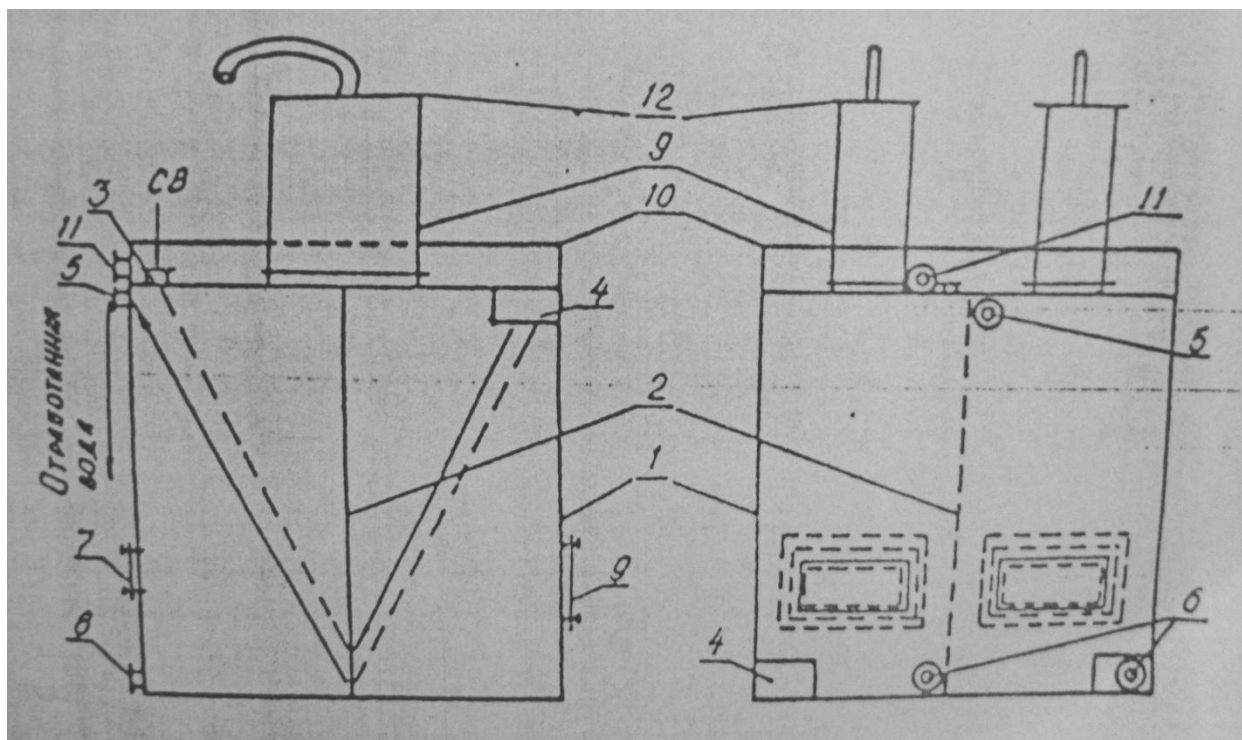


Рис. 14. Схема анаэробного биореактора для очистки СВ ПК: 1 – корпус биореактора; 2 – перегородка; 3 – штуцер подачи воды на очистку; 4 – переточное окно; 5 – штуцер очищенной воды; 6 – сливной штуцер; 7 – люк; 8 – люк-лаз; 9 – пеногаситель; 10 – бортик; 11 – штуцер; 12 – крышка с отводной трубкой; I-IV – секции биореактора.

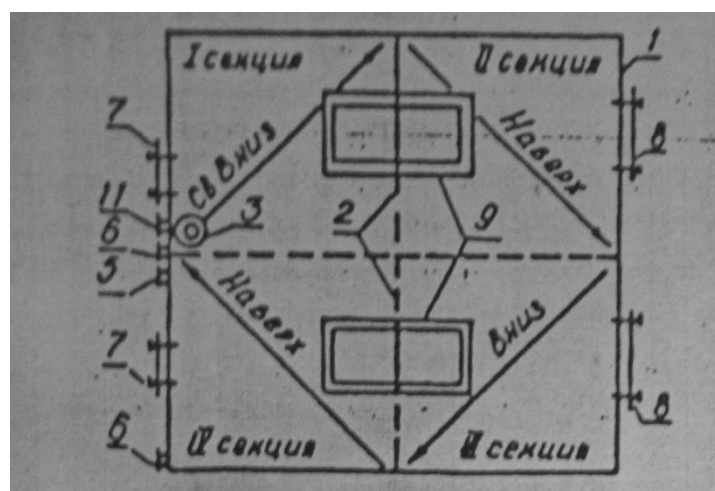
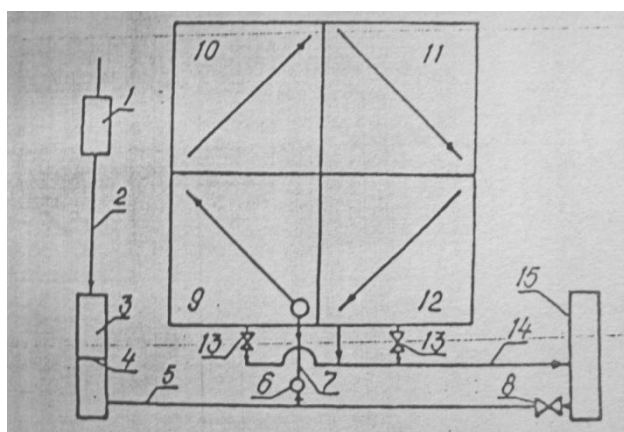


Рис. 15 Технологическая схема очистки СВ ПК:

1 - приемник СВ; 2 - трубопровод подачи СВ в сборник; 3 - сборник; 4 — решетка; 5 - трубопровод подачи СВ к насосу; 6 - насос подачи СВ в биореактор; 7 - трубопровод подачи СВ в биореактор; 8 - трубопровод и задвижка для аварийного сброса СВ в колодец обработанных СВ; 9 - первая секция биореактора; 10 - вторая секция биореактора; 11 - третья секция биореактора; 12 - четвертая секция биореактора; 13 - задвижка для удаления осадка из биореактора; 14 - трубопровод сброса обработанной СВ в колодец; 15 - колодец обработанных СВ.

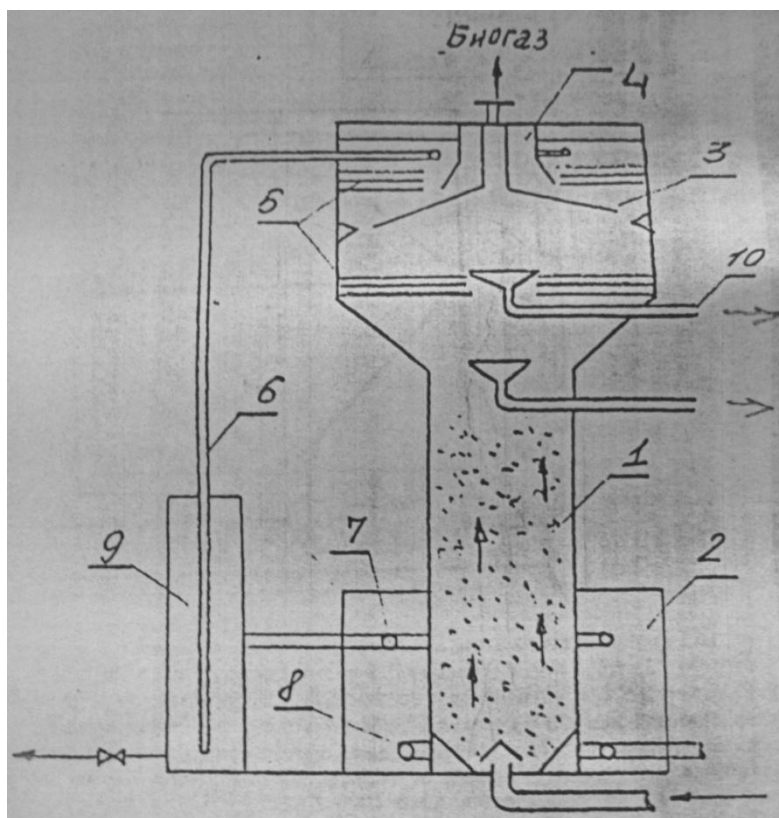
В секции 3 сточные воды впускаются и через окно размером 300х300 мм внизу перегородки перетекают в секцию 4, из которой сточные воды через переливной штуцер очищенные производственные сточные воды самотеком поступают в канализационный колодец (рис. 15). 1-ая и 4-ая секции имеют сливные штуцера для удаления осадка и для промыва реактора, а также люки, а 2-ая и 3-я секции - люки-лазы для монтажа насадки и ремонта. Над перегородкой между 1-ой и 2-ой секциями, а также 2-ой и 3-ей смонтированы пеногасители размером 0,6х1,2х 2 м с вмонтированной в них насадкой. Образующаяся в биореакторе пена разрушается на насадке пеногасителя, а закрепленные на ней микроорганизмы извлекают из выделяющихся газов и паров некоторые токсические вещества.

По периметру крышки биореактора устроен бортик, высотой 200 мм для сбора пены, если она выбрасывается на крышу и для ее отвода предназначен штуцер. Пеногасители вставлены в металлические каркасы и закрыты крышками с отводами трубками.

Насадки в секциях представляют капроновый текстурированный шнур (волокно) с иммобилизированными микроорганизмами и крепится к устройствам из стальных прутков. Использование насадки позволяет обеспечить площадь для микроорганизмов на уровне $1000 \text{ м}^2/\text{м}^3$ реактора и благодаря этому существенно снижать концентрацию загрязнений в производственных сточных водах.

Рис. 16. Схема башенного анаэробного биореактора:

1- корпус с псевдоожиженным слоем; 2 - периферийный фильтр; 3 - встроенный кольцевой отстойник; 4 - воздухоотделительное пространство; 5 - волокнистая насадка; 6 - отвод осветленной воды; 7 - подача воды на фильтр и сбор промывной воды; 8 - сбор очищенной воды и распределение промывной воды, 9 - распределительный карман фильтра; 10 - отвод избыточной биомассы.



Эффект очистки производственных сточных вод на биореакторе данного типа даной в таблице 6

Таблица 6

№ п/п	Исследуемые образцы	Показатели				
		ХПК	БПК	взвешенные вещества	NH ₄ ⁺	pH
1	До очистки, мг/л	9580	6640	5355	103	6,7
2	После очистки, мг/л	540	490	735	187	5,7
3	Эффект очистки, %	94	93	35		-

Представляем еще одну модификацию анаэробного биореактора - башенный анаэробный биореактор с прикрепленной насадкой (рис. 16.)

В башенном анаэробном биореакторе очистка производственных сточных вод происходит благодаря не только микроорганизмам, закрепленным на насадке (5), но и за счет прохождения потока СВ через слой загрузки, находящейся в псевдоожиженном состоянии.

2.8. Биореакторы с прикрепленной микрофлорой на псевдоожиженной загрузке.

Для очистки высококонцентрированных производственных сточных вод (ХПК>6000 мг/л), а также повторно используемых оборотных сточных вод с различным составом и разной концентрацией загрязнений эффективно применение реакторов с псевдоожиженным (кипящим) слоем инертной загрузки с иммобилизацией на ней микроорганизмов. Эта загрузка благодаря движущемуся снизу вверх потоку сточных вод, поддерживается в состоянии псевдоожижения, то есть в таком состоянии, когда сила гидравлического сопротивления зернистого слоя восходящему потоку сжижающего агента, становится равной весу всех его частей.

В качестве загрузки используют кварцевый песок, активированный уголь, кусочки лавы, стекло, пластмассовая крошка (гранулированные полиэтилен, полистирол), газонаполненный алюмосиликат, не вступающий в реакцию с загрязненными веществами. Природа и характер загрузки влияют на минимальную скорость оживления, которая возрастает с увеличением диаметра частиц и ростом разности плотностей между твердыми частицами загрузки и сточных вод.

Рассмотрим несколько биореакторов, работающих в режиме псевдоожижения, различных модификаций (5)

Установка данного типа сочетает как бы свойства реакторов со свободноплавающей микрофлорой в рабочем слое и реакторов с неподвижной загрузкой, с той разницей, что скорость восходящего потока (10-15 м/ч). Реактор по высоте как бы разделен на 2 зоны: в нижней зоне функционирует биопленка, прикрепленная к загрузке и заполняющая свободное пространство; в верхней зоне формируется слой гранулированного ила—плотный слой, через который осуществляется фильтрация воды, тем самым ее осветление. Реакторы не подвержены заиливанию, даже при высоких концентрациях взвешенных веществ в СВ.

Основным показателем в технологическом процессе является высота биореактора, а отношение высоты к диаметру составляет 3:1 – 5:1; степень рециркуляции воды 4-8. Эти показатели влияют на энергозатраты, расход металла, затраты на изготовление и монтаж реактора.

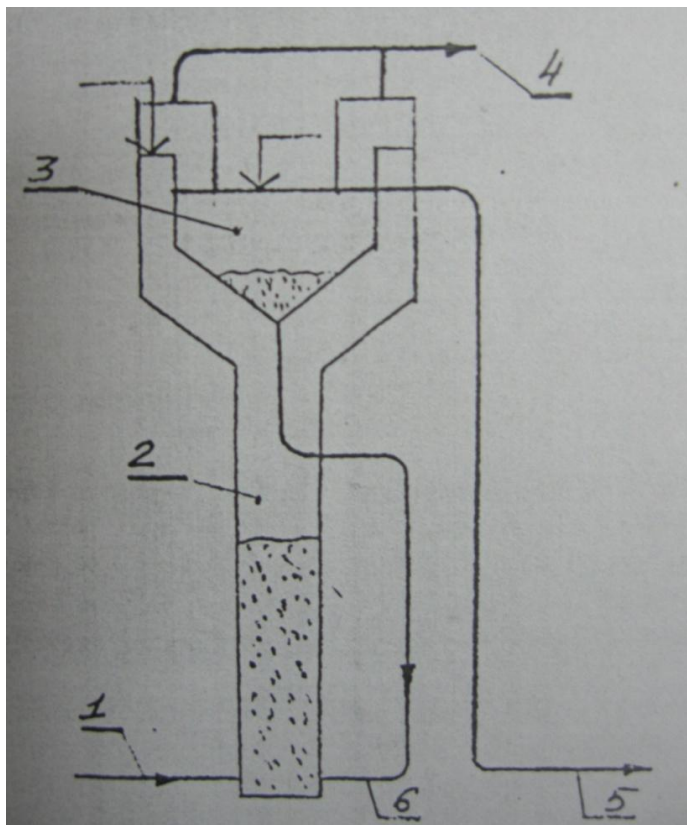
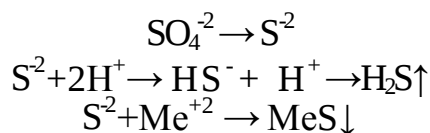


Рис. 17. Анаэробный биореактор с прикрепленной микрофлорой на псевдооживленной загрузке

1 -исходная сточная вода; 2 - биореактор; 3 - илоотделитель; 4 - биогаз; 5 – обработанная сточная вода; б - возвратный активный ил.

Основные технические показатели процесса очистки аналогичен показателям биореакторов со свободноплавающей микрофлорой (табл. 5), однако область применения значительно шире. Реакторы с «кипящим» слоем эксплуатируются в составе сооружений по очистке стоков пивоваренного завода в городе Мадриде (Испания): расход СВ - 125 м³/сутки, удельная нагрузка - 60 кг/(м³/сутки), нагрузка 50 т/ сутки, снижение БПК_п на 80%. Аналогичные реакторы функционируют на станциях очистки пивоваренного завода в г. Солане (Индия) с загрузкой 0,7 т/сутки.

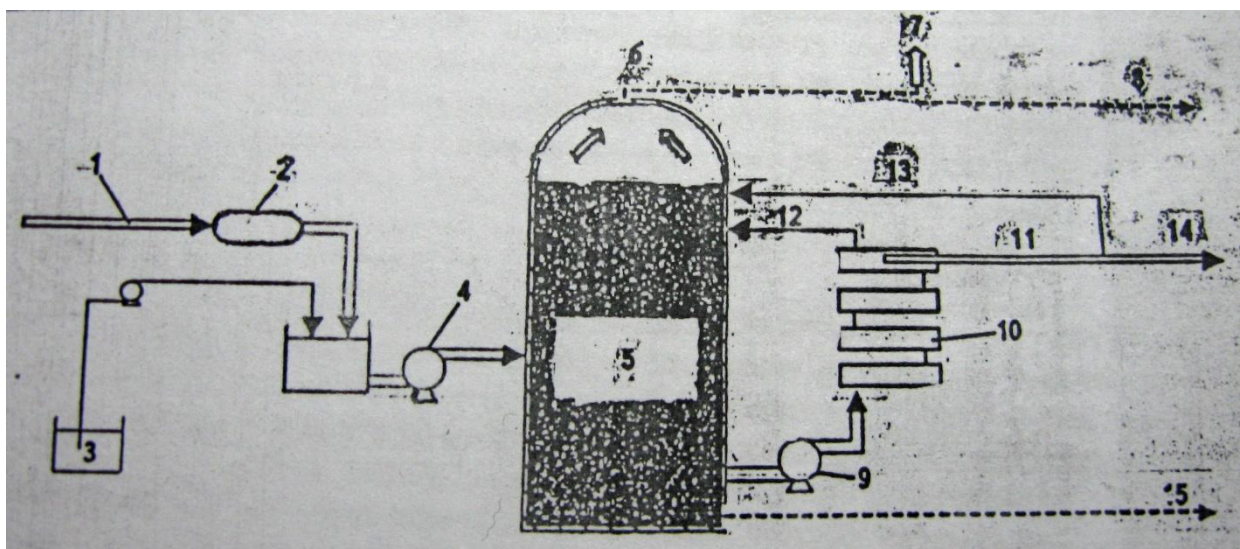
Эффект работы биореактора данного типа во многом зависит от характера образования иловых гранул-окатышей. Установлено, что образование их зависит о многих факторов, в томчисле от присутствия сульфидов в сточных водах; которые оказывают заметное влияние на режим работы биореактора. Анаэробное разложение сульфидов включает следующие этапы;



Если концентрация SO_4^{2-} в пересчете на S^{2-} лежит в пределах 50-100 мг/л, то ингибирования процесса не наблюдается. При концентрации SO_4^{2-} до 200 мг/л, токсическое действие SO_4^{2-} становится критическим. Начиная с этой концентрации решающее значение, начинает играть отношение ХПК: S^{2-} , если оно меньше 10, г с процесс нарушается, если оно близко к 50, то процесс протекает с несколько ослабленным газотделением, Если превышает 100, то анаэробное сбраживание протекает полным объеме.

Изменение работы биореактора, т.е. его режима работы, интенсификация, может быть достигнута за счет изменения режима псевдоожижения, использования различного вида загрузки.

Для сокращения затрат на электроэнергию, уменьшения объема биореактора и повышения концентрации биомассы в биореакторе, были предложены биореакторы кипящего слоя гранулированной биомассы, работающей без инертного носителя. Для этого образуют гранулы диаметром 0,5-5 мм с низким иловым индексом ($20-50 \text{ см}^3/\text{г}$). Процесс характеризуется высокой скоростью разрушения органического вещества, низким выносом активного ила. Такие установки [9] выпускаются в промышленном масштабе, например система «MARS» фирмы «Dorr- Oliver» (США), работающие на сточных водах молочного производства (рис 18) с исходными ХПК = 54000-60000 мг/л. При этом эффективность очистки составляет 98%.



1 - сточная вода; 2- теплообменник; 3- добавка питательных веществ, регулирование pH; 4 - подающий насос; 5 - анаэробный реактор; 6- биогаз; 7- факел; 8- утилизация; 9- рециркуляционный насос; 10- ультрафильтрационные мембраны; 11 - пермеат; 12- возврат биомассы; 13- возврат избытка пермеата; 14 - очищенная вода; 15 - избыточный ил на обезвоживание и утилизацию.

Рис 18. Принципиальная схема установки анаэробной очистки "MARS" фирмы «Dorr- Oliver»

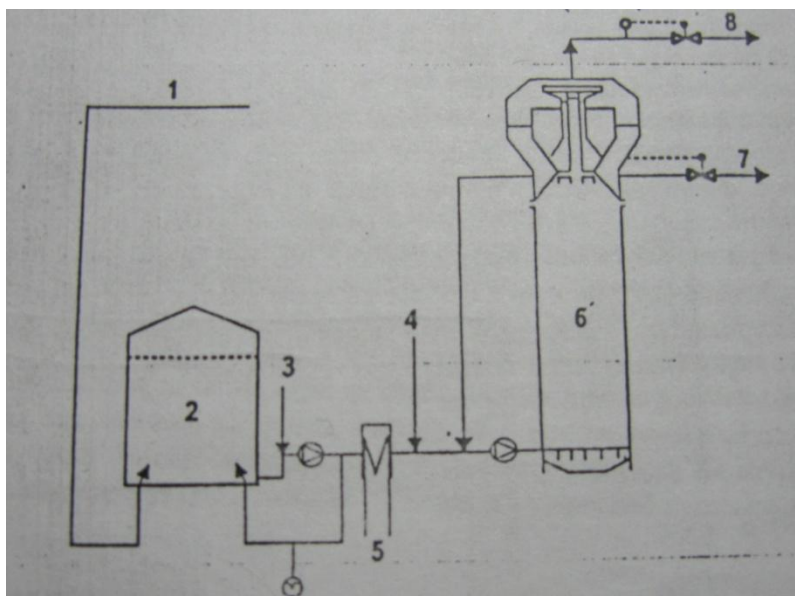


Рис. 19 Принципиальная схема системы «Biobed» фирмы «Gist-Brocades» (Нидерланды)

1 – сточная вода; 2 – емкость 150 м³; 3 – щелочь; 4 – питательные добавки; 5 – охлаждение; 6 – система Biobed; 7 – очищенная вода; 8 – биогаз на утилизацию.

Для разделения иловой смеси используют ультрафильтрационные мембраны - перспективное направление для задержания биомассы в реакторе.

Установка (9) «Biobed» фирмы "Oist Brocades" (Нидерланды) работает успешно в Германии с 1987 года на стоках производства дрожжей (рис. 19)

Ниже представлены технологические схемы очистки слабозагрязненных, оборотных и СВ, в которых используются как анаэробные, так и аэробные биореакторы с «кипящим» слоем загрузки (рис. 20)

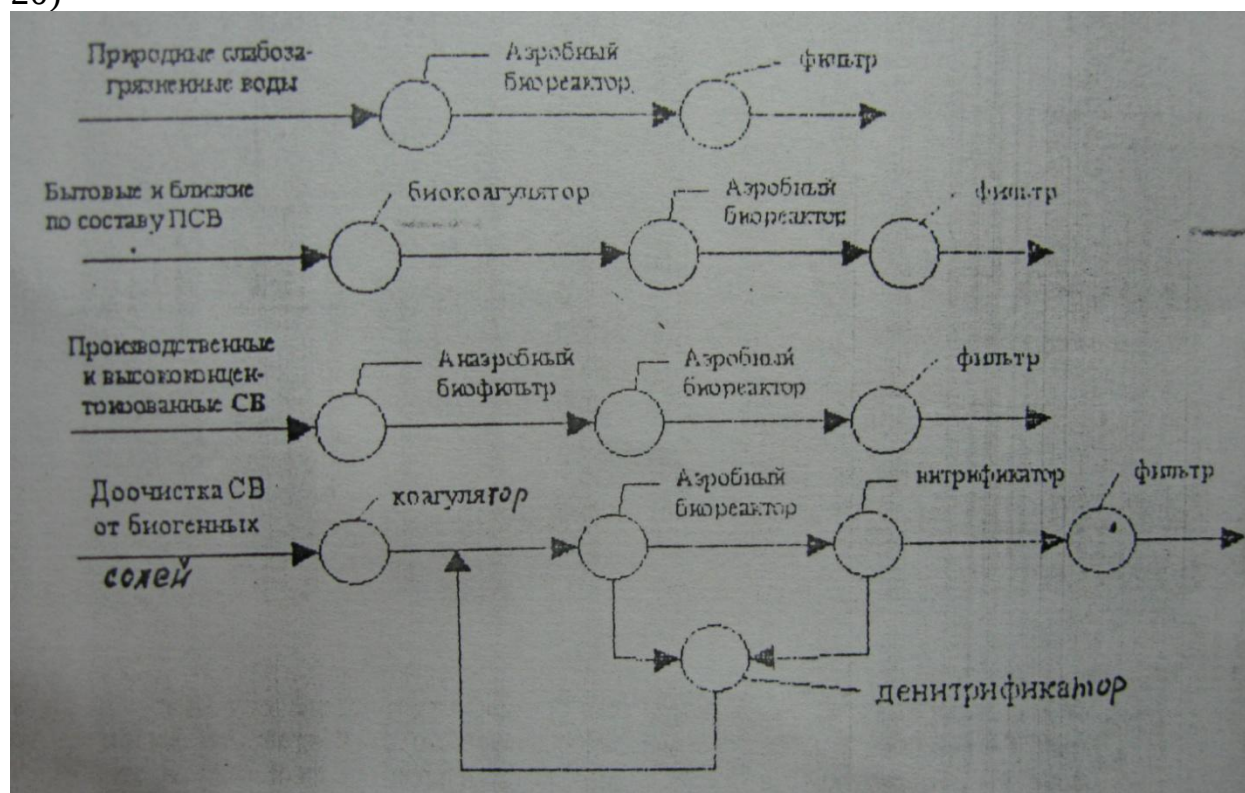


Рис. 20. Технологические схемы очистки природных, оборотных сточных вод.

Биореакторы имеют следующие достоинства:

1. Высокая окислительная способность $X_{ПК} = 20-70 \text{ кг/м}^3$ в сутки.
2. Высокая концентрация активного ила в реакторе до 40 мг/л.
3. Аппараты компактны, не требуют больших производственных площадей
4. Не подвержены заиливанию.
- 5.

Однако, несмотря на все достоинства, возникают затруднения в создании и поддержании однородного псевдоожиженного слоя. Это вызвано меняющейся гидравлической крупностью частиц загрузки в процессе обрастания ее биомассой, а также колебаниями температур, расхода и состава поступающей на очистку сточной воды, необходимостью применения строго калиброванного загрузочного материала.

Из всех типов сооружений биологической очистки биореакторы с псевдоожиженной загрузкой позволяют достичь наиболее высоких скоростей изъятия загрязнений, эффективности и производительности за счет высокой концентрации активной биомассы, развитой поверхности контакта интенсивного протекания массообменных процессов во взвешенном слое мелкозернистой загрузки.

Реакторы, работающие с псевдоожиженной загрузкой, могут применяться для физико-химических методов очистки производственных сточных вод; для реагентной обработки, нейтрализации химического окисления, коагуляции, ионного обмена, сорбции, фильтрации и т. д. Тогда в реакторах применяются активные загрузки, такие как цеолит, активированный уголь, железосодержащий порошок.

Несмотря на достоинства анаэробных биореакторов, а именно:

- анаэробный ил наиболее стоек к переменному воздействию количества и качества исходной воды;
- анаэробная очистка не требует предварительного разбавления стоков перед очисткой, имеет малый прирост активного ила, а избыточный активный ил может быть подан непосредственно на обезвоживание, минуя стабилизацию;
- это единственный метод очистки сточных вод, который в какой-то степени способен вернуть затраты на очистку С В, при этом в процессе очистки возможно генерировать горючий газ, который затем используется не только для обогрева аппаратов биоочистки, но и для выработки тепловой и электрической энергии.

Невозможно исключить основного недостатка -область применения анаэробного способа очистки ограничена определенным диапазоном содержания органических соединений, которые в итоге оказывают влияние на содержание анаэробного ила в зоне реакции. Анаэробный ил имеет низкие седиментационные свойства, он в традиционных сооружениях биоочистки не может образовывать хлопья, обладающие достаточной гидравлической крупностью, способной выделить его из иловой смеси в осадок, поэтому наблюдалось низкое его содержание в зоне реакции. Эту проблему пытались решить использованием подвижной загрузки, находящейся в псевдоожижении, что дало возможность получить гранулированный анаэробный ил, и, следовательно, уменьшить вынос его из сооружения. В основном в процессе гранулообразования участвуют метаногенные и кислотогенные микроорганизмы, удельная масса гранул достигает 2, ил имеет четко выраженную седиментационную способность. Однако, несмотря на большое количество исследований, условия образования гранул до конца не установлены, это зависит от природы СВ, например, при очистке стоков сахарных заводов образование гранул происходит всегда, а при обработке стоков скотобоен это явление не наблюдается. Отмечено благоприятное влияние на процесс образования гранул кальция и неблагоприятное - аммонийного азота; важен также гидродинамический режим аппарата.

3. Биосорберы

Биосорбер - сооружение биологической очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, работающие на принципе псевдоожижения слоя активированного угля, который и представляет собой инертный носитель для микроорганизмов. Основным признаком материала, определяющим его в качестве носителя для микроорганизмов, является способность его к адсорбции и развитая поверхность контакта.

Биосорбер (10,11) представляет собой аппарат, который включает в себя не только постадийное разделение анаэробной иловой смеси, но и уплотнение ила, формирование плотных гранул и возврат их без разрушения в зону кипящего слоя. Отличительной особенностью биосорбера (рис. 21) является то, что, цилиндрический корпус его разделен вертикальной коаксиальной перегородкой на сообщающиеся между собой внутреннюю и внешнюю камеры, заполненные загрузкой, находящейся в подвижном и неподвижном состоянии. Верхняя часть биосорбера снабжена зоной флокуляции ила. Во внутренней камере движется поток рециркулируемой и очищенной воды, а во внешней - только очищаемой.

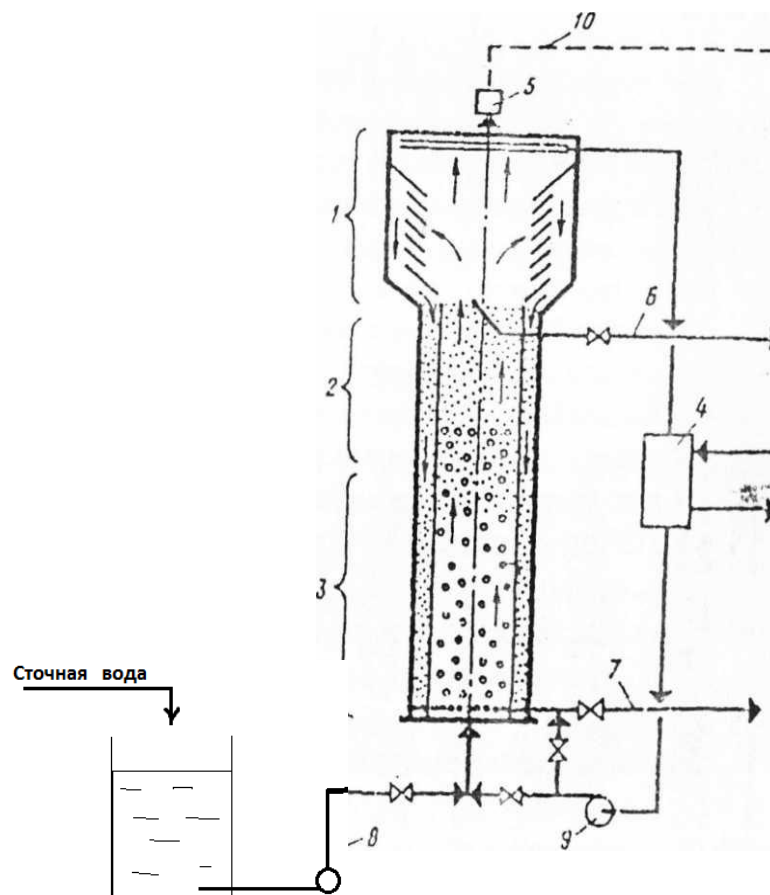


Рис. 21 Схема биосорбционной установки:

- 1- зона двухступенчатого разделения иловой смеси; 2- зона гранулированного псевдоожиженного активного анаэробного ила; 3 - зона псевдоожиженного адсорбента; 4- нагреватель; 5- вантуз; 6- избыточный анаэробный ил на обжвоживание; 7- очищенная вода; 8- рециркуляционная вода на псевдоожижение загрузки; 9- вода на регенерацию фильтра; 10- газ брожения.

Оптимальные скорости движения иловой смеси, наклон перегородок, и расстояние между ними обеспечивает устойчивость формирования гранулированного ила, исключая вынос его из системы. Неподвижную загрузку регенерируют обратным током рециркулируемой воды. Промывная вода, двигаясь снизу вверх, поступает в зону разделения иловой смеси. Сформированная таким образом твердая фаза анаэробного ила возвращается в зону реакции, а осветленная промывная вода с помощью насоса - на промывку фильтра.

Для неподвижной загрузки используют кварцевый песок с диаметром зерен 1,2- 1,7 мм, для подвижной - активированный уголь марки АГ- 3. Исследования показали, что для образования гранулированного ила необходимы следующие условия:

- возраст ила - 60-130 суток;
- зольность ила - 44-50 %;
- скорость подъема рециркулируемой воды -20-25 м/ч;
- достаточная степень расширения загрузки – 5-9 %;

- $pH = 7,1-8,2$;
- снижение температуры с $34^{\circ}C$ до $24^{\circ}C$; - размер гранул увеличивается до 5 мм, и гидравлическая крупность увеличивается до 1,5-2 мм/с.

Биосорберы имеют диаметр 1.5; 2,2 и 3 м, высоту от 4.8 до 18.6 м, объем реакционной зоны 8.4-131.3 м³. Эксплуатация установки показала высокую надежность, устойчивость процесса при значительных колебаниях содержания органических соединений, pH, расхода воды и температуры. Отключаясь на ночь, установка без подачи сточных вод могла очищать стоки сразу после включения ее в работу. В процессе эксплуатации биосорбционной установки были отмечены следующие изменения в показателях очищаемой воды;

- снижение ХПК - 95 %;
- снижение взвешенных веществ - 90 %;
- содержание железа в очищенной воде - 0,2-1 мг/л;
- содержание магния - 5-10 мг/л;
- сульфатов - 50-80 мг/л;-
- аммонийного азота увеличилось на 0.04-0.06 мг на каждый снятый 1 мг ХПК;
- содержание фосфора снижалось из расчета 0.5-0.8 мг на каждые 100 мг снятого ХПК.

За два года эксплуатации установки уровень активированного угля в колонке псевдоожиженного слоя не изменился, (а это 0,7 объема коаксиально расположенной колонны с активированным углем марки АГ-3). Визуально не наблюдается измельчение угля.

Рассмотрим еще одну конструкцию (12) биосорбера (рис. 22). Биосорбция осуществляется на взвешенной насадке из гранулированного активированного угля, который непрерывно регенерируется биопленкой, нарастающей на угле.

Данный биосорбер позволяет чистить воду до ПДК водоемов рыбохозяйственного назначения, используют для очистки сточных вод небольшого их количества, а также концентрированных стоков АПК.

Представленный на рисунке 22 биосорбер является аэробным сооружением, в которое подается водовоздушная смесь сточных вод и через распределительную систему равномерно распределяется по площади биосорбера. Поток сточных вод взвешивает активированный уголь, при этом происходит как адсорбация органических загрязнений, так и их окисление при помощи микрофлоры.

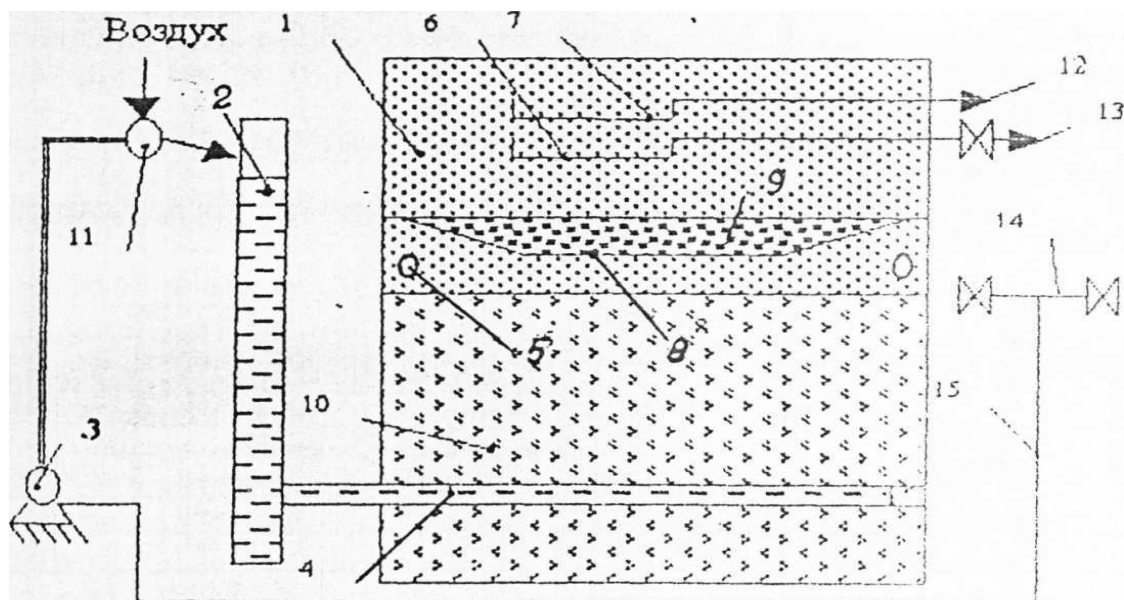


Рис. 22. Аэробный биосорбер с отдельностоящей аэрационной колонной.

1 - биосорбер; 2 — аэрационная колонна; 3 - насос; 4 — водораспределительная система; 5 — водосборное устройство; 6 — лоток отвода промывной воды; 7 — лоток отвода очищенной воды; 8 - коническое сужающее устройство; 9 - плотный фильтрующий слой; 10 - псевдоожиженный слой угля; 11 - воздух; 12 - отвод очищенной воды; 13 - отвод промывной воды; 14 - подача промывной

В вышеприведенном примере аэрационная колонна расположена отдельно от биосорбера, но существуют биосорберы со встроенными (1) аэрационными колоннами (рис 23).

Исходные сточные воды подаются в прямоугольный резервуар (1) и через водораспределительную систему равномерно распределяется по площади биосорбера. Поднимаясь вверх со скоростью 30 м/ч, поток СВ взвешивает слой активированного угля и обеспечивает его псевдоожижение. При этом рециркуляционный поток насыщается кислородом в эрлифте при перекачке воды, что создает благоприятные условия для микроорганизмов на загрузке. В результате многократных проходов потока воды через псевдоожиженный слой, где органические загрязнения сорбируются и одновременно окисляются, и тем самым сточные воды очищаются.

Пройдя через взвешенный слой, поток разделяется на:

- циркуляционный поток, который собирается в средней дренажной системе и отводится во всасывающий коллектор эрлифта, оттуда - в напорный канал эрлифта и опять в водораспределительную систему;
- очищенная вода, отделяясь от циркуляционного потока, проходит между козырьками дренажа, профильтровывается сквозь плотный слой активированного угля, освобождается от взвешенных веществ и поступает в лотки отвода очищенной воды.

Биосорбер имеет несколько секций (на рис 22 представлена одна секция); каждая секция имеет размеры 5х5 х 5 м, оборудуются эрлифтом с диаметром 400, двумя центральными коллекторами диаметром 600 и 48 дырчатыми распределителям диаметром 125. На каждом распределителе через 1 20 м располагаются по 20 отверстий диаметром 17; в верхней части биосорбер имеет по два лотка для отвода очищенной и промывной воды. Расстояние между распределителями - 400 мм, высота козырьков - 400 мм. Высота взвешенного слоя активированного угля составляет 1,35-2,4 м, расширение слоев - 30 %; потери напора в дренаже составляют 0,5 м вод. ст. Скорость промывочной воды -30 м/ч, время промывки - 5-8 мин, расход промывной воды - 750 м³/ч.

Концентрации загрязнений в сточных водах до и после очистки на биосорбере даны в таблице № 7

Эффективность очистки сточных вод на биосорберах по сравнению с другими методами очистки.

№ п/п	Загрязняющие вещества	Концентрация загрязняющих веществ в СВ			ПДК
		Поступающих на очистку	После физико- химической очистки	После очистки на биосорбере	
1	Взвешенные вещества, мг/л	44	10	3-5	5
2	БПК _{прдн} , мгО ₂ /л	40	15	3	3
3	Нефтепродукты, мг/л	1,8	0,18	<0,07	0,1
4	Азот аммонийный, мг/л	15	5	0,35	0,39
5	Нитраты, мг/л	15	12	3,6	9,1

4. Фильтр-биореактор с загрузкой из с теклоершей.

Для до очистки биологически очищенных сточных вод эффективны скорые песчаные фильтры с загрузкой из стеклоершей [1] (Рис 24)

(К рис 24) Сточные воды по трубопроводу (3) через щитовой затвор поступают в резервуар (1). Специально вынесенный зха перегородку барботер для аэрации (6), связан с трубопроводом подачи воздуха (7) и обеспечивает в резервуаре циркуляцию водного потока, который проходит через контейнеры со стеклоершами (2), окна (11), зрлифтную нишу (15). Этот поток вовлекает поступающие СВ в циркуляцию, снабжает биомассу, гидробионтов, прикрепленных на стеклоершах, кислородом и питанием (вынесенным из вторичных отстойников активным илом и растворенными в воде органическими веществами). В результате работают 4 циркуляционных потока - по два в каждом отсеке. Эрлифтную нишу второго циркуляционного потока в отсеке создают искусственно за счет сплошной стенки контейнера (13). Пройдя через первый отсек, стоки через окна (12) протекают во второй отсек. Очищенная вода отводится по трубопроводу (15) при помощи сборного желоба (14). При заиливании ершей, их отмывают подачей воздуха

через барботеры регенерации (8) от воздухопроводов (9). Барботеры закрепляют с помощью опор (10). Водовоздушный поток срывает с ершей иловые отложения, в это время осуществляется опорожнение резервуара по трубопроводам (14). Регенерация ершей 1-го отсека проводится 1 раз в 10 суток, 2-го отсека – 1 раз в 20 суток. Для создания циркуляционных потоков и насыщения доочищенных сточных вод кислородом воздуха необходимо до 2 м^3 воздуха в 1 час на 1 м^3 объема фильтра-биореактора.

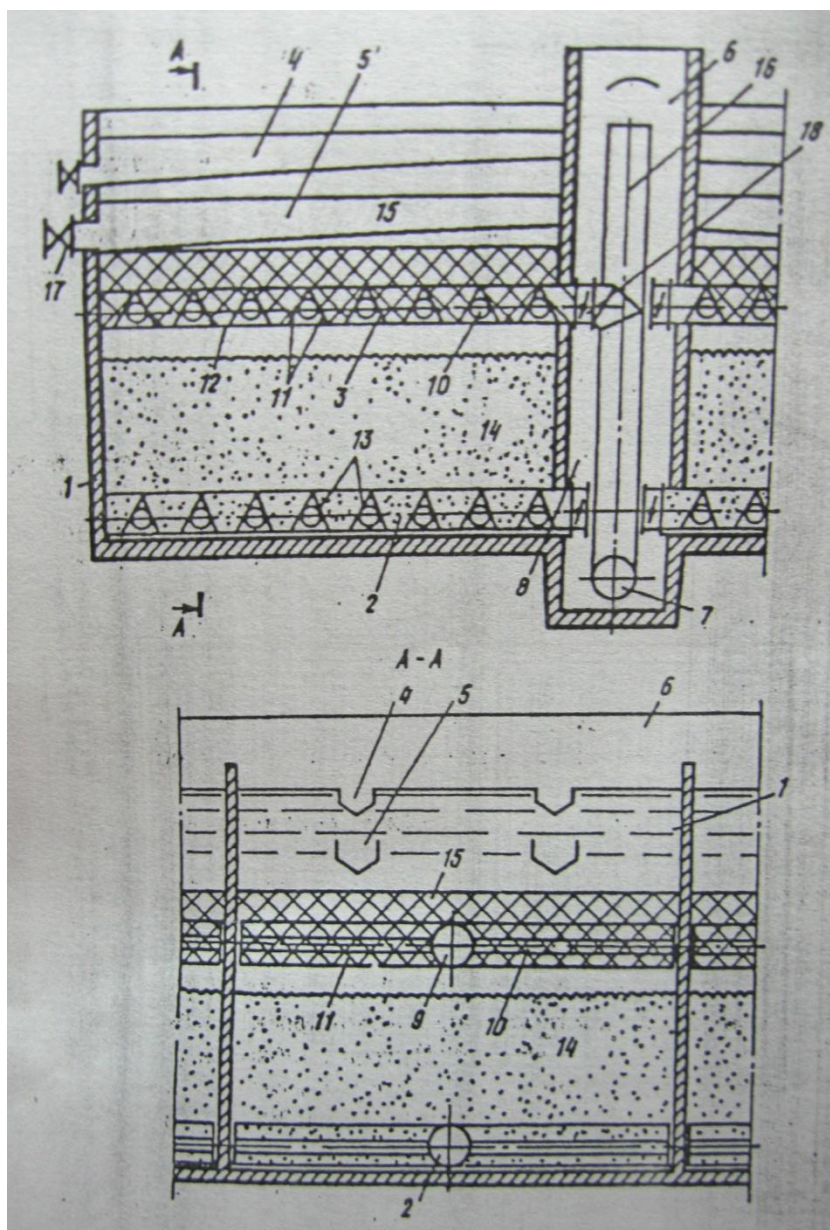


Рис. 23 Биосорберы

1 - прямоугольный резервуар; 2 — водораспределительная система; 3 — водосборная система; 4 — лотки отвода очищенной воды; 5 — то же, промывной воды; 6 — эрлифтный канал; 7 — всасывающий коллектор эрлифта; 8 — напорный канал эрлифта; 9 — центральный коллектор; 10 — боковой распределитель; 11 — наклонные щитки; 12 — регулируемые пластины; 13 — козырьки нижней дренажной системы; 14 — псевдоосжиженный слой; 15 — плотный фильтрующий слой; 16 — эрлифт; 17- клапан, лотка отвода промывной воды; 18— клапан коллектора среднего дренажа

Загрузка из стеклоершей выполняет 2 функции:

- 1) ф ильтрирующую;
- 2) насадку для микроорганизмов.

В 1 м³ объема контейнеров находится 120-140 м стеклоершей, контейнеры занимают 15% объема фильтра-биореактора.

Скорость фильтрации сточных вод через загрузку составляет 5-7 м/ч, при пропуске максимального часового расхода; строительная высота - 5 м, строительный объем соответствует 40-60 - минутному притоку сточных вод. Данное сооружение снижает БПК_п с 15-50 мг О₂/л до 1-5 мг О₂/л.

Результаты эксплуатации 2-ступенчатого фильтра-биореактора по доочистке СВ даны в таблице № 8

Таблица №8

Результаты эксплуатации фнльтров-биореакгоров и сравнение их с другими сооружениям.

Показатели состава сточных вод	Значение показателей		
	После вторичных отстойников	после 1 ступени фильтра- биореактора	после 2 ступени фильтра- биореактора
Взвешенные	7- 14	4,3-7	0,5 - 2,6
БПК _п мг О ₂ /л.	6 -18	4 - 5	1,6-4
Растворенный	3,2 -3,7	6,5 -3	8 - 10
Азот	5,5.9,2	3- 4,9	0,3 - 1
Азот	33,6 - 37	36,3 - 4 2,2	39 - 47
Фосфаты, мг/л	5,1-7,1	4,8-7,2	4,6 - 7
pH	7.1-7,6	7,3-7,8	7,3 - 7,9
Микробное	36000 - 85000	14000 - 23000	6000 - 9200

4.1. Системы биологической очистки с точных вод на установке BIOTAL.

Установка BIOTAL [13] предназначена для очистки хозяйственно-бытовых сточных вод жилых и общественных зданий, биологически очищаемых промышленных сточных вод небольших производств, бензозаправочных станций (комплексного-бытовых дождевых и сточных вод автомоек).

BIOTAL - реализация ряда новых, охраняемых патентами, технических решений, позволивших комплексно решить традиционные проблемы малых очистных сооружений.

Объем очищаемых сточных вод на установке BIOTAL составляет от 1 до 200 м³/сутки. При необходимости очистки большего

количества сточных вод устанавливается блок из нескольких установок. Установка BIOTAL производительностью до 10 м³/сутки изготавливается серийно из ударопрочного и долговечного пластика,

BIOTAL устанавливается под землей, заглублено в землю (с устройством легкой утепленной конструкции над ней) или в отдельно стоящем здании (Рис 25)

Главные отличия технологии BIOTAL от имеющихся на рынке систем биологической очистки;

- Не требуется ассенизационная машина для отвоза продуктов очистки.
- Установка производит в результате процесса очистки два конечных продукта, пригодных для непосредственного использования: техническую воду, пригодную для использования во вторичном водообороте; и минеральные удобрения в форме стабилизированного и обезвоженного избыточного активного ила.
- Установка изготавливается из полипропилена, который химически не активен, не подвержен коррозии, не пропускает влагу, и имеет небольшие габариты и малый вес, что позволяет избежать значительных затрат на монтажно-строительные работы.
- Управление процессом очистки производится с помощью компьютера, что] позволяет оптимизировать происходящие процессы с точки зрения энергозатрат и ресурса техники, в частности обеспечивает автоматическое последовательное переключение установки в первый, а затем во второй режим экономии, при отсутствии притока сточных вод и форсированный режим, при поступлении сточных вод в количестве, превышающем норму.
- При отключении электроэнергии установка не теряет своих преимуществ, она продолжает работать как многоступенчатый отстойник, и по-прежнему обеспечивает очистку сточных вод от жиров и поверхностных нечистот (главных врагов дренажных систем). При появлении электропитания переходит в нормальный режим работы.
- Технология разработана таким образом, что при обработке сточных вод не происходит выделения метана и сернистого газа, благодаря чему отсутствует неприятный запах на всех этапах очистки.

- В установке предусмотрен резерв для залпового сброса сточных вод, что позволяет избежать выноса неочищенной воды. Это обеспечивает самые жесткие требования, предъявляемыми малогабаритным водочистным сооружениям.

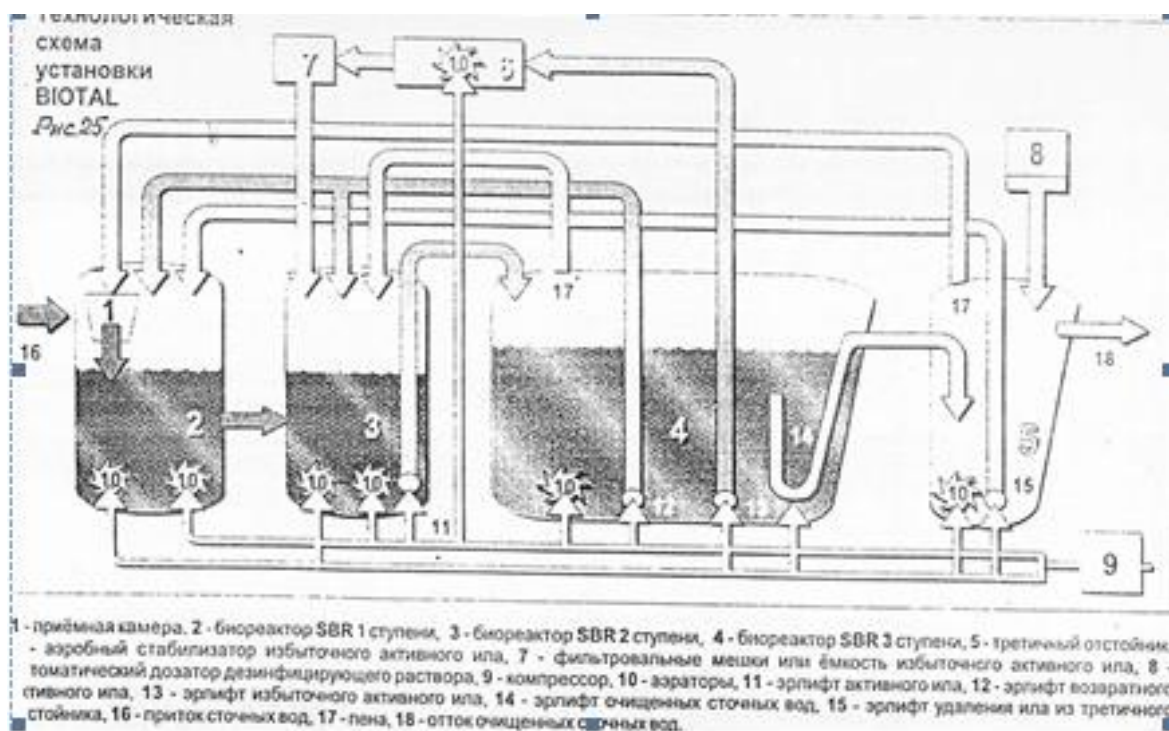
- За счет особенностей технологического процесса установка выдерживает сброс стоков с высокой концентрацией химических веществ (марганец, хлор и т.д.), применяемых

для промывки систем очистки питьевой воды, что делает установку уникальной и единственно пригодной к использованию в высокотехнологичных системах

водоснабжения и канализации.

- В установке проводится автоматическое дозирование дезинфицирующего раствора (при необходимости);

- Съемные элементы установки позволяют при ремонте (после 10-15 лет работы) не откачивать очищаемые сточные воды из установки.



Автор технологии BIOTAL - Тетеря Александр (Чешская республика).
 Установка BIOTAL производится в Чехии с 1999 года, а в Российской Федерации, Беларуси и Украине с 2000 года. Технология BIOTAL защищена рядом патентов Чешской Республики и международным патентом
 Сертифицирована в Чешской Республике, Российской Федерации, Украине, Беларуси.

Показатель	Значение на установке BIOTAL		Норматив*
	Вход	Выход	
рН, ед.	У 9	7.1	6.5 - 8.5
ХПК, мг/л	492	49.1	< 100.0
БПК5, мг/л	213	6.8	< 15.0
NH4 - N мг/л	19,1	0.24	<2.0
N03 - N мг/л	-	28.8	<45.0
Взвеш. вещества мг/л	295	6.9	< 15.0
Коли - индекс	Не лимитируется	< 1000	<1000

Таблица 9 Эффективность очистки сточных вод

* для сброса в водоемы хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения

Таблица 10

Основные характеристики установок BIOTAL

Тип очистки сточных вод...	Количество человек	Приток (м ³ /сут ки)	потре бля емая мощ ность	Потреб.мощн.в эконом.режиме		Вес (кг)	Диаметр (м)	Высота станции (м)	В ысота от низа до уровня притока й оттока (м)	Цена уста*, новки (у.е.) без НДС
				1 реж.	2 реж.					
BIOTAL-1	2-3	1.0	50			150	1,3	2.2	1,15	2700
BIOTAL-1.5	4-6	1.5	60			170 1,3	1.3	2.35	1,4	2900
BIOTAL-2	7-10	2.0	80			180	1,4	2,35	1.4	3300
BIOTAL-3	11-15	3.0	100			210	1,7	2,35	1,4	4200
BIOTAL-4	16-20	4.0	150			250	1,8	2,9	1,85	5700
BIOTAL-5	21-30	5.0	200			280	1.9	2,9	1,85	6700
BIOTAL-7	31-40	7.0	300			350	2,0	3,1	2,05	8750
BIOTAL-10	41-50	10.0	400			390	2,3	3.1	2,05	11800

5. Расчеты биореакторов.
5.1. Расчет аэробных биореакторов.

1. Расчет любого биореактора заключается в расчете загрузки, поэтому объем загрузки (плоскостной) биореактора определяем по формуле (1) (13)

$$W_3 = \frac{Q(\alpha_{\text{еп}} - \alpha_{\text{ех}})}{24 \cdot \text{ОМ}}, \text{ где} \quad (1)$$

$\alpha_{\text{еп}}$ - БПКп сточных вод, поступающих на очистку, мгО₂/л

Q - суточный расход сточных вод, м³/сутки,.

ОМ - окислительная мощность биореактора, мгХПК/м³.

$$\text{ОМ} = K_{\text{ом}} \cdot \frac{\alpha_{\text{ех}}}{K_{\text{ех}} + \alpha_{\text{ех}}} \cdot \frac{\alpha_{\text{еп}}}{K_{\text{еп}} \cdot \alpha_{\text{еп}}}, \text{ где} \quad (2)$$

$\alpha_{\text{ех}}, \alpha_{\text{еп}}$ - БПК_п соответственно очищенных и поступающих сточных вод, мгО₂/л

$K_{\text{ом}}, K_{\text{ех}}, K_{\text{еп}}$ - константы, определяющие вид сточных вод, берутся из таблицы №11,

$K_{\text{ом}}$ - г/(м³ч), $K_{\text{ех}}, K_{\text{еп}}$ – мг/л

Таблица №11

Вид сточной воды	Показатели качества воды				Технологические показатели	
	До очистки		После очистки		Окислительная мощность по ХПК кг/м ³ сут	Время процесса, ч
	Взвешенные вещества, мг/л	ХПК, мг/л	Взвешенные вещества, мг/л	ХПК, мг/л		
Производство колбас	1,4-2,8	2,5-3,9	150-200	160-1000	15-20	3,5-3,7
Молочные завады	0,7-2,1	2,1-2,4	300-350	200-350	13-16	3,1-3,8
Свиноводческие комплексы	2,1-2,6	8,2-9,4	500-550	500-1300	15-19,5	10-12,3
Денитрификация СВ окиси этилена (с начальным содержанием NO ₃ ⁻ = 700 до остаточного мг/л)	0,05-0,09	4,5-6	150-200	350-400	35-45	2,8-2,9
Окрасочные камеры	1,9-2,1	1,5-3,7	150-250	150-300	8,1-9,6	4-8,5
Фармацевтические заводы	0,7-2,2	12-37	0,3-0,6	1500-2500	15-37,5	16-22
Производство древесноволокнистых плит	0,25-0,5	4,75-5,1	250-300	630-810	24-25	4
Целлюлозно-бумажные заводы	1.6-1,8	2,7-3	330-400	300-500	14-16	4
Десульфатация (с начального содержания	0,15-0,6	15-24	250-300	690-1800	42-57	6-12

Гидравлически допустимая нагрузка на загрузку бнореактора определяется по формуле (3):

$$G_n = \frac{M_n \cdot S_{\text{уд}}}{\alpha_m}; \text{ м}^3/\text{м}^3\text{сут} \quad (3) \text{ где}$$

M_n - масса органических загрязнений по БПК_п, поступающих в сутки на единицу поверхности загрузочного материала биореактора, г/м²сут.

M_n - определяется в зависимости от эффекта очистки (Э, %) по графику Э =f(М_{дн}), [15, рис. 3,19, стр. 159].

$S_{\text{уд}}$ - удельная поверхность загрязненного материала, м²/м³

По гидравлической допустимой нагрузке и эффекту очистки определяем высоту слоя загрузки (Н), м по [14, табл., стр. 157]

Зная высоту загрузки, определяем ее площадь по формуле:

$$F = \frac{W_3}{H}, \text{ м}^2 \quad (4) \quad (15)$$

Так как биореактор аэробный, то продолжительность аэрации определяется по формуле (5) [16]:

a – доза активного ила, г/л;

S_{Π} – зольность активного ила, принимаемая по [16, табл. 40, стр. 36]

ρ – удельная скорость окисления, мг БПК на 1 г беззольного вещества ила в 1 час, определяемая по формуле (5) [16]:

$$T_a = \frac{\alpha_{\text{еп}} - \alpha_{\text{ех}}}{a(1 - S_{\Pi}) \rho}, \quad \text{где}$$

a – доза активного ила, г/л;

S_{Π} – зольность активного ила, принимаемая по (16, табл. 40, стр. 36)

ρ – удельная скорость окисления, мг БПК на 1 г беззольного вещества ила в 1 час, определяемая по формуле (6) (16):

$$\rho = \rho_{\text{max}} \cdot \frac{\alpha_{\text{ех}} \cdot C_0}{\alpha_{\text{ех}} \cdot C_0 + K_e \cdot C_0 + \alpha_{\text{ех}} \cdot K_0} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a} \quad (6), \quad \text{где}$$

ρ_{max} – максимальная скорость окисления, мг/гч, по [15, табл. 40]

K_e – константа, характеризующая свойства органических загрязнений, мгБПК/л, [16, табл. 40, стр. 36];

K_0 – константа, характеризующая влияние кислорода, мгО₂/л, [15, табл. 40, стр. 36];

C_0 – концентрация растворенного кислорода, мг/л

φ – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила л/г, [15, табл. 40, стр. 36]

Тогда рабочий объем биореактора определяется по формуле (7):

$$W_p = QT_a + W_3, \text{ м}^3 \quad (7)$$

Принимая ширину биореактора (B , м), если он имеет прямоугольную форму, определяем его длину по формуле (8)

$$A = \frac{W_p}{BH_c}, \text{ м} \quad (8)$$

Если он имеет круглую форму в плане, тогда его диаметр равен:

$$D = \sqrt{\frac{4Fp}{\pi}}, \text{ м} \quad \text{а } Fp = W_p / H, \text{ м}^2$$

Расход воздуха, м³ на 1 м³ загрузки определяется по формуле (9):

$$A = \frac{\text{БПК}_{\Pi}}{21} \cdot K, \text{ м}^3 \quad \text{где} \quad (9)$$

K – коэффициент запаса. $K = 2-3$.

Интенсивность прироста биопленки, определяющейся по формуле (10), указывается коэффициентом скорости биохимического окисления $K_{с.б.о.}$:

$$K_{с.б.о.} = 21/a^1, \quad \text{где} \quad (10)$$

a^1 - разность между ХПК и БПК_п СБ . %

Биореактор может быть загружен не только плоскостной загрузкой, но и объемной, тогда ее расчет выглядит следующим образом.

Объем биореактора с прикрепленной загрузкой определяется по формуле (11) (17);

$$W_p = K \cdot Q \cdot t_{\text{вп}}, \text{ м}^3 \quad (11), \text{ где}$$

K - коэффициент, учитывающий полезное пространство, занимаемое носителем и конструкциями,

$K = 1.1 \dots 1.3$

Q - расход сточных вод, м³/ч

$t_{\text{вп}}$ – время полного разложения органического загрязнения, ч, которое определяется по формуле (12):

$$t_{\text{вп}} = \frac{C_x \cdot K}{v \cdot C_k(1-S)} \text{ ч, где} \quad (12)$$

C_x - расчетная концентрация загрязняющих веществ сточных вод и субстрата, мг/л.;

v - скорость деструкции сухого вещества, мг/ч;

C_k - расчетная (масса) концентрация биомассы по сухому веществу, равна:

----5-15 г/л – для взвешенных м/о;

----20-30 г/л - для прикрепленной микрофлоры на носителе,

S - предельно допустимая зольность в биореакторе, принимаемая $S = 0,5-0,6$.

Учитывая, что объем полезного пространства, занимаемый носителем опорными конструкциями и сборно-распределительными устройствами, составляет примерно 30 %, то общая емкость биореактора будет равна

$$W = W_p \cdot 1.3, \quad \text{м}^3 \quad (13)$$

Площадь сооружения с прикрепленной биопленкой можно найти по формуле :

$$F = \frac{a_6 \cdot W_{\text{ат}}}{b}$$

a_6 - требуемая концентрация биопленки, кг/м³

$W_{\text{ат}}$ - объем сооружения, м³

b - удельное количество биопленки, кг/м²

Тогда, гидравлическая нагрузка определяется как $g_{\text{pf}} = Q / W_{\text{ат}}, \text{ м}^3/(\text{м}^3 \text{сут})$

Органическая нагрузка на 1 м площади биореактора будет равна:

$$F = \frac{M \cdot \alpha_{\text{еп}}}{S_{\text{уд}}}, \quad \text{г/м}^2 \text{сут}$$

5.2. Расчет анаэробных биореакторов.

Расчет загрузки проводим аналогично реакторам аэробного окисления, используя формулы (1)-(4) и (11)-(13).

Скорость анаэробной стабилизации в мг БОС при постоянной концентрации ила она описывается уравнением Михаэлиса-Ментена (14) (18)

$$\rho = \frac{\rho_{\text{max}} \cdot C}{K_1 + C}, \quad \text{БОС где}$$

C — концентрация загрязнений в сточных водах, мг БОС/л

Влияние концентраций анаэробного ила на скорость стабилизации органических веществ учитывается формулой (15) (18):

$$\rho = \frac{\rho_{\max} \cdot C_0}{K_1 + C} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot X_0}, \text{ где} \quad (15) \quad (18)$$

X_0 - концентрация анаэробного ила, г/л.

Объем анаэробного биореактора определяется по формуле (16):

$$W_{\text{ил}} = W_{\text{ил}} + W_{\text{загр}}, \text{ где} \quad (16) \quad (19)$$

$W_{\text{ил}}$ — объем возвратного ила, м³

$$W_{\text{ил}} = \frac{Q_{\text{ил}} \cdot 100}{\alpha}, \text{ м}^3 \quad \text{где}$$

$Q_{\text{ил}}$ - расход ВАИ, м³/сутки определяется по формуле (17)

$$Q_{\text{ил}} = \frac{I_{\text{сух}} \cdot 100}{(100 - P_{\text{ил}}) \cdot \rho_{\text{ил}}}, \text{ м}^3/\text{сут}, \text{ где} \quad (17) \quad (19)$$

$I_{\text{сух}}$ - расход избыточного активного ила по сухому веществу,

$$I_{\text{сух}} = \frac{P_r \cdot n \cdot Q}{1000 \cdot 1000} \text{ т/сутки}$$

P_r - прирост активного ила, г/м³;

n - коэффициент, учитывающий неравномерность прироста ила в процессе очистки $n = 1,3$.

$\rho_{\text{ил}}$ - плотность активного ила.

$P_{\text{ил}}$ - влажность активного ила, %;

α - суточная доза активного возвратного ила, %;

Выход газа определится по формуле (18) (19):

$$Q_{\Gamma} = Q \cdot \Gamma, \text{ м}^3/\text{сутки}, \quad \text{где} \quad (18)$$

Γ - выход газа на 1 м³ СВ и определяется по формуле (19); [19]

$$\Gamma = \frac{y (100 - P_{\text{ил}})(100 - 3)}{1000 \rho_{\Gamma}}, \text{ м}^3/\text{сутки}, \text{ где} \quad (19)$$

y - распад беззольного вещества, %

$$y = \frac{a - nd}{100}, \quad \text{где}$$

1 - предел сбразивания беззольного вещества загрязнений сточных вод, %

n — экспериментальный коэффициент, зависящий от влажности осадка и температурного режима сбразивания, принимается по [16, табл 61, стр, 56]

3 — зольность сухого вещества загрязняющих веществ, %

ρ_{Γ} - плотность газа, $\rho_{\Gamma} = 1 \text{ кг/м}^3$

$$3 = \frac{3_{\text{з.л}} \cdot Q_{\text{сух}} + 3_{\text{ил}} \cdot I_{\text{сух}}}{Q_{\text{сух}} \cdot I_{\text{сух}}}, \% \quad (20)$$

$$a = \frac{53 \cdot Q_{\text{без}} + 44 \cdot I_{\text{без}}}{Q_{\text{без}} + I_{\text{без}}}, \% \quad (21)$$

5.3. Расчет биореактора с псевдооживленной загрузкой

Псевдооживление слоя наступает при повышенной скорости потока жидкости или газа, проходящей снизу вверх, до такой величины, при которой зерна расширившегося слоя начинают интенсивно и беспорядочно перемещаться в объеме слоя, сохраняя в целом постоянную для данной скорости высоту. Плотность заполнения объема псевдооживленного слоя меньше, чем плотность заполнения объема неподвижного слоя. Отношение объема пустот между зернами в псевдооживленном слое ко всему объему того же количества зернистого материала называется фактором эффективности работы псевдооживленного слоя сорбента и определяется по формуле (22) [17]:

$$E = \frac{V_{\text{пс}} - V_{\text{г}}}{V_{\text{пс}}} = 1 - \frac{V_{\text{г}}}{V_{\text{пс}}}, \text{ где } (22)$$

$V_{\text{пс}}$ - объем псевдооживленного слоя, м^3

$V_{\text{г}}$ - объем частиц материала, образующих слой, м^3 .

$E \approx 0,4 - 0,5$ - для шарообразных или неправильной формы частиц.

Минимальная скорость псевдооживления определяется формулой (23);

$$V_{\text{пс}} = \frac{R_{\text{соло}} \cdot \gamma_{\text{ж}}}{d_{\text{г}} \cdot \rho_{\text{ж}}}, \text{ см/с, где } (23)$$

$R_{\text{соло}}$ - критерий Рейнольдса, соответствует минимальному псевдооживлению,

$$R_{\text{соло}} = a \cdot A_{\text{г}}^b \cdot F_{\text{г}}^c, \text{ где}$$

$a = 5.121 \cdot 10^3 \pm 0.004$;

$b = 0.662 \pm 0.062$

$c = -0.118 \pm 0.048$

$A_{\text{г}}$ - число Архимеда,

$$Ar = \frac{d_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{ж}} (\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{ж}}) \cdot g}{\mu_{\text{ж}}^2}$$

$F_{\text{г}}$ - число Фруда,

$$F_{\text{г}} = \frac{U_{\text{г}}^2}{\alpha \cdot \alpha_{\text{т}}}$$

$\mu_{\text{ж}} = \rho \cdot \gamma$. $\gamma = 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ при $t = 15-18^\circ \text{ С}$.

$d_{\text{ч}}$ - диаметр частицы, см;

$\rho_{\text{ж}}$ - плотность жидкости, г/м^3 ;

$\rho_{\text{т}}$ - плотность твердого вещества, г/м^3

$\mu_{\text{ж}}$ — динамический коэффициент вязкости, г/см с ;

g — ускорение силы тяжести, см/с^2

$U_{\text{г}}$ — скорость движения газа, см/с ;

Так как в псевдооживленном состоянии работают и биосорберы, то доза адсорбента, необходимая для снижения концентрации загрязнений от C_0 до $C_{\text{ост}}$, вычисляется по формуле (24) (17):

$$m = \frac{C_0 - C_{\text{ост}}}{\alpha \cdot C_{\text{ост}}^{1/n}}, \text{ ч где } (24)$$

C_0 - начальная концентрация загрязнений, мг/л ;

$C_{\text{ост}}$ - остаточная концентрация, мг/л ;

$\alpha = 31,6$; $\Gamma = \alpha \cdot C_{\text{ост}} \cdot 1/n$ — удельная адсорбция, мг/л $1/n = 0,3$

Данные значения α и $1/n$ даны для удаления из производственных стоков фенолов (17)

Псевдооживленное состояние слоя характеризуется относительным расширением слоя $\frac{H}{H_0}$, где

H – высота псевдооживленного, м

H_0 – высота неподвижного слоя, м.

Существует определенная критическая скорость потока ($U_{кр}$), при которой неподвижный слой частиц данных размеров и плотности переходит в псевдооживленное со

стояние. С дальнейшим увеличением скорости $\frac{H}{H_0}$ растет и при $\frac{H}{H_0} \rightarrow \infty$ поток уносит частицы из аппарата.

Эта скорость уноса ($U_{ун}$) является второй границей скоростей потока, при которой существует псевдооживленное состояние слоя.

На практике установлено, что наименьшим расширением слоя- $\frac{H}{H_0} = 1,5$, при этом оптимальные размеры частиц активированного угля лежат в пределах 0,25-0,75 или

0,25-1,0 мм, что отвечает $U_{кр} = 7-10$ м'/ м² ч. При размерах . частиц 1-3 мм при $\frac{H}{H_0} = 1,5$ $U_{кр} = 35-40$ м'/ м² ч.

Длина псевдооживленного слоя определяется по формуле (25) (17)

$$\alpha_p = \frac{g}{S \cdot \beta \cdot \Delta C_{ср}}, \text{ м} \quad \text{где} \quad (25)$$

g – колнчество поглощенного вещества в единицу времени;

S - площадь поперечного сечения слоя, м²

β - коэффициент массопередачи;

$\Delta C_{ср}$ – средняя движущая сила адсорбции,

$$\Delta C_{ср} = \frac{\Delta C_1 + \Delta C_2}{2}$$

ΔC_1 — концентрация загрязняющего вещества в начальный момент, мг/л;

ΔC_2 — концентрация загрязнений при наступлении адсорбционного равновесия , мг/л

5.4. Расчет биореакторов-биофильтров на ЭВМ

Биофильтр является типичным представителем биореакторов с микрофлорой, иммобилизированной на поверхности инертного носителя — загрузки (20). Для таких аппаратов величина межфазной поверхности: биопленка — жидкость, жидкость - газ - в известной степени определяется геометрической поверхностью элементов загрузки, хотя во многих случаях и не равна ей.

Как показали результаты экспериментальных исследований , скорость растворения кислорода в таких реакторах, характеризуемая объемным коэффициентом массопередачи K_v увеличивается с повышением плотности орошения q . Поэтому перспективным является применение биофильтров, эксплуатируемых с высокими плотностями орошения (100-400 м³/(м²сутки)).

Высокая плотность орошения на практике достижима при работе биофильтров о большими коэффициентами рециркуляции в качестве первой ступени биологической очистки. В этом случае в качестве рециркуляционного расхода целесообразно использовать возвратный ил из вторичных отстойников и иловую смесь после первой ступени (биофильтров) непосредственно направлять во вторую ступень (аэротенки). Такая технологическая схема очистки была реализована на ряде станций в южных районах России (ст. Успенская, Яблоновская в Краснодарском крае, ст. Лихая в Ростовской области) и показала высокую эффективность.

Учитывая, что при интенсификации массообменных процессов одновременно увеличивается скорость теплообменных процессов, при расчете биофильтров обязательно следует учитывать это обстоятельство.

Излагаемый метод расчета биофильтров учитывает и скорость теплообменных процессов.

Упрощенная математическая модель процесса биологической очистки в биореакторах любого типа в общем случае включает следующие основные блоки: 1 - блок уравнений материального баланса; 2 - блок кинетики макрореакций; 3 - блок уравнений массообмена; 4 –блок уравнений теплового баланса; 5 – блок уравнений теплообмена.

Составим уравнение материального баланса по загрязнениям для элементарного слоя загрузки толщиной dH (рис. 27)

$$Q \cdot (L-dL)- Q \cdot L = \rho \cdot m_y \cdot S_y \cdot (1-3) \cdot F \cdot dH, \quad (1)$$

Откуда,

$$\frac{dL}{dH} = \frac{\rho \cdot m_y \cdot S_y \cdot (1-3)}{q} \quad (2)$$

где Q - расход сточных вод, м³/ч; L - концентрация загрязнений, мг БПК₂₀/л; ρ - удельная скорость окисления загрязнений, мг БПК₂₀ на 1 г беззольного вещества активного ила в час;

m_y - величина биомассы по сухому веществу на 1 м² поверхности загрузки, кг/м², определяемая в соответствии с результатами исследований по уравнению

$$m_y = 0,09 \frac{q}{490 + \frac{q}{q^{1,39}}} \quad (3)$$

S_y - удельная поверхность загрузки, м²/м³; З - зольность биомассы; F - площадь поперечного сечения биофильтра, м²; q - гидравлическая нагрузка или плотность орошения, м³/(м² ч).

При моделировании кинетики биологических процессов очистки сточных вод истинную схему биологических превращений в виду ее сложности и малой изученности заменяют на упрощенную схему макрореакций, описывающих в главных чертах истинную.

При таком формально-кинетическом подходе в качестве входных переменных для макрореакций- параметров - аргументов - используют факторы внешней среды: концентрация субстратов, биомассы и продуктов метаболизма, температуру, pH и, в некоторых случаях, возрастные характеристики популяции. Перечисленные факторы параллельно (но в общем случае по - разному) влияют на скорость протекания макрореакций: рост биомассы микроорганизмов, автолиз биомассы, потребление субстратов, биосинтез продуктов метаболизма.

Конкретный вид кинетических уравнений, т.е. зависимость скоростей протекания макрореакций от параметров - аргументов, может быть установлен только экспериментально. Наиболее часто для описания микробиологического процесса очистки сточных вод используется уравнение ВНИИВОДГЕО, имеющее хорошую корреляцию с экспериментальными данными многих авторов

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L \cdot C}{L \cdot C + K_i \cdot C + K_0 \cdot L} \cdot \frac{1}{1 + \phi \cdot a_i} \cdot 1,047^{t-15} \quad (4)$$

Строго говоря уравнение (4) получено для аэротенков с возрастом биомассы 3-7 сут. Высоконагружаемые биофильтры, в том числе и работающие в описанном выше режиме, имеют возраст биомассы того же порядка.

Установка же «полного» окисления и капельные биофильтры имеют возраст биомассы 33-40 сут. Известно, что содержание ферментов и, следовательно, метаболическая активность микробных клеток в пределах циклов деления различны. Кроме того, в уравнения (1) и (2) входит величина биомассы m_y, включающая как активно функционирующие, так и неживые клетки. Чем больше возраст биомассы, тем выше доля неживых клеток. В связи с этим при применении уравнения (4) для расчета биореакторов с иным возрастом ила необходимо вводить член, учитывающий средний возраст биомассы.

Условия отвода продуктов метаболизма в биофильтрах много благоприятнее, чем в аэротенках. Поэтому член $\frac{1}{1+\phi \cdot a_i}$ учитывающий ингибирование процесса продуктами метаболизма, можно исключить.

Окончательно уравнение (4) будет иметь вид:

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L \cdot C}{L \cdot C + K_i \cdot C + K_0 \cdot L} \cdot \beta \cdot 1,047^{t-15} \quad (5)$$

Где β- коэффициент, учитывающий средний возраст биомассы, равный для аэротенков на полную биологическую очистку и высоконагружаемых биофильтров β=1, для установки продленной аэрации и капельных биофильтров β<1.

Процесс биологической трансформации загрязнений биоценозом биопленки сопровождается потреблением растворенного в жидкой фазе кислорода, который непрерывно пополняется в результате его растворения из газовой фазы.

Материальный баланс кислорода для рассматриваемого слоя загрузки имеет вид:

$$Q \cdot (C+dC) - Q \cdot C = K_v (C_p - C) \cdot F \cdot dH - q_0 Q \cdot dL \quad (6)$$

откуда

$$\frac{dC}{dH} = \frac{K_v (C_p - C)}{q} - q_0 \frac{dL}{dH} \quad (7)$$

где $K_v \sim$ объемный коэффициент массопередачи, 1/ч; C_p - равновесная концентрация кислорода в жидкости, г/м³; C - текущая концентрация кислорода в жидкости, г/м³; Q_0 - удельный расход кислорода на окисление загрязнений, г кислорода на 1 г снятого БПК₂₀.

Полученные выше уравнения материального баланса загрязнений и кислорода должны быть дополнены уравнением теплового баланса, имеющего вид

$$\rho_{\text{ж}} Q h_w - \rho_{\text{ж}} Q(h_w - d h_w) = \gamma (h_s - h_g) \cdot S_y \cdot F \cdot dH \quad (8)$$

откуда

$$\frac{d h_w}{h_s - h_g} = \frac{\gamma \cdot S_y \cdot F}{\rho_{\text{ж}} Q} \cdot dH \quad (9)$$

где h_w - энтальпия жидкости; h_s - энтальпия воздуха на поверхности раздела фаз; h_g - энтальпия воздуха в ядре воздушного потока; γ -эмпирический коэффициент, $\rho_{\text{ж}}$ - плотность жидкости.

Система уравнений (2), (7) и (9) полностью описывает процессы, происходящие в биофилтре. Следует иметь в виду, что при используемых на практике конструкциях оросителей орошение рассматриваемого участка поверхности загрузки неравномерно по времени. Поэтому уравнения действительны при усредненных параметрах исходного потока. При составлении уравнения теплового баланса пренебрегли выделением тепла при абсорбции газа и в биохимических процессах окисления органических загрязнений. Доля тепловыделения в этих процессах в общем тепловом балансе невелика и не может привести к заметным ошибкам. При этом допущении уравнение (9) является независимым от других двух уравнений и может решаться самостоятельно.

Интегрирование уравнения (9) по всей высоте загрузки приводит к уравнению Маркела

$$\int_{h_{w0}}^{h_{wi}} \frac{dh(w)}{h(s) - h(g)} = \int_0^H \frac{\gamma \delta(y)}{\delta(j)Q} F dH \quad (10)$$

Последнее может быть преобразовано к виду :

$$\int_0^H dH = \frac{P_{\text{ж}} Q C_{\text{ж}}}{\beta_{\text{xv}} F} \int_{t_2}^{t_1} \frac{dt}{h(s) - h(g)} \quad (11)$$

где $C_{\text{ж}}$ - удельная теплоемкость воды; t_1 t_2 температура воды соответственно на входе и выходе из биофилтра: β_{xv} - объемный коэффициент массоотдачи, отнесенный к разности влагосодержаний.

Величина β_{xv} , определяется по формуле

$$\beta_{\text{xv}} = A g_{\text{ж}}^n g_{\text{в}}^m$$

где $g_{\text{ж}}^n$ и $g_{\text{в}}^m$, соответственно массовые расходы жидкой и газовой фаз, кг/(м² ч); A , n , m -эмпирические константы, зависящие от конструктивных особенностей биофилтра, характеризуют скорость процесса теплообмена.

Методы решения уравнения (11), основанные на предварительном экспериментальном определении, подробно описаны в специальной литературе по теплообменникам. В

результате решения этого уравнения при заданных конструктивных размерах биофилтра, параметрах наружного воздуха, температуре сточной жидкости, ее расходе и расходе воздуха находят величину температуры сточной жидкости на выходе из биофилтра .

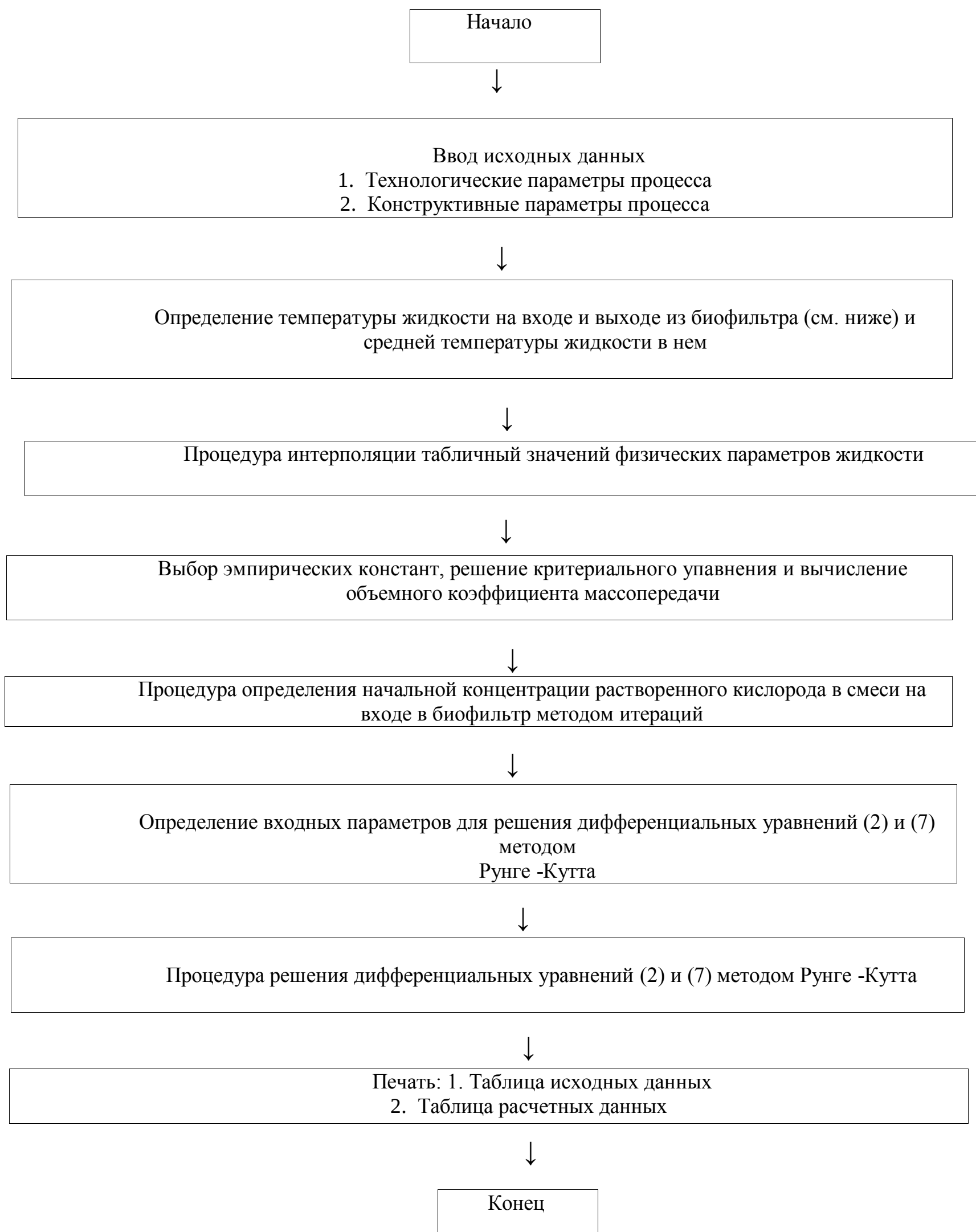
Допустив затем линейное изменение температуры по высоте биофилтра, одним из методов численного интегрирования (метод Рунге - Кутга четвертого порядка) решают два других уравнения (2) и (7). Для их решения необходимо знание лишь двух параметров m_y и K_v .

В результате решения получают кривые распределения концентрации загрязнений и растворенного кислорода в сточной жидкости по высоте биофилтра.

Уравнения материального баланса, приведенные выше, получены для структуры потока жидкости в биофилтре, соответствующей идеальному вытеснителю. В реальных условиях в той или иной степени в биофилтрах наблюдается эффект продольного перемешивания. В связи с этим действительный объем загрузки биофилтра должен быть несколько выше расчетного.

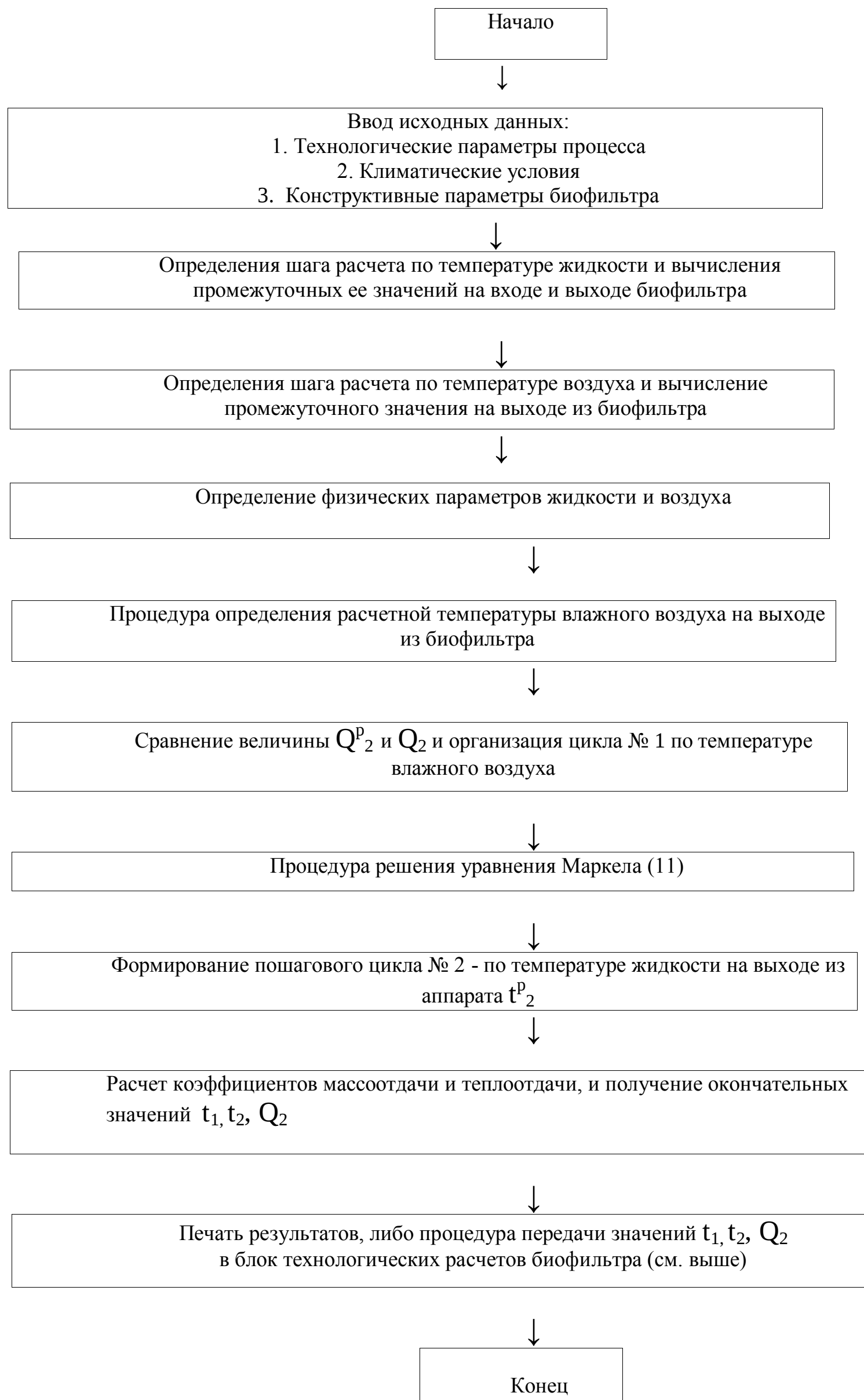
Коэффициент увеличения объема загрузки a в общем случае зависит от параметра $\frac{D}{UH} \tau$, (τ - среднестатистическое время пребывания жидкости в загрузке биофилтра) и величины $\rho m_y S_y$ (1-3)

Экспериментальные исследования, выполненные Ленским Б.П. и др. [20] показали, что реальные значения



для биофильтров с различными нагрузками и работающими в различных режимах колеблются в пределах 1,02-1,2.

Описанный выше метод расчета биофильтров достаточно громоздок для решения. Однако такой недостаток легко устраним использованием ЭВМ. Для решения поставленной задачи разработаны программа на ПЭВМ IBM PC AT, укрупненная блок - схема теплового расчета биофильтров: (см. предыдущую блок - схему) и укрупненная блок - схема теплового расчета биофильтров:



Достоверность предложенного метода расчета проверяли на полупроизводственной установке (рис.26), эксплуатируемой в течение 1,5 лет на различных режимах.

Некоторые результаты экспериментальных исследований и их корреляция с расчетными данными представлены в таблице № 12,

Адекватность экспериментальных и расчетных данных оценивали с использованием стандартной методики.

Для этого определяли величину критерия Фишера

$$F = \frac{S^2_{\text{ост}}}{S^2_{\text{воспр}}}$$

где $S^2_{\text{ост}}$ - остаточная выборочная дисперсия, определяемая

$$S^2_{\text{ост}} = \frac{(L_{\text{в.б.ф.}} - L^*_{\text{в.б.ф.}})^2}{N - 1}$$

где N- число определений, N- 11; $S^2_{\text{воспр}}$ -8 выборочная дисперсия воспроизводимости, определяемая

$$S^2_{\text{воспр}} = \frac{(L^1_{\text{б.ф.}} - L_{\text{б.ф.}})^2}{k - 1}$$

Где $L^1_{\text{б.ф.}}$ - концентрация органических загрязнений после биофильтра, работающего в одном и том же технологическом режиме;

k - число опытов, выполняемых для определения дисперсии воспроизводимости.

Для определения дисперсии воспроизводимости выбраны результаты работы полупроизводственной установки с технологическими параметрами, близкими к средним во всем диапазоне их изменения. Причем концентрация органических загрязнений в исходной воде изменялась от 178 до 180 мг БПКп/л , что позволяет говорить о достоверности значения $S^2_{\text{воспр}}$

Полученное значение $S^2_{\text{воспр}} = 2/12$, а $S^2_{\text{ост}}$ составила

$$S^2_{\text{ост}} = \frac{50,89}{11-1} = 5,089$$

Таблица № 12

Корреляция расчетных и экспериментальных данных эксплуатации полупроизводственного биофильтра с плоской загрузкой (Sy=60 м² м³)

Плотность орошения, q м ³ /(м ² ч)	Коэффициент рециркуляции , Ri	Средняя температура жидкости в биофильтре, t _m	Концентрация органических загрязнений, БПКп, г/м3			L _{в.б.ф.} -L [*] _{в.б.ф.}
			Lmix	L _{в.б.ф.}	L [*] _{в.б.ф.}	
		Нб.ф-1,90 м				1
4,44	1	27,7	65,03	54,02	52,69	1,769
4,44	1	29,0	57,14	46,00	44,73	1,613
4,44	1	28,0	72,15	58,38	59,02	0,397
5.93	1	31,7	43,99	27,99	27,28	0,504
6,66	2	27,6	60,1	45,54	42,02	12,39
6,66	2	27,3	53,2	42,97	39,16	14,516
11,00	2	22,0	48,2	27,57	29,53	3,841
		Нб.ф.-2.90				

16,67	2	18,5	53,5	23,54	24,98	2,073
16,67	2	22,1	57,4	24,57	26,69	4,494
11,11	I	19,1	72,28	40,98	43,72	7,896
11,11	1	17,4	87,66	60,46	59,13	1,769

Σ50.89

Примечание, L_{mix} - концентрация загрязнений в иловой смеси, поступающей в биофильтр, г БПКполн /м³ , равная
где
$$L_{mix} = \frac{L_{исх} + R_i \cdot L_r}{1 + R_i}$$

где $L_{исх}$ - то же в исходной сточной жидкости;
 L_r - то же в рециркулируемой жидкости; L в.б.ф - то же в иловой смеси после биофильтра; L^* в.б.ф - расчетные значения.
Величина квантиля Фишера

$$F = \frac{S^2_{ост}}{S^2_{воспр}} = \frac{5,089}{2,12} = 2,400$$

Табличное значение $F_{табл}$ применительно к вероятности в 0,05 при 10 степенях свободы для $S^2_{ост}$ и трех степенях свободы для $S^2_{воспр}$ принимается по (6) и равно $F_{табл} \sim 8,78$.
Полученное расчетное значение $F = 2,40$ меньше табличного $F_{табл} \sim 8,78$ и, следовательно, принятая модель процесса очистки в биофильтрах адекватно описывает реальный процесс.
Достоинством предлагаемого метода расчета является использование единого кинетического уравнения для биореакторов различного типа. В результате этого при применении биофильтров для очистки производственных сточных вод, для которых уже известны постоянные в кинетическом уравнении ρ_{max} , K_1 , K_0 , отсутствует необходимость в дополнительных экспериментальных исследованиях.

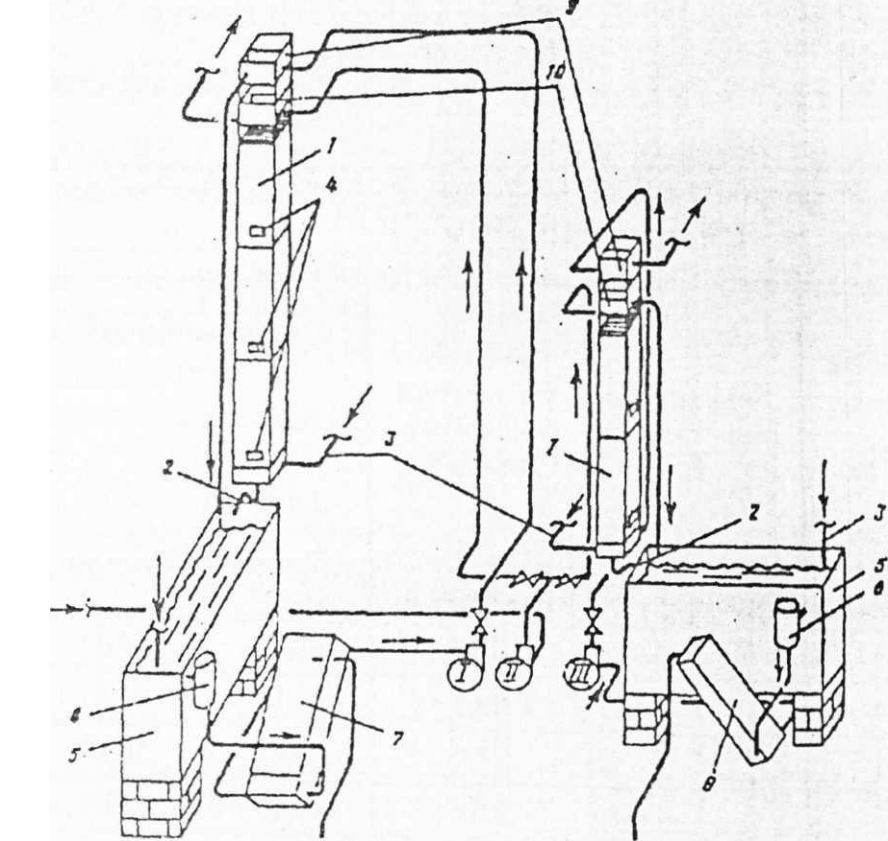


Рис 26. Полупроизводственная установка: 1- насадочная колонна; 2- гидравлический затвор; 3 -трубопровод подачи сжатого воздуха; 4 - смотровые люки; 5 - аэротенк-смеситель; 6 -воздухоотделитель; 7,8 - тонкослойные отстойники; 9 - дозировочный бачок циркулирующего илл; 10 - дозировочный бачок сточной жидкости.

Кроме того, предлагаемый метод расчета позволяет корректно сформулировать и численно решить на ЭВМ ряд оптимизационных задач как по выбору основных конструктивных размеров биофильтра и величины рециркуляции, так и более общую задачу по выбору оптимальной схемы биологической очистки (биофильтр, аэротенк или их сочетание) с учетом климатических особенностей района строительства.

5.5. Примеры расчетов биологических сооружений.

Пример 1.
Рассчитать аэробный биореактор с прикрепленной плоскостной загрузкой, применяемый для очистки сточных вод мясоперерабатываемого комбината, по следующим исходным данным:
- расход сточных вод - 100 м³/сут,
- БПК исходных сточных вод - 200 мг O₂/л;

- содержание взвешенных веществ в исходных сточных водах -100 мг/л;
 - БПК в очищенных сточных водах - 3 мг/л;
 - остаточное содержание взвешенных веществ в очищенных сточных водах – 3 мг/л;
 Т- температура исходных сточных вод – 12° С.

1. Объем загрузки в биореакторе равен:

$$W_3 = \frac{Q (L_{en} - L_{ex})}{24 \cdot OM} = \frac{100(200 - 3)}{24 \cdot 2,8} = 293,2 \text{ м}^3$$

$$OM = 2169 \cdot 2 \cdot \frac{3}{160 + 3} + \frac{200}{2500 + 200} = 2,8 \text{ ХПК /м}^3$$

2. Гидравлическая допустимая нагрузка на загрузку биореактора равна:

$$q_n = \frac{62,5 \cdot 100}{200} = 31,25 \text{ м}^3/\text{м}^3\text{сут}$$

$$\Theta = \frac{200 - 3}{200} \cdot 100\% = 98,5\%, \text{ тогда } M_n = 65,5 \text{ г/м}^2\text{сут}$$

В зависимости от пористости загрузки (Р) принимаем удельную поверхность загруженного м-ла (Sуд):
 р= 95%, Sуд=90-110 м²/м³ (гофрированные блоки);
 р=70%, Sуд =80 м²/м³

3. По табл. 3.30 (15 стр. 157) принимаем высоту (Н) биореактора при t =12°С равной 3м, тогда площадь биореактора

$$F = \frac{W_3}{H} = \frac{293,2}{3} = 97,7$$

4. Продолжительность аэрации равна

$$T_a = \frac{200 - 3}{10 \cdot (1 - 0,3) \cdot 7,6} = 3,7 \text{ г}$$

$$\rho = 500 \cdot \frac{3 \cdot 10}{3 \cdot 10 + 50 \cdot 10 + 1,67 \cdot 3} \cdot \frac{1}{1 + 0,175 \cdot 10} = 7,6 \text{ мг/гч}$$

5. Рабочий объем биореактора равен:

$$W_3 = \frac{100}{24} \cdot 3,7 + 293,2 = 308,6 \text{ м}^3$$

Принимая ширину биореактора В=6м и строительную высоту Нс = 5м, длина будет равна:

$$a = \frac{308,6}{5 \cdot 6} = 10,3 \text{ м}$$

6. Расход воздуха на аэрацию равен:

$$A = \frac{200}{21} \cdot 2,5 = 24 \text{ м}^3/\text{час}$$

7. Коэффициент скорости биохимического окисления равен:

$$K_{с.б.о.} = \frac{21}{8} = 2,6$$

Требуемая концентрация биопленки определится по формуле:

$$a_6 = \frac{F \cdot 6}{W_{at}} = \frac{97,7 \cdot 45}{308,6} = 14,42 \text{ кг/м}^3$$

8. Гидравлическая нагрузка определится как

$$q_{pf} = \frac{Q}{W_p} = \frac{100}{308,6} = 0,32 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \text{ сут})$$

9. Органическая нагрузка по БПК_п будет равна $M = L_{en} \cdot q_{pf} = 200 \cdot 0,32 = 64,8 \text{ г}/(\text{м}^3 \text{ сут})$

Пример 2.
 При тех же исходных данных из (примера 1) рассчитать биореактор с объемной загрузкой.

1.Объем биореактора определится по формуле (11):

$$W_p = 1,2 \cdot 4,17 \cdot 1,1 = 5,5 \text{ м}^3$$

2. Время полного разложения органических загрязнений будет равно:

$$t_{dn} = \frac{200 \cdot 1}{15 \cdot 25 \cdot (1-0,5)} = 1,1 \text{ час}$$

3. Общая емкость биореактора равна $W=1,3 \cdot W_p=1,3\cdot5,5=7,2 \text{ м}^3$

Пример 3.
 Рассчитать анаэробный биореактор с объемной загрузкой при исходных данных примера 1.

1. Скорость анаэробной стабилизации органических загрязнений определяется по формуле (15):

$$\rho = \frac{500 \cdot 200}{50 + 200} \cdot \frac{1}{1 + 0,175 \cdot 10} = 144 \text{ мг БОС}/\text{гч}$$

2. Объем анаэробного биореактора равен:

$$W_{ан.р} = W_{ил} + W_{загр} = 0,73+5,5=6,23 \text{ м}^3$$

3.

$$W_{ил} = \frac{Q_{ил} \cdot 100}{d} = \frac{0,22 \cdot 100}{30} = 0,73 \text{ м}^3$$

$$Q_{ил} = \frac{U_{сух} \cdot 100}{(100 - P_{ил}) \cdot \rho_{ил}} = \frac{0,0065 \cdot 100}{(100 - 97) \cdot 1} = 0,22 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$U_{сух} = \frac{\Pi_p \cdot n \cdot Q}{1000 \cdot 1000} = \frac{50 \cdot 1,3 \cdot 100}{1000 \cdot 1000} = 0,0065\text{т}/\text{сут} = 6,5 \text{ кг}/\text{сут}$$

4. Выход газа определяется по формуле (18) [19]:

$$Q_{\Gamma} = \Gamma \cdot Q = 0,1 \cdot 100 = 10 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$\Gamma = \frac{y (100 - P_{ил})(100 - 3)}{1000 \cdot \rho_{\Gamma}} = \frac{0,45 (100 - 97)(100 - 25)}{1000 \cdot 1} = 0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$y = \frac{a - nd}{100} = \frac{50 - 0,17 \cdot 30}{100} = 0,45 = 45 \%$$

Предел сбраживания (а) беззольного вещества загрязнений сточной воды определяется по формуле (14):
 $a=(0,92Ж + 0,62У + 0,34 Б) \cdot 100$, где
 Ж, У, Б — соответственно содержание жиров, углеводов, белков, г на 1г беззольного вещества осадка.
 Величину «а» можно подсчитать по формуле (21), а зольность по - (20) (14)

Пример 4.

Рассчитать основные технологические характеристики биореактора с псевдоожиженной загрузкой активированного угля, применяющегося для очистки ПСВ от фенолов при следующих исходных данных:

- содержание фенолов в исходной ПСВ -500 мг/л;
- остаточное содержание фенолов в ПСВ - 0,1 мг/л;
- диаметр частиц активированного угля - 0,5 мм;
- гидравлическая крупность частиц - 5 мм/с;
- плотность активированного угля - 1,2 кг/м.

1. Минимальная скорость псевдоожижения будет равна:

$$V_{pc} = \frac{192,6 \cdot 0,000014}{0,005 \cdot 1000} = 0,00044 \text{ см/с}$$

$$Re_{o.n.o.} = 0,009121 \cdot 1719298,2^{0,724} \cdot 510,2^{-0,07} = 192,6$$

$$A_{\text{ч}} = \frac{0,005^3 \cdot 1000(1200 - 1000) 980}{0,0000114} = 1719298,2$$

$$\mu_{\text{ж}} = 1000 \cdot 1,14 \cdot 10^{-6} = 0,00114 \text{ г/мс}$$

$$F_{\Gamma} = \frac{50^2}{980 \cdot 0,005} = 251,2$$

2. Доза адсорбента равна:

$$m = \frac{500 - 0,1}{31,6 \cdot 0,1^{0,3}} = 31,58 \text{ г}$$

3. Объем адсорбента будет равен

$$V_{\Gamma} = \frac{m}{\rho} = \frac{31,58}{1200} = 0,03 \text{ м}^3$$

4. Объем псевдоожиженного слоя определим из формулы (22) (17):

$$V_{\text{пс}} = \frac{V_{\Gamma}}{1 - 0,4} = \frac{V_{\Gamma}}{0,6} = \frac{0,03}{0,6} = 0,05 \text{ м}^3$$

5. Т.к. объем биореактора составляет $V_{\text{пс}} = 0,7 V_{\text{р}}$, то

$$V_{\text{р}} = \frac{V_{\text{пс}}}{0,7} = \frac{0,05}{0,7} = 0,071 \text{ м}^3$$

6.0. Реконструкция существующих очистных сооружений.

В последние годы наметился устойчивый интерес к реализации проектов строительства, а также реконструкции существующих сооружений глубокой очистки сточных вод по биогенным веществам. Повсеместная реализация таких проектов сдерживается из-за высокой стоимости капитальных вложений и эксплуатационных издержек (21).

Основой себестоимости очистки сточных вод являются издержки на энергоресурсы, утилизацию ила, подготовку и содержание квалифицированного персонала. Поэтому, на наш взгляд, требованиями, предъявляемыми к современным технологиям, являются:

1. Снижение капитальных вложений за счет:

- интенсификации процесса (сокращение времени гидравлической задержки);
- использования технологий без первичного отстойника;
- использования технологий с отсутствием прироста активного ила;

2. Снижение эксплуатационных издержек за счет:

- минимального использования энергоресурсов;
- минимальных затрат на утилизацию осадков и ила;
- простых процессов, не требующих высококвалифицированного многочисленного обслуживающего персонала;

3. Повышение эффективности очистки:

- по азоту,
- по фосфору;

4. Повышение устойчивости очистки за счет:

- поддержания низкого илового индекса;
- снижения влияния изменений состава стока и его параметров.

В настоящее время для биологического удаления азота и фосфора наиболее распространенной является технология A20 (патент US № 4056456, опубликован 01.11.77 и ее модификации). Сущность этой технологии заключается в том, что сточные воды последовательно очищаются в анаэробных -1, аноксных -2 и аэробных -3 условиях. Соответствующие процессы очистки - гидролиз растворенной органики, денитрификация и нитрификация. Активный ил из второго отстойника -4 возвращается в анаэробную зону. Между нитрификатором и денитрификатором имеется рецикл.

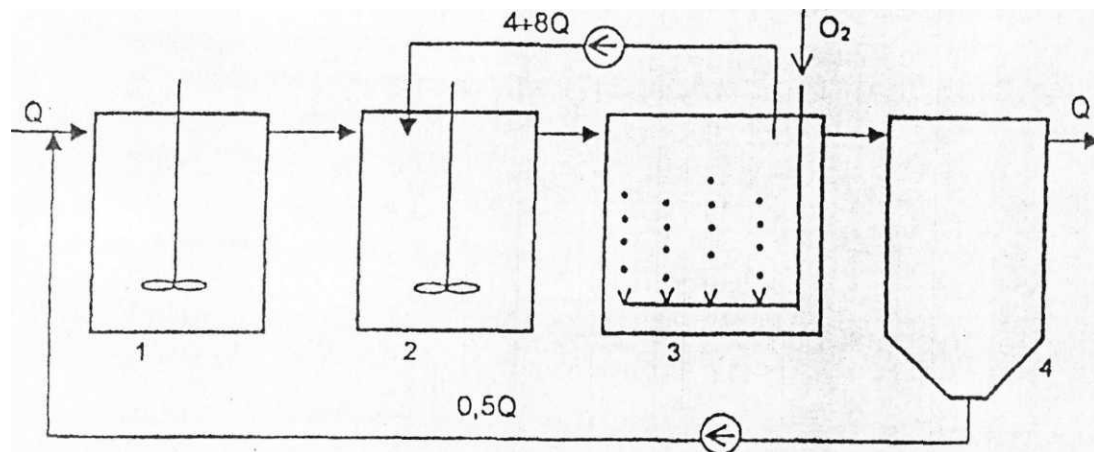


Рис. 28 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС по схеме A20

Разработана новая технология, отвечающая вышеуказанным требованиям, которая применима к существующим аэротенкам (21)

Сточные воды (схема 1 - 4) без предварительного отстаивания последовательно очищаются:

- в анаэробных условиях 1.1;
- в условиях сорбции загрязнений 1.2;
- в аэробно - анаэробных условиях 2;
- в аэробных условиях 3.

Регенерация ила проходит в выделенном отделении аэротенка 5.

Соответственно процессы:

- гидролиз 1.1;
- сорбция 1.2;
- нитрификация - денитрификация 2;
- постаэрация 3;
- восстановление окислительной способности ила 5.1;
- ассимиляция взвешенного - ила 5.2.

6.1. _Схема 1 с использованием иммобилизованного и взвешенного ила.

1.1. ГИДРОЛИЗ

Гидролиз основной части растворенной органики протекает с участием экзоферментов облигатных и факультативных анаэробов, иммобилизованных на носителе.

Продуктами гидролиза являются мономеры низших кислот и спиртов. Установленное время гидравлической задержки достаточно для максимально полной ферментации органики, но недостаточно для развития ацетогенных бактерий. Поскольку время гидравлической задержки невелико, а объемная нагрузка на биоценоз по органическим веществам очень высокая, то условия процесса приближены к условиям чистой ферментации. Поэтому только незначительная часть органики ассимилируется гидролитическими бактериями в целях обеспечения жизнедеятельности и синтеза клетки. Для предотвращения «проскока» гидролизер делается многокамерным. Перемешивание - механическое.

1.2. ГИДРОЛИЗЕР- БИОСОРБЕР

Из вторичного отстойника в биосорбер подается активный ил. Время гидравлической задержки устанавливается достаточным для обеспечения высокой объемной нагрузки и максимальной сорбции продуктов гидролиза. Такой прием предотвращает возникновение условий для развития нитчатых форм бактерий. Это, в свою очередь, позволяет существенно увеличить дозу ила и соответственно снизить нагрузку на ил.

Для обеспечения максимальной скорости и полноты изъятия используется микротурбулизация механически перемешиваемого потока за счет специальной конструкции носителя.

В свою очередь, благодаря иммобилизованному на носителе биоценозу, биосорбер одновременно выполняет роль второй ступени гидролизера, что обеспечивает более полную ферментацию растворенной органики. _

Наличие растворенного кислорода, принесенного в гидролизер - биосорбер рециклом активного ила из вторичного отстойника, не снижает ферментативную активность факультативных анаэробов, благодаря специфике условий, возникающих в толще биопленки.

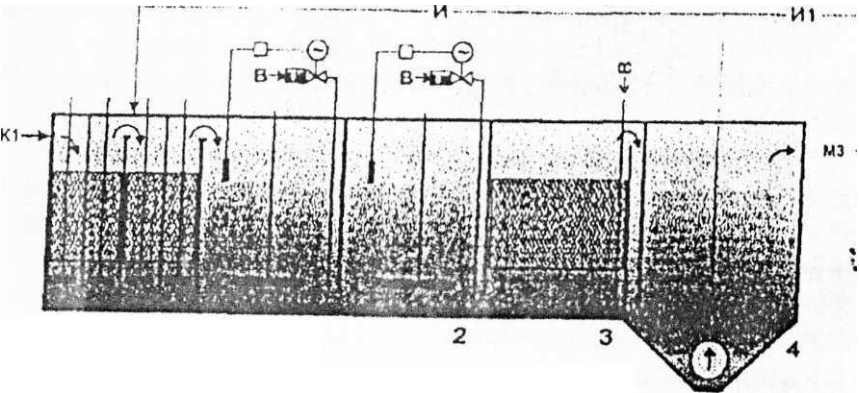
Для предотвращения «проскока» гидролизер делается многокамерным. Перемешивание - механическое.

2. НИТРИФИКАТОР – ДЕНИТРИФИКАТОР

Для глубокой биологической очистки сточных вод необходим ряд последовательных реакций. Один из факторов, от которого зависят эти реакции в питательной среде, является окислительно - восстановительный потенциал, выражающий количественную характеристику степени аэробности. Он становится минимальным при насыщении среды водородом и максимальным при насыщении среды кислородом. М.Кларк предложил величину окислительно -восстановительного потенциала обозначать rH_2 - отрицательный логарифм парциального давления газообразного водорода. Диапазон rH_2 от 0 до 42,6 характеризует все степени насыщения водного раствора водородом и кислородом

Микроорганизмы, осуществляющие глубокую очистку сточных вод, по типу дыхания подразделяются на облигатные аэробы, микроаэрофилы, факультативные анаэробы,

СХЕМА №1
с использованием иммобилизованного и взвешенного ила



- Обозначения:
- K1 - неочищенный сток
 - M3 - очищенный сток
 - B -воздух
 - И - активный ил
 - И1 - лишний ил

Функциональное назначение этапов

НАИМЕНОВАНИЕ	НАЗНАЧЕНИЕ
1. Анаэробная зона	- ферментизация БПК до НК* и С*
1.1. Гидролиз БПК (1-ая ступень)	- окисление БПК и ХПК (частичное)
1.2. Гидролиз (2-ая ступень)	- сорбция НК и С
Биосорбция	- адгезия ВВ
	- ферментизация БПК до НК* и С*
	- окисление БПК и ХПК (частичное)
	- предотвращение условий развития нитчатых бактерий
	- освобождение ортофосфатов
2. Аноксическая зона	- нитрификация
2.1 Нитрификация	-денитрификация
2.2. Денитрификация	- окисление БПК и ХПК (основное)
2.3. Ассимиляция фосфора 9 ц	- освобождение ортофосфатов
	- поглощение ортофосфатов

	- лимитирование прироста или за счет поддержания в стационарной фазе роста
	- регенерация взвешенного ила
3. Аэробная зона	- доочистка по всем показателям
3.1. Постаэрация	- регенерация взвешенного ила
	- поглощение ортофосфатов
	- ассимиляция прироста ила
	- дегазация биофлоков ила
	- насыщение кислородом
	- улучшение седиментации ила

- низшие кислоты и спирты

облигатные анаэробы. Аэробы растут в пределах rH_2 14-30, факультативные анаэробы – 0 - 20, анаэробы - 0 - 12.

Современные представления о технологии глубокой нитрификации, денитрификации и ассимиляции фосфора, показывают возможность одновременного протекания указанных процессов. Условием такого процесса очистки является оптимальный окислительно-восстановительный потенциал. Величина оптимального потенциала rH_2 является характерной для каждого конкретного стока и условий очистки. Поддержание оптимального значения rH_2 осуществляет аэрация. Количество растворенного кислорода обычно находится в пределах 0.1 - 0.5 мг/л O_2 . Интенсивность аэрации при таких значениях является недостаточной для эффективного перемешивания, поэтому используется механическое перемешивание. Такие условия благоприятны для развития в основном факультативных аэробов и анаэробов.

Нитрификация осуществляется в основном гетеротрофными микроорганизмами наряду с хемоавтотрофными. Денитрификация осуществляется микроорганизмами, ассимилирующими фосфор. Таким образом, за счет регуляции подачи воздуха с обратной связью, создаются условия для одновременной нитрификации-денитрификации, биологической ассимиляции фосфора и поддержания бактерий активного ила в стационарной фазе роста. Лимитируя доступ к кислороду, бактерии биоценоза микроорганизмов поддерживаются в стационарной фазе роста, когда процесс размножения уравнивается процессом гибели клеток.

Интенсивность обменных процессов в стационарной фазе роста (поглощение кислорода, синтез белка и др.) снижается. Однако, ферментативная активность и синтез ферментов не снижается, благодаря участию в транспорте электронов, наряду с кислородом, альтернативных акцепторов (NO_3^- , NO_2^- , Fe^{3+} , SO_4^{2-} и др.).

Микроорганизмы в стационарной фазе роста характеризуются значительно большей устойчивостью к изменению таких параметров стока, как pH, температура, изменение концентраций и его сбалансированность. Это происходит потому, что значительная часть ила - минерализована. Экзо- и эндоферменты лизированных клеток еще длительное время сохраняют высокую активность. Поэтому процесс очистки в большей степени носит ферментативный характер, чем сорбционно-окислительный.

Многочисленное снижение количества потребляемой электроэнергии происходит, исходя из следующих фактов:

- потребление кислорода на синтез клеток минимальное, так как бактерии взвешенного биоценоза ила поддерживаются в основном в стационарной фазе роста, происходит лишь небольшой линейный рост,
- потребление кислорода на нитрификацию отсутствует в связи с тем, что процесс нитрификации - денитрификации происходит одновременно;
- потребление кислорода на эндогенное дыхание микроорганизмов в стационарной фазе роста снижается за счет перехода на альтернативные пути дыхания с использованием различных акцепторов электронов (NO_3^- , NO_2^- , Fe^{3+} , SO_4^{2-} и др.);
- поддержание ила во взвешенном состоянии происходит в основном за счет механического перемешивания, что по капитальным затратам и себестоимости многократно дешевле аэрационного перемешивания.

Зона нитри-денитрификации оборудуется донными эжекторными аэраторами - мешалками. Подача воздуха осуществляется автоматически - электромагнитными клапанами, управляемыми блоком автоматики в зависимости от заданных значений редокс потенциала rH_2

2. 3. ПОСТ АЭРАЦИЯ

Интенсивная аэрация обеспечивает дегазацию флоков ила, а так же предотвращает возникновение дефицита кислорода в отстойниках. Таким образом, предотвращается биофлотация и восстановительные процессы.

Аэрация должна обеспечивать количество растворенного кислорода, достаточное для развития и поддержания простейших в иммобилизованном иле.

Как известно, иммобилизационные биоценозы содержат во много раз больше простейших, а так же более разнообразный видовой состав по сравнению с взвешенным илом. Биопленка захватывает флокулы ила, таким образом обеспечивая прикрепленных простейших пищей. Биопленка так же является инкубатором свободно плавающих простейших, которые существенно улучшают седиментацию ила, осветление воды, удаление патогенных бактерий.

Зона постаэрации оборудуется мембранными аэраторами и специальным пластмассовым носителем.

6.2. СХЕМА 2 с использованием прикрепленного и взвешенного ила.

Нитрификатор- денитрификатор может быть дополнительно оборудован носителем для иммобилизации ила. По сравнению с базовой схемой, это поможет увеличить:

- производительность;
- эффективность,
- снизить прирост ила,
- устойчивость к изменениям РН, температуры, концентраций и несбалансированного стока,
- устойчивость к токсическим воздействиям, устойчивость и эффективность работы в условиях низких температур стока.

Зонирование нитрификатора-денитрификатора способствует развитию многоступенчатой трофической системы, в которой по мере перехода от более низких к более высоким уровням питания, биомасса организмов активного ила, как обычно в пищевых пирамидах, сокращается.

Как известно, иммобилизованные биоценозы содержат во много раз больше простейших, а так же более разнообразный видовой составы по сравнению с взвешенным илом. Биопленка захватывает флоккулы ила, таким образом обеспечивая прикрепленных простейших пищей. Биопленка так же является инкубатором свободно плавающих простейших, которые существенно улучшают седиментацию ила, осветление воды, удаление патогенных бактерий.

Установлено, что прикрепленные биоценозы поддерживают качество и количество бактериальной массы активного ила в пределах, обеспечивающих максимально эффективную очистку стока. Следовательно, отличительным признаком предлагаемого метода является саморегуляция с предельно минимальным приростом ила.

Иммобилизация биоценозов на носителе позволяет поддерживать очень высокий возраст ила, который является главным лимитирующим фактором, обеспечивающим высокий эффект нитрификации.

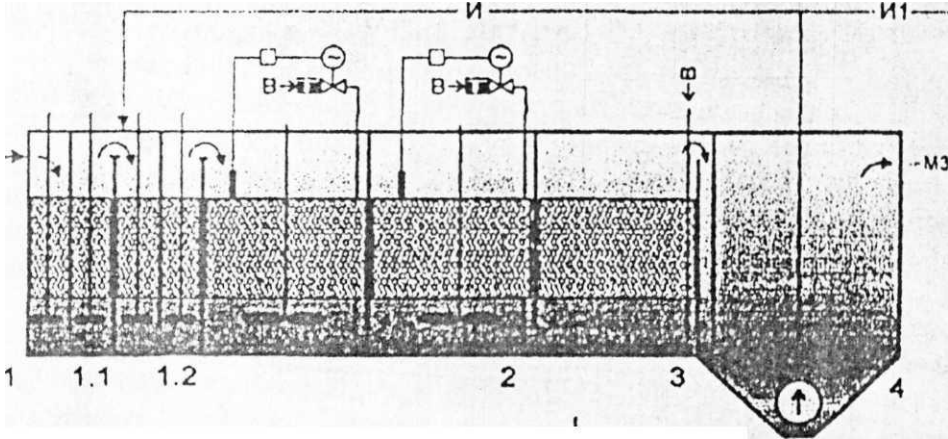
Высокий возраст ила и многоступенчатость позволяет производить очистку стоков, содержащих трудно окисляемые соединения.

Благодаря использованию в нитрификаторе-денитрификаторе носителя для иммобилизации ила, а также разделению процесса на ступени:

- увеличивается скорость и эффективность очистки стока по всем параметрам, в связи с увеличением дозы и возраста ила;
- возникает возможность эффективной очистки низкоконцентрированных, токсичных, трудноокисляемых стоков;
- увеличивается устойчивость к изменению параметров стока;
- происходит многократное снижение прироста ила за счет трофической саморегуляции;
- возникает возможность очистки стоков с низкой температурой.

СХЕМА №2

с использованием прикрепленного и взвешенного ила



ОБОЗНАЧЕНИЯ

- К1 - неочищенный сток
- МЗ - очищенный сток
- В - воздух
- И -активный ил
- И1 - лишний ил

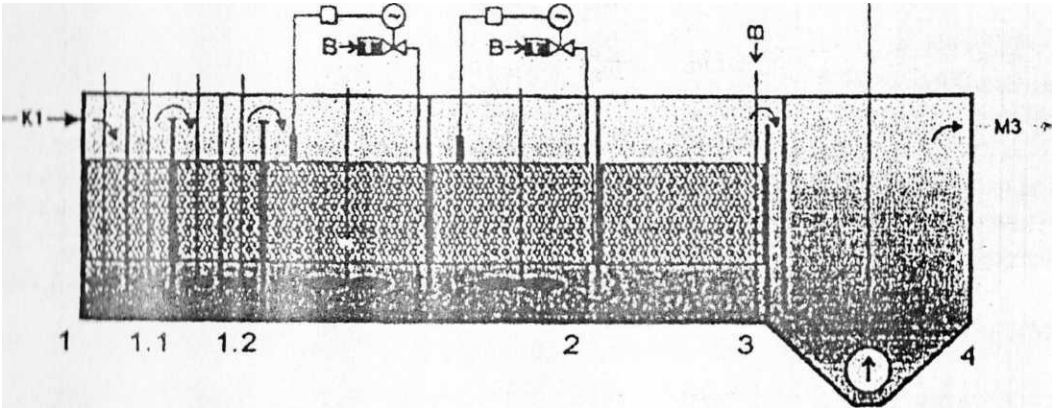
Функциональное назначение этапов

НАИМЕНОВАНИЕ	НАЗНАЧЕНИЕ
1. Анаэробная зона	- ферментизация БПК до НК* и С*
1.1. Гидролиз ВПК (1-ая ступень)	- окисление БПК и ХПК (частичное)
1.2. Гидролиз (2-ая ступень)	- сорбция НК и С \$
Биосорбция	- адгезия ВВ
	- ферментизация БПК до НК* и С*
	- окисление БПК и ХПК (частичное)
	- предотвращение условий развития нитчатых бактерий?!
	- освобождение ортофосфатов
2. Аноксическая зона	- нитрификация

2.1 Нитрификация	-денитрификация
2.2. Денитрификация	- окисление БПК и ХПК (основное)
2.3. Ассимиляция фосфора	- освобождение ортофосфатов
	- поглощение ортофосфатов
	- лимитирование прироста или за счет поддержания в стационарной фазе роста
	- ассимиляция прироста ила
	- доочистка по всем показателям
	- регенерация взвешенного ила
3. Аэробная зона	- доочистка по всем показателям
3.1. Постаэрация	- регенерация взвешенного ила
	- поглощение ортофосфатов
	- ассимиляция прироста ила
	- дегазация биофлоков ила
	- насыщение кислородом
	- улучшение седиментации ила

- низшие кислоты и спирты

СХЕМА № 2А
с использованием прикрепленного ила



ОБОЗНАЧЕНИЯ
 K1 - неочищенный сток
 M3 - очищенный сток
 В - воздух
 И1 - лишний ил

Функциональное назначение этапов

НАИМЕНОВАНИЕ	НАЗНАЧЕНИЕ
1. Анаэробная зона	- Ферментизация БПК до НК* и С*
1 1 Гидролиз БПК (1-ая ступень)	- окисление БПК и ХПК (частичное)
1,2 Гидролиз БПК (2-ая Ступень)	
2 Аноксическая зона	- нитрификация
2.1 Нитрификация	- денитрификация
2.2. Денитрификация	- окисление БПК и ХПК (основное)
2.3. Ассимиляция фосфора	- освобождение ортофосфатов
	- поглощение ортофосфатов
	- лимитирование прироста или за счет поддержания в стационарной фазе роста
	- ассимиляция прироста ила
3 Аэробная зона	- доочистка по всем показателям
3.1 Постаэраци я	- регенерация взвешенного ила
	- поглощение ортофосфатов
	- ассимиляция прироста ила
	- насыщение кислородом

* низшие кислоты и спирты

- токсичных и трудноокисляемых,
- с высокой гидравлической нагрузкой и низкой концентрацией.

Зонирование нитрификатора - денитрификатора способствует развитию многоступенчатой трофической системы, в которой по мере перехода от более низких к более высоким уровням питания, биомасса организмов активного ила, как обычно в пищевых пирамидах, сокращается.

Прикрепленный биоценоз характерен тем, что в биологической пленке последних камер формируется богатый и разнообразный видовой состав простейших. Простейшие, а также многоклеточные организмы (нематоды, коловратки, малощетинковые черви), как известно являются регуляторами прироста ила. Таким образом, благодаря балансу между бактериальным приростом ила и этими микроорганизмами, установка работает без лишнего ила.

Небольшое количество взвешенных веществ (в пределах, установленных нормативами в сбрасываемом очищенном стоке) состоит из гидробионтов второго и третьего трофического уровня. При сбросе в естественные водоемы эти гидробионты включаются в пищевые цепи, не нарушая естественного баланса. Хищные коловратки, нематоды, малощетинковые черви и тихоходки - представители третьего трофического уровня - являются отличным кормом для рыб. Инфузории, бактериядные нематоды и коловратки - представители второго трофического уровня - потребляют бактерии планктона, перифитона, бентоса, тем самым улучшая санитарное состояние водоема. Представители третьего уровня являются также активными детритофагами.

6.3 СХЕМА 3 с использованием иммобилизованного и взвешенного ила (с отдельной регенерацией ила).

Базовая схема может быть дополнена отдельной регенерацией активного ила. Регенератор разделяется на несколько последовательных, аэрируемых зон. Регенератор может быть оборудован носителем для иммобилизации ила (простейших и др.). Количество носителя определяется, исходя из поддержания оптимального количества и качества взвешенного ила. Обводная линия позволяет управлять величиной ассимиляции лишнего ила.

Данная схема позволяет сократить прирост ила в десятки раз.

6.4. СХЕМА 4 с использованием иммобилизованного и взвешенного ила Г (с отдельной регенерацией ила).

Базовая схема может быть дополнена отдельным минерализатором ила. Минерализатор. разделяется на несколько последовательных, аэрируемых зон. Минерализатор может быть оборудован носителем для иммобилизации ила (простейших и др.).

Количество носителя определяется, исходя из нагрузки по лишнему илу и осадку первичных отстойников на минерализатор. Данная схема позволяет сократить выход минерализованного ила в десятки раз, обеспечить высокое качество минерализации и сократить себестоимость.

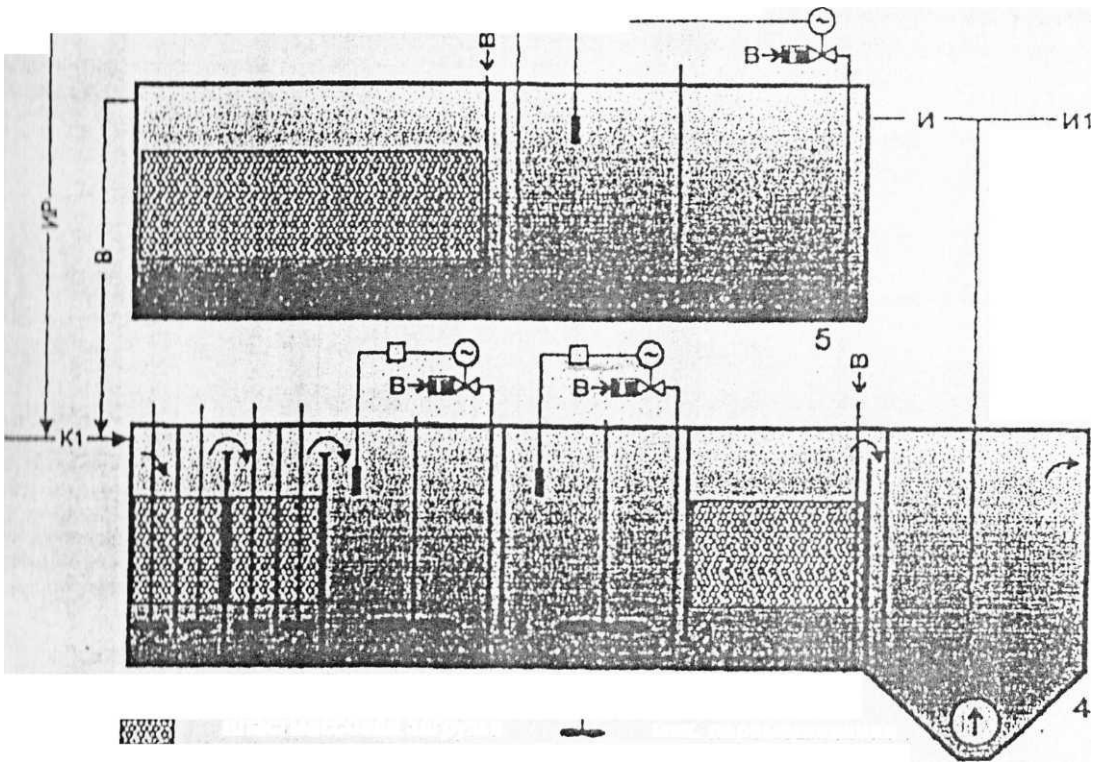
| 6.5. СХЕМА 5.1. 5.2 РЕГЕНЕРАЦИЯ И АССИМИЛЯЦИЯ ИЛА

В регенераторе происходит восстановление окислительных свойств и значительно снижение прироста ила.

Восстановленный ил направляется в камеру сорбции гидролизера 1.2. Лишний ил направляется в зону регенератора 5.2., оборудованную пластмассовым носителем. Благодаря носителю и условиям, поддерживаемым в регенераторе, возникает значительное снижение массы лишнего активного ила за счет трофических взаимоотношений микроорганизмов активного ила. Продолжительные исследования и практика показывают, что биопленка иммобилизованных микроорганизмов содержит в 2-3 раза больше простейших и многоклеточных, чем взвешенный ил. Таким образом формируется второй и третий трофические уровни пищевой пирамиды. Количество и биомасса активного ила, как это обычно бывает в пищевых пирамидах, от уровня к уровню уменьшается в несколько раз (до 7-10 раз). Биопленка в режиме эндогенного дыхания содержит большое количество экзополимеров, благодаря которым происходит захват флокул ила взвешенных веществ. Таким образом происходит обеспечение простейших и многоклеточных микроорганизмов пищей.

СХЕМА №3

с использованием иммобилизованного и взвешенного ила (с отдельной регенерацией ила).



ОБОЗНАЧЕНИЯ: K1 - неочищенный сток; МЗ - очищенный сток; В – воздух; И - активный ил; И1 - лишний ил; ИВ - иловая вода; ИР - регенерированный ил

Функциональное назначение этапов

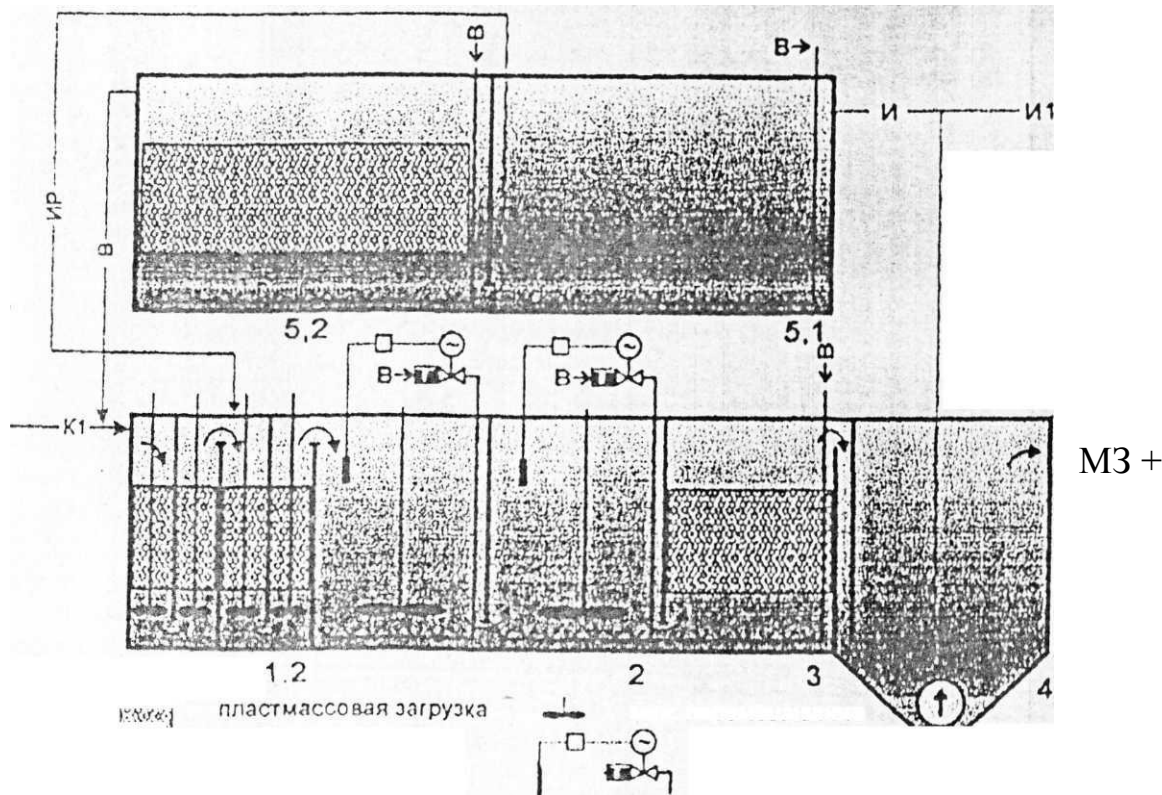
НАИМЕНОВАНИЕ	НАЗНАЧЕНИЕ
I. Анаэробная зона	- ферментизация БПК до НК* и С*
1.1. Гидролиз БПК (1-ая ступень)	- окисление БПК и ХПК (частичное)
1.2. Гидролиз БПК (2-ая ступень)	- сорбция НК и С
Биосорбция	- адгезия ВВ
	- ферментизация БПК до НК* и С*
	- окисление БПК и ХПК (частичное)
	- предотвращение условий развития нитчатых бактерий
	* освобождение ортофосфатов
2, Аноксическая зона	- нитрификация
2.1 Нитрификация	- денитрификация
2.2. Денитрификация	- окисление БПК и ХПК (основное)
2.3. Ассимиляция	- освобождение ортофосфатов
	- поглощение ортофосфатов
	- лимитирование прироста или за счет поддержания в стационарной фазе роста
	- ассимиляция прироста ила
	• регенерация взвешенного ила
3, Аэробная зона	- доочистка по всем показателям
3.1. Постаэрация	- регенерация взвешенного ила
	- поглощение ортофосфатов
	- ассимиляция прироста ила
	- дегазация биофлоков ила

	- насыщение кислородом
	- улучшение седиментации ила
4. Регенерация ила	1 регенерация ила
	-ассимиляция ила

- низшие кислоты и спирты

СХЕМА №4

с использованием иммобилизованного и взвешенного ила (с отдельной регенерацией ила)



ОБОЗНАЧЕНИЯ К1 - неочищенный сток; М3 - очищенный сток ; В –воздух; И - активный ил; И1 - лишний ил; ИВ - иловая вода ;ИР - регенерированный ил

Функциональное назначение этапов

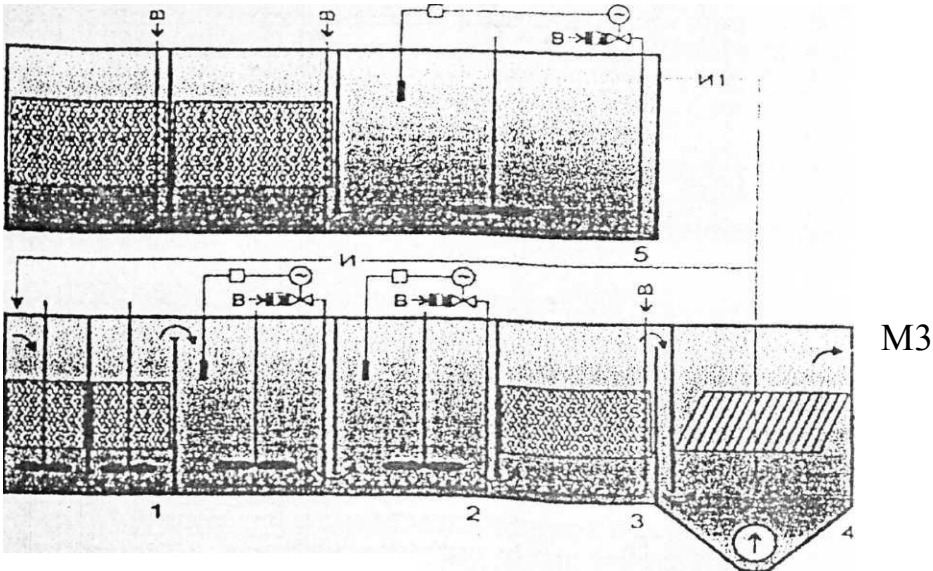
НАИМЕНОВАНИЕ	НАЗНАЧЕНИЕ
1. Анаэробная зона	- ферментизация БПК до НК* и С*
1.1. Гидролиз БПК (1-ая ступень)	- окисление БПК и ХПК (частичное)
1.2. Гидролиз БПК (2-ая ступень)	- сорбция НК и С
Биосорбция	- адгезия ВВ
	- ферментизация БПК до НК* и С*
	- окисление БПК и ХПК (частичное)
	- предотвращение условий развития нитчатых бактерий
	- освобождение ортофосфатов
2. Аноксическая зона	- нитрификация
2.1 Нитрификация	- денитрификация
2.2. Денитрификация	- окисление БПК и ХПК (основное)
2.3. Ассимиляция	- освобождение ортофосфатов
	- поглощение ортофосфатов
	- лимитирование прироста или за счет поддержания в 1 стационарной фазе
	- ассимиляция прироста ила
	- регенерация взвешенного ила
Аэробная зона	- доочистка по всем показателям

3.1. Постаэрация	- регенерация взвешеногр ила	
	- поглощение ортофосфатов	
	- ассимиляция прироста ила	
	- дегазация биофлоков ила	
	- насыщение кислородом	
	- улучшение седиментации ила	
4.Отстойник	- отделение ила	
5. Регенерация ила	- регенерация ила	
	- ассимиляция ила	

- низшие кислоты и спирты

СХЕМА №5

с использованием прикрепленного и взвешенного ила (с отдельной минерализацией ила)



ОБОЗНАЧЕНИЯ

K1 | неочищенный сток

M3 - очищенный сток

В • воздух

И - активный ил

И1 • лишний ил

И2 • минерализованный ил

ИВ – иловая вода

I. Область применения

- реконструкция аэротенкое-вытеснителей всех типов с отдельной минерализацией ила

II. Цель реконструкции

- повышение эффекта очистки по всем показателям I

- снижение потребления электроэнергии

- снижение прироста ила

III. Условия применения

• по БПК от 150 до 350 мг/л

- сток сбалансирован

- нагрузки равномерные

Функциональное назначение зон

НАИМЕНОВАНИЕ	НАЗНАЧЕНИЕ
1. Гндролизер (количество камер 2-4)	- гидролиз растворенной части ВПК до ЛЖК
	- сорбция ЛЖК
	- сорбция по БПК и ЛЖК не менее 93-95%
	- освобождение от ортофоофатов
	-предупреждение вспухания ила
2. Нитри-денитрификатор (количество камер 2-4)	- ассимиляция ортофосфатов
	- нитрификация
	- денитрификация
	- управление приростом ила

3. Постаэрация	-отдувка газов
	- насыщение кислородом достаточным для предотвращения восстановительных процессов в отстойнике
	- улучшение седиментации ила
	- создание частичных условий для создания трофики
4. Отстойник	-отделение ила
5. Минерализатор ила	- минерализация ила и осадка
(количество камер 2-4)	-ассимиляция прироста ила

Зона регенерации и ассимиляции ила оборудуется мембранными аэраторами.

6.6. ТРОФИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ АКТИВНОГО ИЛА.

Активный ил — сложная экосистема, состоящая из разнообразных организмов микрофлоры и микрофауны. Основную часть активного ила по биомассе и значимости в процессе очистки составляют агрегатированные во флоккулы бактерии. Обычно в активном иле встречаются представители дрожжей, грибов, водорослей, простейшие {роды FLAGELLATE, SARCODINA, INFUSORIA и др.). В аэротенках продленной аэрации, где происходит усиленная очистка сточной воды, появляются коловратки ROTIFERA, черви OLIGOGHAEТА/NEMATODES и другие многоклеточные организмы METAZOA.

Для понимания процесса очистки сточных вод необходимо хорошо знать трофические взаимоотношения гидробионтов, которые определяют количество и качество активного ила.

Обычно организмы активного ила — гетеротрофы. Они используют органический углерод для формирования клеточных тканей из взвешенной и растворенной органики механически очищенной сточной воды. Помимо облигатных гетеротрофов в активном иле встречаются миксотрофы, которые без света заменяют автотрофный тип питания на гетеротрофный, и автотрофы («TCHOBANOGLQUS», 1991).

На начальном этапе очистку воды начинают бактерии, некоторые из жгутиконосцев FLAGELLATE и инфузорий INFUSORIA, характеризующиеся сапрозойным типом питания (поступление ферментативно обработанных веществ через клеточную мембрану). Основная часть загрязнений удаляется бактериями, благодаря большой удельной поверхности клеток, высокой ферментативной активности и скорости размножения.

Представители других трофические уровней характеризуются голозойным типом питания (организм в качестве пищи использует твердые вещества - другие организмы и крупные органические частицы). Количество этих организмов ограничено не количеством растворенной органики, а наличием твердой пищи. Эти микроорганизмы разделены на бактериофагов и хищников. Важная группа - бактериофаги - «осаждальщики» (роды PARAMESCIUM, COLPIDIUM, GLAUCOMA, TETRACHYMENA, STENTOR и прикрепленные ресничные инфузории), которые выделяют особый биологический клей для формирования больших комков бактерий. Часть этих частиц поедается «осаждальщиками», а другие отлично осаждаются во вторичных отстойниках и способствуют осветлению воды.

На последней стадии очистки (третий трофический уровень) встречаются многоклеточные хищники и детритофаги - представители родов ROTIFERA, NEMATODES, OLIGOGHAEТА и др. Эти организмы могут потреблять практически всех представителей нижних трофических уровней.

6.7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕКОНСТРУКЦИИ НА ПРИМЕРЕ ДВУХ АЭРОТЕНКОВ.

Исходя из параметров стока, гидравлической нагрузки и учета повышенных ПДС, необходимо переоборудовать 2 аэротенка.
I ЭТАП

- Задачи:
- 1. Экономия электроэнергии;
 - 2. Доведение параметров очистки:
NH₄ – N до 80%, P₂O₃ - до 70%;
 - 3. Снижение прироста ила в 6-8 раз.

Наименование оборудования	Страна постав щик	Ед. нзм.	Стоимость, USD	
			на 1 аэротенк	На 2 аэротенка
Механические мешалки	Швеция	Компл.		
Эжекторные аэраторы - мешалки	Япония	Компл.		
Аэрационная система с мембранными диффузорами	Финляндия, Литва	Компл.		
Комплект автоматики	Германия	Компл.		
ИТОГО				

II ЭТАП

Задачи:

- 1. Доведение снижения прироста ила до 70-80 раз: 500-1000 кг/сут ила по с.в.;
- 2. Доведение параметров очистки:
NH₄ –N до90%, P₂O₃ - до90%

Стоимость и комплектация оборудования уточняется при разработке проекта реконструкции аэротенков.
Предлагаемая технология отвечает предъявленным требованиям:

	Требования	Решение по технологии № 11
	Снижение капитальных затрат	1.1. Необходимо переоборудование двух аэротенков, 1.2. Отпадает необходимость технически переоборудовать первичные отстойники и системы утилизации осадка и лишнего ила; 1.3. Значительно сокращаются затраты на техническое перевооружение
	Снижение эксплуатационных затрат	2.1. Экономия электроэнергии за счет: отключения оборудования первичных отстойников, отключения оборудования утилизации осадка и лишнего ила; 2.2. Многократная экономия электроэнергии за счет: применения анаэробных процессов на

		первой стадии очистки, управления процессом нитри -денитрификации с обратной связью; 2.3. Благодаря высокой устойчивости и саморегуляции системы очистки, значительно снижаются затраты на обслуживание.																								
	Повышение эффективности очистки	3,1 Доведение очищенного стока до ПДС со значительным резервом (пример): <table><tr><td>Показатель</td><td>ПДС</td><td>Расчетные</td><td>Резерв</td></tr><tr><td>БПК_п</td><td>12</td><td>3-6</td><td>6-9</td></tr><tr><td>ХПК</td><td>38</td><td>30</td><td>8</td></tr><tr><td>NH₄→N</td><td>3,6</td><td>0,6</td><td>3</td></tr><tr><td>N0₃→ N</td><td>2,1</td><td>0,6</td><td>1,5</td></tr><tr><td>P₂O₅→ P</td><td>1,9</td><td>0,3</td><td>1,6</td></tr></table>	Показатель	ПДС	Расчетные	Резерв	БПК _п	12	3-6	6-9	ХПК	38	30	8	NH ₄ →N	3,6	0,6	3	N0 ₃ → N	2,1	0,6	1,5	P ₂ O ₅ → P	1,9	0,3	1,6
Показатель	ПДС	Расчетные	Резерв																							
БПК _п	12	3-6	6-9																							
ХПК	38	30	8																							
NH ₄ →N	3,6	0,6	3																							
N0 ₃ → N	2,1	0,6	1,5																							
P ₂ O ₅ → P	1,9	0,3	1,6																							
	Повышение устойчивости очистки	4.1. Снижение илового индекса, 4.2. Предотвращение развития нитчатых бактерий. 4.3. Снижение нагрузки на ил, 4.4. Использование иммобилизованного биоценоза, 4.5. Автоматическое управление процессом с обратной связью.																								

СТОИМОСТЬ И ЭТАПЫ
ПЕРЕОБОРУДОВАНИЯ АЭРОТЕНКОВ (пример)

№ п/п	Наименование	Ед.	Параметры		примечания
		изм.	существующие	прогнозируемые	
1	Объем аэротенка	м ³	31440	15200	
2.	Количество аэротенков	шт	4	2	
3.	Расход				
	-суточный	м/сут	75000	75000	
	- часовой	м/час	3478	3478	
4.	Нагрузка по БПК				
	- суточная	мг/л	18750	18750	
	- часовая		870	870	

5.	Иловый индекс		101	60-70	
6.	Доза ила	г/л			
	взвешенного в аэротенке		3.4	7	
	взвешенного в регенераторе		7	17-21	
	иммобилизованного в гидролизере		—	7	
7.	Количество активного ила				
	-взвешенного	кг	115000	160000	
	иммобилизованного		—	18500	
8.	нагрузка на ил	г/г			
	- взвешенный		~ 0,2 - 0,23	~ 0,1-0,12	по СБВ
	- иммобилизованный		—	~6	
9,	Прирост активного ила	кг/сут	42000	отсутствует	
10.	Установленная мощность	кВт		440	
11.	Потребляемая мощность	кВт. час			
	-общая			350	
	- на 1 кг снятого БПК			0,44	
	- на 1м очищенного стока		0,4-0,5	0,1	—

Отсутствие прироста

- снижению нагрузки на ил, благодаря высоконагруженному процессу снятия БПК (до 40%) иммобилизованным биоценозом микроорганизмов в гидролизере, а так же повышению дозы взвешенного ила, благодаря снижению илового индекса;
- поддержанию биоценоза взвешенного ила в стационарной фазе роста;
- использованию развитых трофических взаимоотношений микроорганизмов, иммобилизованных на носителе, на стадии постаэрации и регенерации ила.

6.8. Пример расчета реконструируемого аэротенка в биологический реактор.

I СТУПЕНЬ - АЭРОТЕНК - ВЫТЕСНИТЕЛЬ С ПЛАСТМАССОВОЙ ЗАГРУЗКОЙ

1.1. Удельная скорость окисления:

$$\rho = \rho_{\max} \cdot \frac{L_{\text{ex}} \cdot C_0}{L_{\text{ex}} \cdot C_0 + k_1 \cdot C_0 + k_0 \cdot L_{\text{ex}}} \cdot \frac{1}{1 + \phi \cdot a_j} = 85 \cdot \frac{20 \cdot 2}{20 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 20} \cdot \frac{1}{1 + 0,7 \cdot 9} = 17,5 \text{ мг/час}$$

1.2. Необходимый период аэрации:

$$t = \frac{L_{\text{en}} - L_{\text{ex}}}{a_i(1 - s) \cdot \rho} \cdot k_t = \frac{125 - 20}{8(1 - 0,3) \cdot 13,6} \cdot 1,5 = 1,43 \text{ часа}$$

$$k_t = \frac{15^0}{10^0} = 1,5$$

Объем первых ступеней двух аэротенков:

$$V_1 = (V_a : 8) \cdot 2 = 3961 \text{ м}^3$$

1.3. Время гидравлической задержки:

$$t_{\text{зад}} = V_1 : G_4 = 3960 : 2800 = 1.41 \text{ часа}$$

II Ступень -НИТРИФИКАТОР С ПЛАСТМАССОВОЙ ЗАГРУЗКОЙ

2.1. Удельная скорость окисления:

$$\rho \cdot k_c + 0.0417 k_p / Q = 3.7 + 0.0417 \cdot 864 / 17.5 = 5.76 \text{ мг/час}$$

2.2. Необходимый период аэрации:

$$t = \frac{L^1_{en} - L^1_{ex}}{a_i(1 - s) \cdot \rho} \cdot k_t = \frac{20 - 6}{5(1 - 0,3) \cdot 5,76} \cdot 2 = 1,38 \text{ часа}$$
$$k_t = \frac{20^0}{10^0} = 2$$

2.3. Объем вторых ступеней аэротенка: $V_2 = 3960 \text{ м}^3$

2.4. Время гидравлической задержки:

$$t^1_{\text{зад}} = \frac{V_1}{G_4} = \frac{3960}{2800} = 1,41 > 1,38$$

3. ОБЪЕМ АЭРОТЕНКА.

Два двухкоридорных аэротенка $V = 7920 \text{ м}^3$

4. НАГРУЗКА НА ИЛ ПО С.Б.В.

I ступень

$$Q_1 = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_1(1 - s) \cdot t} = \frac{24(25 - 20)}{9000(1 - 0,3) \cdot 1,45} = 0,275 \text{ мг/мг}$$

II ступень

$$Q_2 = \frac{24(L_{en} - L_{ex})}{a_2(1 - s) \cdot t} = \frac{24(125 - 20)}{5000(1 - 0,3) \cdot 1,45} = 0,066 \text{ мг/мг}$$

5. ПРИРОСТ ИЛА

Условия, создаваемые данным технологическим решением обеспечивают формирование детринной пищевой цепи в биоценозе, в которой снижение массы органических веществ происходит от 10 до 30 раз.

Ожидаемый вынос ила во вторичный отстойник – 20 мг/л (опытные данные ООО «Комплект Экология»)

Количество лишнего ила: $G = (20-6) \cdot 60000 = 770 \text{ кг / сут}$

При 99% влажности ила - 77 м³/сут

При 96% влажности ила - 19,25 м³/сут

6. МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ОСАДКА

Количество осадка первичных отстойников:

$$G_1 = (G_{en} - G_{ex}) \cdot Q_c = (110 - 50) \cdot 55000 = 3300000 \text{ мг/сут} = 3,3$$

Объем осадков при влажности 99%: $V_0 = 330 \text{ м}^3/\text{сут}$

Объем минерализатора: $V = 970 \text{ м}^3$

Нагрузка на минерализатор: $G_{min} = G_1 + G = 3300 + 700 = 4070 \text{ кг / сут}$

Влажность сброженного с помощью биопрепарата ВАСТИ ВЮ - 9500 осадка 90 - 92% количество осадка в минерализаторе:

$$G_2 = V \cdot 0,08 = 77,6 \text{ т}$$

Время сбраживания:

$$T = \frac{G_2}{G} = \frac{77,6}{4,07} = 19 \text{ дней}$$

Дозировка биопрепарата ВАСТИ ВЮ - 9500 принята 9 кг в месяц

Глубина минерализации с помощью биопрепарата - не менее 70% по СВ

Выход сброженного вещества :

$$G_2 = G(1-0,7) = 40700 \cdot 0,3 = 1221 \text{ кг/сут}$$

Количество сброженного осадка при влажности 92%, подаваемого на иловые площадки

$$G_{\text{с.о.}} = \frac{G_3}{(100 - 92):100 \cdot 1000} = \frac{1221}{80} = 15,3 \text{ м}^3/\text{сут}$$

7. РАСХОД КИСЛОРОДА

$$G_{O_2} = q (L_{\text{en}} - L_{\text{ex}}) Q_4 = 1,1 \cdot (125 - 6) \cdot 2800 = 367 \text{ кг / час}$$

Производительность данного аэратора 150 TRN2 по кислороду ~20 кг/час (данные изготовителя).

Общее количество кислорода, производимого 24 аэраторами:

$$G_{O_{2\text{общ}}} = G_{O_2} \cdot 240,85 = 408 \text{ кг/час}$$

$$408 > 367 \text{ кг } O_2/\text{час}$$

7. Технология и схемы очистки сточных вод на биореакторах.

Нетрадиционное использование прикрепленных анаэробных микроорганизмов на первом этапе очистки с последующей доочисткой в аэробных условиях - новый и наиболее правильный путь решения проблемы очистки сточных вод лакокрасочного производства от синтетических органических веществ, сульфатов и ионов тяжелых металлов (22)

При применении анаэробно - аэробной очистки сточных вод производства лаков и красок степень очистки по ХПК составляет 90 - 95 %, концентрация ионов тяжелых металлов снижается на 90%, сульфатов - на 50%.

Разработанная биотехнология очистки сточных вод от НПАВ работает на Ивано - Франковском заводе тонкого органического синтеза взамен дорогостоящего и экологически небезупречного обезвреживания этих стоков сжиганием. Эта технология позволяет обезвреживать воды с содержанием НПАВ до 5 г/дм³, а эффект очистки составляет 99%, что дает право направлять их на биологические очистные сооружения

Изучена эффективность самоочищения воды р.Днестр от фенола природным биоценозом, иммобилизованным на волокнистой насадке типа «ВИЯ» в виде обрастания (23)

Показано, что природный биоценоз способен утилизировать до 250 мг/дм³ находящегося в воде фенола. Отмечена прямая зависимость степени очистки от длительности пребывания фенола в биореакторе.

Установлено, что сточные воды производства синтетических жирных кислот (СЖК) могут быть очищены специально селекционированным анаэробным микробиоценозом при начальной концентрации органических веществ по ХПК 10-12 г/дм³ на 60 - 70 %, от тяжелых металлов при их начальной концентрации до 200 мг/дм³ на 100 %, от сульфатов на 40 - 60 % при их начальной концентрации 14 г/дм при условии поддержания в биореакторе рН в пределах (рис.29) 7,0 - 8,7; концентрации S²⁺ не выше 70 мг/дм³, температуры 40 - 44°С, времени пребывания в реакторе - 45 - 55 часов.

8 ПРИМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ.

В области очистки сточных вод и утилизации отходов имеется множество сложных проблем - разложение жиров, углеводов, фенолов, поверхностно - активных веществ, обработка лишнего ила на иловых площадках, эффективная работа метантенков, отстойников - перегнивателей и других сооружений для сбраживания ила. В настоящее время в Украине практически отсутствует практика использования биологических препаратов для решения экологических проблем. В то же время ведущие производители стран Западной Европы и Северной Америки предлагают широчайший спектр микробиологических продуктов для решения проблем, связанных с очисткой сточной воды и утилизации органических отходов. Все биопрепараты включают селективно адаптированные для разрушения разнообразнейших субстратов (жиры, масла, белки, углеводы, крахмал и другие органические вещества). Все бактериальные культуры встречаются в природе и не патогенны.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ:

- 1 Разложение жиров в насосных станциях и канализационных сетях.
- 2 Эффективная работа аэротенков.
- 3 Эффективная работа сооружений сбраживания ила (септики, отстойники - перегниватели, метантенки, двухъярусные отстойники).
- 4 Утилизация ила на иловых площадках, прочистка дренажа.

ЭФФЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ:

Применение биологических препаратов позволит многократно снизить:

- трудозатраты в 3 - 5 раз ;
- энергопотребление от 50 до 100%.
- повысить функциональные качества сооружений в 5 - 10 раз.

ПРИНЦИП РАБОТЫ:

Благодаря селективной адаптации, бактерии размножаются с повышенной скоростью, Размножаясь, бактерии разрушают органику, жиры, и другие вещества. Значительно уменьшается слой иловых масс, вода отделяется от ила. Когда органика переработана, бактерии перестают размножаться, расти и отмирают. Косвенный эффект при этом заключается в достаточной очистке и воды, в которой значительно снижаются БПК, ХПК, содержание взвешенных веществ, нитратов и фосфатов, а также исчезает запах и увеличивается количество растворенного кислорода.

ТЕХНОЛОГИЯ

В каждом отдельном случае необходимо разработать оптимальную технологию применения препаратов — при этом следует учитывать состояние объекта на данный момент, иловых масс, его объемы и другие параметры для определения оптимальной дозы биопрепарата. При использовании препарата никогда не нарушаются принятые на сооружении технологии, наоборот, они улучшаются и дополняются работой бактерий.

ПРЕИМУЩЕСТВА

Биологическая очистка от органических загрязнителей является прекрасной альтернативой ныне известных методов очистки, часто малоэффективных. При этом биопрепараты являются самым дешевым средством, не требуют энергозатрат, работают интенсивно и абсолютно надежно, не наносят вреда и не допускают загрязнений окружающей среды, не требуют больших капиталовложений, являются единственным доступным методом очистки озер, прудов, илохранилищ, устраняют необходимость применения сильных химикатов.

ВОЗМОЖНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ

Промышленные сточные воды:

- общая очистка промышленных стоков;
- разложение:
 1. фенольных компонентов;
 2. цианиды и тиоцианиды;
 3. жиров, жирных кислот и масел;
 4. поверхностно - активных веществ и сходных продуктов;
 5. целлюлозы и лигнина;
 6. углеводов;
- сточные воды с очень высоким содержанием органики;
- улучшение нитрификации и денитрификации;
- очистка при холодной погоде.

Хозбытовые сточные воды:

- общая очистка муниципальных стоков от жира, его производных и масел;
- контроль за выделением сероводорода и устранение запаха НБ и коррозии металлов;
- поддержание оптимального баланса БПК/ХПК и разложение жиров и масел;
- поддержание активности биомассы при низкой температуре и обеспечение защиты активного ила от токсичных компонентов сточных вод;
- устранение развития нитчатых организмов;
- оптимизация анаэробного брожения.

Водоемы:

- восстановление и очистка от ила больших водоемов при общем загрязнении;
- восстановление водоемов, загрязненных углеводородами;
- общая очистка, снижение содержания органики, ее минерализация;
- очистка рек, каналов и прудов от углеводов.

Домашнее хозяйство:

- устранение неприятных запахов в их источнике;
- разрушение жиров и масел, которые аккумулируются в дренаже и предотвращение засорения канализационных труб;
- очищение домашних септических систем, а именно, твердых органических отходов, масел, жиров, а также химикалий и моющих веществ бытового применения, которые маркированы как «биоразложимые»;

Сельское и водное хозяйства:

- восстановление засоленных почв.
- биологические инсектициды;
- интенсивные и средние интенсивные креветочные хозяйства.

Предприятия общественного питания:

- очистка жироловок с уменьшением содержания жиров, масел, белков, моющих средств и других органических отходов;
- устранение неприятных запахов;
- очистка дренажа и канализационных труб;
- чистка промышленных септических систем.

Химические и нефтяные загрязнения:

- разложение тяжелых, инертных углеводов (жиров, органики и др.), а также рафинированных углеводов (газолина, дизельного топлива, бензола, толуола, этилбензола, ксилола) и ароматических компонентов;
- уменьшение углеводородных загрязнений в воде;
- утилизация углеводов, галогенированных алифатических углеводов,
- хлоралифатических компонентов и устойчивых хлорированных растворов.

Украинской холдинговой компанией «Комплект - Экология» разработан биопрепарат «B1 - СЕМ 2000®ОБ» для городских очистных сооружений и коллекторных систем.

Описание:

B1 - СЕМ 2000®ОБ - синергетическая смесь селективно адаптированных бактерий, поверхностно - активных веществ, буферов (регулировка pH) и ферментов

Спецификация; I - подача сточной воды на очистку, II - очищенная вода; III - доводка pH, IV - добавка биогенных элементов, V - подача газа, VI - отдувка сероводорода, VII - титрование кислотой, VIII - аэрация, IX - очищенная вода в городскую канализацию.

1. приемный резервуар (накопитель - усреднитель),
2. нейтрализатор,
3. питомник,
4. анаэробный биореактор,
5. загрузка,
6. резервуар для удаления сероводорода,
7. аэробный биореактор,
8. питомник,
9. общезаводские очистные сооружения,
10. газгольдер,
11. узел утилизации сероводорода.

8 ПРИМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ.

В области очистки сточных вод и утилизации отходов имеется множество сложных проблем - разложение жиров, углеводов, фенолов, поверхностно -активных веществ, обработка лишнего ила на иловых площадках, эффективная работа метантенков, отстойников -перегнивателей и других сооружений для сбраживания ила. В настоящее время в Украине практически отсутствует практика использования биологических препаратов для решения экологических проблем. В то же время ведущие производители стран Западной Европы и Северной Америки предлагают широчайший спектр микробиологических продуктов для решения проблем, связанных с очисткой сточной воды и утилизации органических отходов. Все биопрепараты включают селективно адаптированные для разрушения разнообразнейших субстратов (жиры, масла, белки, углеводороды, крахмал и другие органические вещества). Все бактериальные культуры встречаются в природе и не патогенны.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ:

- 1 Разложение жиров в насосных станциях и канализационных сетях.
- 2 Эффективная работа аэротенков.
- 3 Эффективная работа сооружений сбраживания ила (септики, отстойники - перегниватели, метантенки, двухъярусные отстойники).
- 4 Утилизация ила на иловых площадках, прочистка дренажа.

ЭФФЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ БИОПРЕПАРАТОВ:

Применение биологических препаратов позволит многократно снизить:

- трудозатраты в 3 - 5 раз ;
- энергопотребление от 50 до 100%.
- повысить функциональные качества сооружений в 5 - 10 раз.

ПРИНЦИП РАБОТЫ:

Благодаря селективной адаптации, бактерии размножаются с повышенной скоростью, Размножаясь, бактерии разрушают органику, жиры, и другие вещества. Значительно уменьшается слой иловых масс, вода отделяется от ила. Когда органика переработана, бактерии перестают размножаться, расти и отмирают. Косвенный эффект при этом заключается в достаточной очистке и воды, в которой значительно снижаются БПК, ХПК, содержание взвешенных веществ, нитратов и фосфатов, а также исчезает запах и увеличивается количество растворенного кислорода.

ТЕХНОЛОГИЯ

В каждом отдельном случае необходимо разработать оптимальную технологию применения препаратов — при этом следует учитывать состояние объекта на данный момент, иловых масс, его объемы и другие параметры для определения оптимальной дозы биопрепарата. При использовании препарата никогда не нарушаются принятые на сооружении технологии, наоборот, они улучшаются и дополняются работой бактерий.

ПРЕИМУЩЕСТВА

Биологическая очистка от органических загрязнителей является прекрасной альтернативой ныне известных методов очистки, часто малоэффективных. При этом биопрепараты являются самым дешевым средством, не требуют энергозатрат, работают интенсивно и абсолютно надежно, не наносят вреда и не допускают загрязнений окружающей среды, не требуют больших капиталовложений, являются единственным доступным методом очистки озер, прудов, илохранилищ, устраняют необходимость применения сильных химикатов.

ВОЗМОЖНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ

Промышленные сточные воды:

- общая очистка промышленных стоков;
- разложение:
 1. фенольных компонентов;
 2. цианиды и тиоцианиды;
 3. жиров, жирных кислот и масел;
 4. поверхностно - активных веществ и сходных продуктов;
 5. целлюлозы и лигнина;
 6. углеводов;
- сточные воды с очень высоким содержанием органики;
- улучшение нитрификации и денитрификации;
- очистка при холодной погоде.

Хозяйственные сточные воды:

- общая очистка муниципальных стоков от жира, его производных и масел;
- контроль за выделением сероводорода и устранение запаха НБ и коррозии металлов;
- поддержание оптимального баланса БПК/ХПК и разложение жиров и масел;
- поддержание активности биомассы при низкой температуре и обеспечение защиты активного ила от токсичных компонентов сточных вод;
- устранение развития нитчатых организмов;
- оптимизация анаэробного брожения.

Водоемы:

- восстановление и очистка от ила больших водоемов при общем загрязнении;
- восстановление водоемов, загрязненных углеводородами;
- общая очистка, снижение содержания органики, ее минерализация;
- очистка рек, каналов и прудов от углеводов.

Домашнее хозяйство:

- устранение неприятных запахов в их источнике;

- разрушение жиров и масел, которые аккумулируются в дренаже и предотвращение засорения канализационных труб; - - очищение домашних септических систем, а именно, твердых органических отходов, масел, жиров, а также химикалий и моющих веществ бытового применения, которые маркированы как «биоразложимые»;

Сельское и водное хозяйства:

- восстановление засоленных почв.
- биологические инсектициды;
- интенсивные и средние интенсивные креветочные хозяйства.

Предприятия общественного питания:

- очистка жироловок с уменьшением содержания жиров, масел, белков, моющих средств и других органических отходов;
- устранение неприятных запахов;
- очистка дренажа и канализационных труб;
- чистка промышленных септических систем.

Химические и нефтяные загрязнения:

- разложение тяжелых, инертных углеводородов (жиров, органики и др.), а также рафинированных углеводородов (газолина, дизельного топлива, бензола, толуола, этилбензола, ксилола) и ароматических компонентов;
- уменьшение углеводородных загрязнений в воде;
- утилизация углеводородов, галогенированных алифатических углеводородов,
- хлоралифатических компонентов и устойчивых хлорированных растворов.

Украинской холдинговой компанией «Комплект - Экология» разработан биопрепарат «B1 - CHEM 2000®ОБ» для городских очистных сооружений и коллекторных систем.

Описание:

B1 - CHEM 2000® - синергетическая смесь селективно адаптированных бактерий, поверхностно - активных веществ, буферов (регулировка pH) и ферментов для очистки городских сточных вод, характеризующихся высоким содержанием жиров и масел. BI - CHEM 2000®GL не ядовит и не представляет опасности как для окружающей среды, так и для человека.

ПРЕИМУЩЕСТВА:

- Позволяет избавиться от дорогостоящих операций по чистке оборудования от жира.
- Уменьшает затраты на обслуживание коллекторных систем более, чем на 2/3.
- Уничтожает поступающий в очистные сооружения жир и масла. При применении в виде BIO - SOCK™ мешок с биопрепаратом просто подвешивается на шнуре.

ОСОБЕННОСТИ:

- Семь бактериальных культур (2 патентованные), отобранных для быстрого разрушения жиров, жирных кислот и масел.
 - Одна бактериальная культура обеспечивает работу смеси при низкой температуре.
 - Поверхностно активные вещества и фермент липаза разжижают жир и стимулируют бактериальный рост.
 - Возможны жидкий и сухой препарат. Для коллекторных систем разработано применение в виде BIO - SOCK™.

ПОДГОТОВКА ПРОДУКТА К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ:

Сухой препарат BI - CHEM 2000®GL нуждается в растворении 0,5 кг смеси в 8 л сточных вод за 20- 30 минут до использования. Для достижения максимальной активности температура воды должна быть 40 – 50° С. BIO - SOCK™ и жидкий препарат вносятся непосредственно в коллектор.

ХАРАКТЕРИСТИКИ:

Жидкая культура:

Число бактерий:	1 -10 x 10 ⁷ клеток/мл
Стабильность:	50% после полугода хранения при - 5 - 55°С
Внешний вид:	слегка мутная жидкость
Запах:	легкий запах винограда
Плотность:	1
pH	Нейтральная
Расфасовка:	~200 л

Сухая культура:

Число бактерий;	≥3 биллиона / г
Внешний вид:	Рыжевато коричневый порошок
Запах:	Запах дрожжей
Влажность:	15%
Расфасовка:	10 и 25 кг

Оптимальные условия применения:

Бактерии и ферменты работают при pH 6.0 - 8.5 с оптимумом pH 7.0. Наиболее активны при температуре 43° С, активность исчезает при 5°С.

Хранение и меры предосторожности:

Хранение - холодное, сухое место

Меры предосторожности - не вдыхайте, мойте руки с мылом после применения.

BI - CHEM 1008 SF - биологически активный препарат для борьбы с углеводородами, применяется на предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности и автозаправочных станциях.

BI - CHEM® 1008 SF - специальная смесь селективно адаптированных бактерий для очистки широкого спектра промышленных и нефтесодержащих сточных вод.

ПРЕИМУЩЕСТВА:

- Обладает высочайшими уровнями роста и переработки органики (стабильная работа очистных сооружений).
- Обеспечивает био - разложение нефтеуглеводородов, растворителей, сточных вод кожевенных заводов и фармацевтической промышленности, минеральных масел, СПАВ и др.

- Синергистически ускоряет работу других продуктов серии VI - СНЕМ.
- Снижает выделение токсических веществ в тарификаторе, что обеспечивает высокий уровень биологического разложения ионов аммония.
- Обеспечивает контроль за запахами.
- Обеспечивает максимальные уровни удаления БПК И ХПК.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТА:

Жидкий продукт выливается прямо в систему.

Сухой продукт требует разведения водой на 30 - 90 минут перед использованием - ~ 8 л воды на ~ 0,5 кг бактериальной культуры. Для достижения лучших результатов температура воды должна быть 40 - 50°С.

ХАРАКТЕРИСТИКИ:

Жидкая культура:

Количество бактерий:	37 биллионов /3.78 л
Стабильность:	50 % после года хранения (-5 - 45°С)
Внешний вид:	Слегка мутная жидкость
Запах:	Легкий запах винограда
Плотность:	1
РН:	Нейтральная
Расфасовка:	1 200 л

Сухая культура:

Бактерии:	5 биллионов / г
Внешний вид:	Рыжевато-коричневый порошок
Запах:	Запах дрожжей
Влажность:	15 %
Расфасовка:	10 и 25 кг

Оптимальные условия применения:

Бактерии и ферменты работают при рН 6.0 - 8.0 с оптимумом рН 7.0. Наиболее активны при температуре 43°С, активность исчезает при температуре ниже 5°С.

Хранение и меры предосторожности:

Хранение холодное, сухое место. Меры предосторожности - не вдыхайте, мойте руки с мылом после применения

Дереку Лавли, микробиологу из Геологического управления в Рестоне, штат Вирджиния, США, удалось выделить микроорганизмы, способные очищать токсичные стоки вокруг урановых шахт от урана. Превращая соли урана, растворимые в воде, в нерастворимые, они получают энергию для своего развития.

Вода, загрязненная ураном, проходит через «биореактор», заполненный бактериями. Микробы перерабатывают растворенный уран в частицы, выпадающие в осадок и остающиеся на дне. Собрать и удалить их не составляет труда.

К сожалению, эти микроорганизмы не применимы для удаления из воды железа, т.к. оказывают прямо противоположное действие: частицы нерастворимого железа они превращают в растворимые.

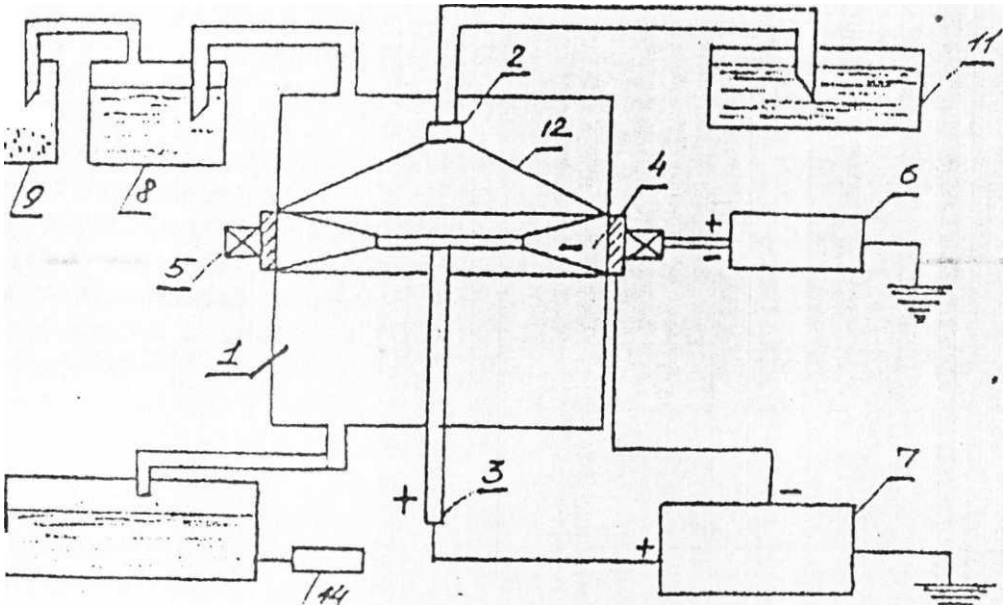
В природе встречаются месторождения минерала уранита. Возможно, это останки больших колоний уранопоглощающих микробов, которые обитали в реках и ручьях, содержащих растворимый уран.

В Китае для очистки сточных вод свиноводческих комплексов в биореакторах используются биопрепараты на основе микроорганизмов, содержащихся в сточных водах (25). Очистка воды на активной биомассе, выращенной на основе добавки микробного препарата ЕМ, изготавливаемого японской фирмой, оказалась практически бесполезной и не дала ожидаемых результатов. Препарат ЕМ - это комплекс интенсифицированных бактерий.

9 **Реакторы физико-химического действия.**

- 9.1. Реакторы электрохимического действия.
- 9 2. Выделение трансурановых элементов при люминесцентном электролизе с использованием реакторов простого типа.
- Данный реактор существует на лабораторном уровне, в промышленной очистке воды еще не применяется, но представляет собой интересное перспективное направление. Рассмотрим технологическую схему работы данного реактора (рис.29).

Рис. 29. Технологическая схема выделения трансурановых элементов с помощью реакторов проточного типа.



1 - реактор; 2 - форсунка; 3 - анод; 4 - катод; 5 - электромагнит, 6 - источник питания эл/магнитов; 7 - источник питания разряда; 8 - поглотитель влаги I ступени; 9 - поглотитель влаги II ступени; 10 - вакуум - насос; 11 - необработанный раствор; 12 - пленка жидкости; 13 -раствор после обработки; 14 - фильтры.

В верхней части реактора форсунка, из которой объемным расходом 30 - 40 л/ч на стенки реактора подается пленка раствора. В области равномерного протекания пленки в реакторе располагается цилиндрический катод и коаксиально-анод, расстояние между ними 3-5 мм. Пленка жидкости протекает по поверхности катода. С внешней части реактора в зоне расположения катода находится соленоид, подключенный к источнику постоянного тока с $U = 40 - 45$ В при $I = 300 - 400$ мА. При $U = 1500$ В между катодом и анодом при поступлении к катоду пленки жидкости, в реакторе возникает объемно - развернутая плазма.

На реакторе проводили опыт: для этого брали две пробы, одну из них проводили через реактор, а потом фильтровали, другую же просто фильтровали. Концентрация урана (IV) в первом случае снижалась на 55%, в то время как во втором - на 25 %. Также при пропуске воды через реактор повышается активность фильтрования: для первой пробы содержание урана (IV) после электролиза составляет 24 мг, а на фильтрах после фильтрации остается 22,8 мг, т.е. степень очистки на фильтрах - 90%; для второй пробы снижение концентрации урана (IV) в растворе - 40%; а на фильтрах - 37%

9.1.2. Плазмохимический реактор для восстановления хрома (VI) до хрома (III).

Удаление тяжелых металлов, обладающих высокой токсичностью даже в малых концентрациях, требует тщательно подобранных методов очистки промышленных стоков. Известными химическими методами не всегда удается осуществить окислительно-восстановительные реакции вследствие возникновения равновесных явлений в растворах, а также устойчивости отдельных соединений к изменению валентности при физико-химических воздействиях неэлектрического происхождения. Особенно это характерно для сильно разбавленных растворов, содержащих загрязняющие вещества в ионной форме, например, сточные воды гальванопроизводств. Поэтому для локальной очистки таких сточных вод является достаточно эффективным снижение остаточных концентраций загрязняющих веществ путем обработки производственных стоков электрическими разрядами пониженного давления (27). Подобные методы не распространяются на системы с большими расходами.

При электрическом разряде пониженного давления имеет место перевод ионов металлов в атомизируемые формы под действием образующихся активных гидроксильных радикалов и частиц в виду ослабления связей между анионами и катионами.

Были проведены исследования (27) состояния различных соединений хрома в растворах, подвергшихся плазмохимическому воздействию. Водный раствор хрома (VI) электрическим разрядом в вакууме, при этом наибольший окислительно-восстановительный эффект наблюдался в растворах с содержанием хрома от $2,3 \cdot 10^{-4}$ до $5,3 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³, обработанных не более 20 минут.

Обработку проводят в плазмохимическом реакторе (рис.31), характерной особенностью которого является то, что катод из нержавеющей стали погружен в обрабатываемую воду на некоторую глубину L_k , а столб плазмы формируется над ее поверхностью в вакууме. Анод, также из нержавеющей стали, расположен на расстоянии L от поверхности жидкой фазы.

При обработке происходит повышение температуры и частичное упаривание жидкости, вследствие повышения парциального давления, изменения рН раствора и степени окисления хрома; образования пироксида водорода.

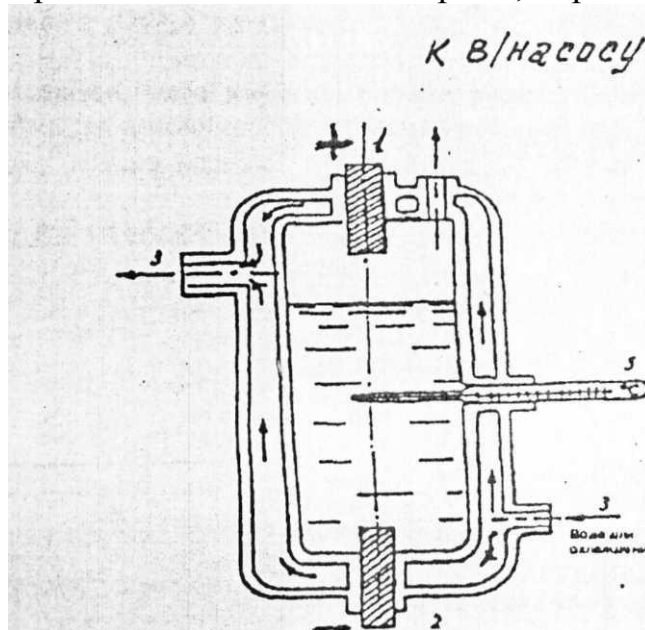


Рис. 30. Схема плазмохимического реактора: 1 - анод; 2 - катод; 3 - водное охлаждение; 4 - подсоединение к вакуум - насосу, 5 – термометр.

В процессе обработки растворов температура жидкости повышается до определенного значения, которое фиксируется при помощи термометра. Предельное значение температуры определяется задаваемой силой тока и не превышает 50°C.

Количество упаренного растворителя за 20 минут обработки достигает 2,5 % от массы исходного обрабатываемого раствора. Воздействие плазмы на раствор в течение 15-20 минут вызвало изменение рН раствора более чем на 4 единицы. Это объясняется тем, что плазма генерирует частицы, которые, взаимодействуя с жидкой фазой, нейтрализуют гидроксид - ионы, проявляя при этом свойства сильной кислоты (рН = 2,8).

Полнота перехода Cr^{+6} до Cr^{+3} наблюдается за 15 - 20 минут.

Окислительно-восстановительный эффект проявился в изменении степени окисления хрома. Водный раствор хрома (Cr^{+6}) K_2CrO_4 с концентрацией $2,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л обрабатывают плазмой при $P = 4 \cdot 10^4$ Па и $I = 25$ мА и абсорбцию раствора записывают как функцию времени экспонирования плазмы. При этом наблюдается обесцвечивание раствора. Поскольку абсорбция прямо пропорциональна концентрации, то по градуировочным графикам находим концентрации восстановленных форм (рис. 32). Из рис.31 видно, что в течение 2 минут происходит 50% - ное восстановление Cr^{+6} до Cr^{+3} с последующим полным превращением за время, превышающее 10 минут экспозиции.

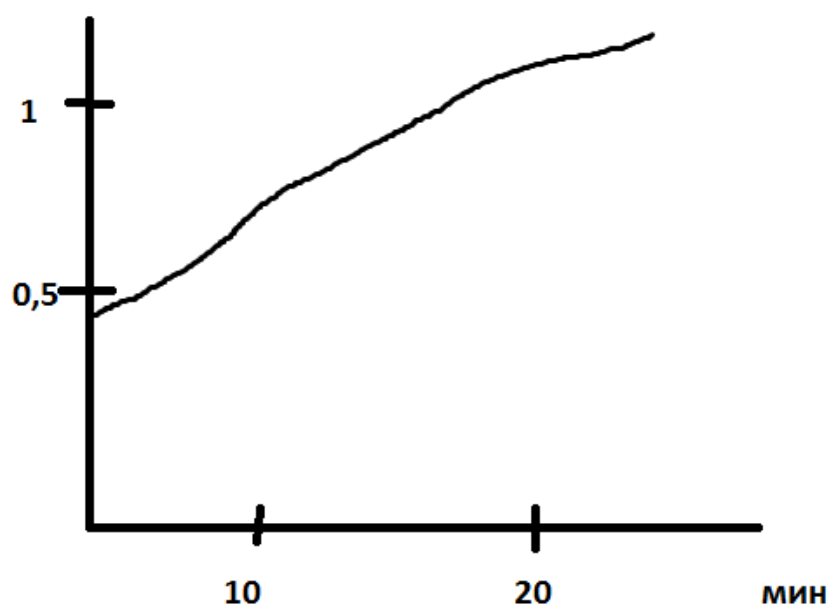


Рис.31. Восстановление Cr^{+6} до Cr^{+3} в растворе K_2CrO_4 с концентрацией хрома $2,5 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³ под действием плазмы.

Данная очистка производственных сточных вод осуществлялась в лабораторных условиях, однако полученный эффект может быть использован в переработке жидких отходов, т.к. происходит переход канцерогенных соединений Cr^{+6} в соединения Cr^{+3} , которые менее токсичны.

9.2. Реакторы химического действия (реакторы нейтрализации).

Реактор - нейтрализатор (рис. 33) используется при расходе сточных вод до 5 - 10 м³/сут.

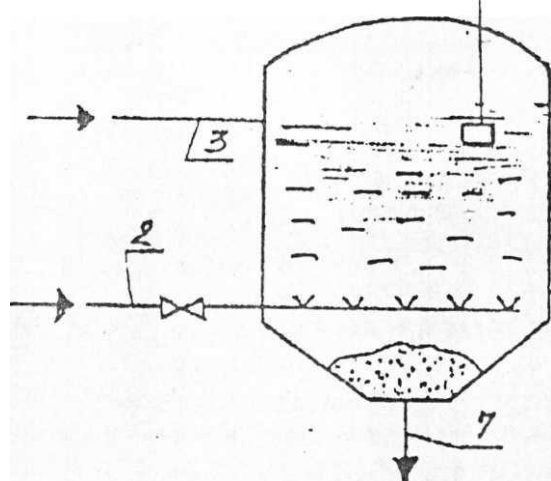


Рис. 32. Реактор - нейтрализатор периодического действия: 1 - реактор; 2 - подача сжатого воздуха; 3 - подача исходных производственных стоков; 4 - подача реагентов; 5 - рН - метр; 6 - отвод очищенной воды; 7 - выпуск осадка.

Реактор изготовлен из высокопрочной нержавеющей стали. Для перемешивания сточных вод используется барботаж сжатым воздухом, который подается по пластмассовым трубам. Такой реактор - нейтрализатор применяется также для удаления из производственных сточных вод Cr^{+6} . Барботаж осуществляется в течение 10-30 минут, после вода в реакторе отстаивается 2 часа. Осадок периодически выгружается.

Если в производственных сточных водах содержится Cr^{+6} и другие, тогда для восстановления Cr^{+6} до Cr^{+3} в ПСВ добавляется раствор гидросульфата натрия, т.к. восстановление происходит в кислой среде, то в реактор добавляют кислоту и барботаж производят тогда в течение 40 минут.

При подщелачивании ПСВ барботаж производят 10 минут до получения рН - 7 - 7,5. Реакцию среды измеряют при помощи рН — метра.

При нейтрализации HNO_3 и HCl образуются соли кальция, хорошо растворимые в воде и при опорожнении реактора уходят вместе с ПСВ; а при нейтрализации H_2SO_4 и H_2SO_3 соли кальция выпадают в осадок. Для ускорения осаждения в реактор добавляют флокулянты.

9.3. Реактор физикико - химического действия (реактор - смеситель).

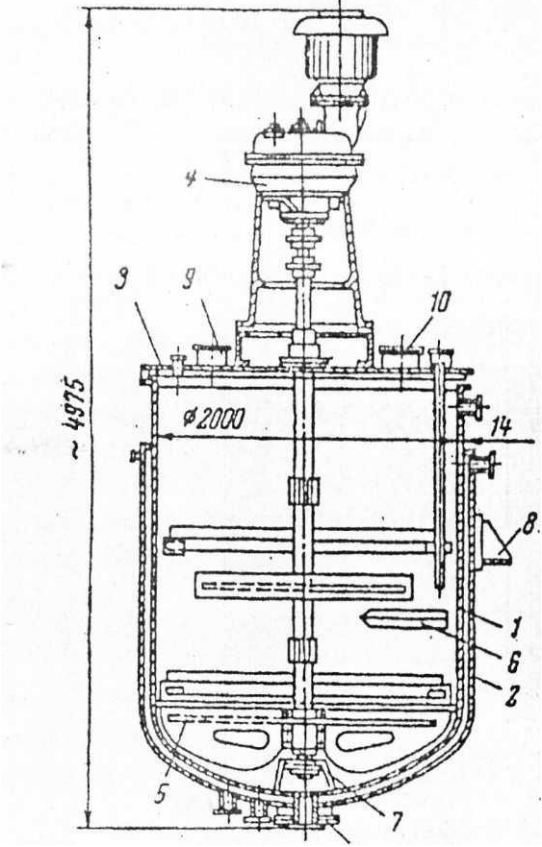


Рис.33: Реактор-смеситель:
1 - корпус; 2 - рубашка; 3 - плоская съемная крышка; 4 - привод мешалки; 5 - мешалка; 6 -неподвижные лопасти;
7 - подшипник скольжения; 8 - лапа для монтажа реактора; 9 - штуцер; 11 - отвод готового продукта; 12 - впуск воды для
смешивания веществ.

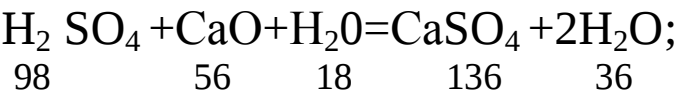
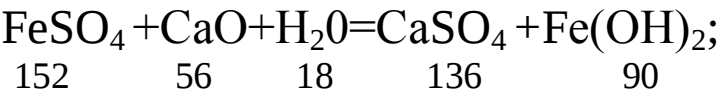
Реакторы - смесители (рис.34) применяются для окончательного приготовления композиции по заданной рецептуре из жидких и сухих компонентов. Он представляет собой вертикальный цилиндрический сварной аппарат с эллиптическим днищем. Для обогрева композиции горячей водой на корпусе имеется рубашка. На плоской съемной крышке крепится привод мешалки. Лопасти мешалки фигурные по форме днища. На ее валу в разных плоскостях укреплены 3 горизонтальные лопатки, между которыми расположены, приваренные к корпусу, дополнительные неподвижные лопасти для более эффективного перемешивания. На дне аппарата устанавливается подшипник скольжения для опоры нижнего конца вала. Аппарат монтируется на 4 лапах и защищен термоизоляцией. Его загружают сыпучими компонентами через штуцера (9,10),

Емкость такого реактора: полная – 8 м³ ; рабочая - 6,4 м³ .
Частота вращения лопастей - 24 об./мин., мощность электродвигателя - 4,5-10 кВт; материал реактора - двухслойная сталь.

9.4. Примеры расчетов реакторов физико-химического действия.

В качестве примера приведем расчет реактора для нейтрализации кислых вод.
Пример 1. Подсчитать количество сухого вещества осадка, образующегося при нейтрализации сточных вод с расходом Q = 720 м³/сут, содержание H₂SO₄ в стоках A = 0,5 кг/м³ содержание сульфата железа C₁ = 0,6 кг/м³ влажность осадка P = 88%.

I Уравнение реакции нейтрализации СВ:



2. Количество сухого вещества осадка, образующегося при нейтрализации 1 м³ СВ определяется по формуле:

100 – В
M = -----(x₁ + x₂) +x₃ + (y₁ +y₂ – 2), где
В

В - содержание активной СаО в используемой извести - 70%;
x₁ и x₂- количество активной СаО, необходимой соответственно для осаждения металлов и нейтрализации свободной H₂SO₄, кг/м³

x₁ = b₁ c₁ = 1 · 0.37 · 0,6 = 0,22кг/м³ ,где
b₁ - в пересчете на сульфат железа, определяем по (1, табл. 4.2. стр. 168)
x₂ = a · A = 0,56 · 0,5=0,28 кг/м³
а определяем по (15, табл. 4.1, стр. 167)
x₃ - количество образующихся гидроксидов железа и составляют:

$$X_3 = \frac{90}{152} \quad C_1 = \frac{90}{152} \cdot 0,6 = 0,36 \text{ кг/м}^3$$

$Y_1 Y_2$ - количество сульфата кальция, образующегося соответственно при осаждении металлов и нейтрализации H_2SO_4 ,

$$Y_1 = \frac{136}{152} \quad C_1 = \frac{136}{152} \cdot 0,6 = 0,54 \text{ кг/м}^3$$

$$Y_2 = \frac{136}{98} \quad A = \frac{136}{98} \cdot 0,5 = 0,7 \text{ кг/м}^3$$

Поскольку значение третьего члена расчетной формулы отрицательное ($y_1 + y_3 - 2$) = $0,54 + 0,7 - 2 = -0,76$, то при подсчете сухого вещества он не учитывается.

$$M = \frac{100 - 70}{70} (0,22 + 0,28) + 0,36 = 0,58 \text{ кг/м}^3$$

3, Объем осадка, образующего при нейтрализации 1 м^3 СВ равен:

$$W_{oc}^1 = 10 \text{ м/100} - P = \frac{10 \cdot 0,58}{100 - 88} = 0,48 \%$$

4. Общий объем осадка в сутки равен :

$$W_{oo} = \frac{W_{oc}^1 \cdot Q}{100} = \frac{0,48 \cdot 720}{100} = 3,5 \text{ м}^3$$

Литература.

1. С.И. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, В.Н. Калицун. Водоотведение и очистка сточных вод - М; Стройиздат, 1996.
2. Фізико -хімічні основи технології очищення стічних вод. За загальною редакцією проф.Запольського А.К. - Київ, "Лібра",2000.
3. Водоснабжение и санитарная техника, № 10,1997, стр. 29 - 31.
4. Водоснабжение и санитарная техника, № 9,1998.
5. Водоснабжение и санитарная техника, № 5,1995, стр. 27 - 29.
6. Водоснабжение и санитарная техника, №6, 1998, стр. 10-13.
7. Рекламный проспект АО «БРОТЕП - ЭКО» (Украина, г.Бровары) – Реконструкция существующих и строительство новых биофильтров с применением высокоэффективных пластмассовых наполнителей (загрузки), 1998.
8. Химия и технология воды, 1997, т. 19, № 1, стр. 97-101.
9. Водоснабжение и санитарная техника № 5,1997, стр. 27 - 29.
- 10.Водоснабжение и санитарная техника, № 10, 1992, стр.27 - 28.
- 11.Водоснабжение и санитарная техника, № 11,1993, стр. 14-15.
- 12.Водоснабжение и санитарная техника № 9, 1995, стр.21 - 22.
- 13.Рекламный проспект фирмы ВЮТАЛ (Чешская Республика), 2001.
- 14.В.И. Лоренц. Очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности. - К: Будівельник. 1972.
- 15.Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, В.И. Калицун. Примеры расчетов канализационных сооружений -М: Стройиздат, 1987.
- 16.СНиП 2.04.03 - 85. Канализация. Наружные сети и сооружения. - М: 1986.
- 17.А.М. Когановский, Л.А. Кульский. Очистка промышленных сточных вод. - К: Техніка, 1974.
- 18.С. В, Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Воронов. Водоотводящие системы промышленных предприятий. - М: Стройиздат, 1990.
- 19.М.П. Лапицкая Очистка сточных вод (примеры расчетов). - Минск, 1983.
- 20.Химия и технология воды, 1994, т.16, № 3, стр.308 - 316.
21. Экологический холдинг «Комплект Экология» (Украина) Реконструкция существующих очистных сооружений, 2000.
- 22.Микробиология и биотехнология очистки воды.(Тезисы докладов конференции, 18 сентября 1989 г.) Общество «Знание» Украины, Киев, 1989.
- 23.Химия и технология воды, 1996, т. 18, № 2, стр. 195- 197.
- 24.Собчук Л.О. Біотехнологія очищення стічних вод виробництва синтетичних жирних кислот. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня к.т.н. Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського АН України, Київ, 1994.
- 25.Водоснабжение и санитарная техника, № 2,1999, стр.36.
- 26.Химия и технология воды,1998,т.19, № 4, с.344~349
- 27.Химия и технология воды,1998,т.19, № 6,

Учебное пособие.

Долина Леонид Федорович, доцент, канд. техн. наук. Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта.

Реакторы для очистки сточных вод. - Днепропетровск., 2001 -82 с. ISBN-966-7085-29 -5

Учебное пособие предназначено для студентов, магистров, аспирантов и преподавателей, а также для специалистов, которые занимаются вопросами очистки сточных вод, организацией замкнутых и обратных циклов водоснабжения в промышленности, охраны природной среды. Издательство «Стандарт», тираж 500 экз.

УДК 628.3

ББК 38.761.

Навчальне видання

Долина Леонід Федорович, доцент, канд. техн. наук.

Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту. Реактори для очистки стічних вод. -

Дніпропетровськ, 2001 - 82 с. ISBN-966-7085-29 -5

Навчальний посібник призначений для студентів, магістрів, аспірантів та викладачів, а також для фахівців, що займаються питаннями очистки стічних вод, організацією замкнених та зворотніх циклів водопостачання у промисловості, охорони довкілля.

УДК 628.3

ББК 38.761.