

# ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

предприятий  
мясной  
и молочной  
промышленности

ББК 36.95

О-94

УДК 628.543 : 637.5

**Очистка сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности/С. М. Шифрин, Г. В. Иванов, Б. Г. Мишуков, Ю. А. Феофанов.—М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. — 272 с.**

В книге изложены методы очистки сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности, обобщен опыт строительства и эксплуатации очистных сооружений. Приведены сведения о новых видах очистных сооружений для локальной и общей очистки сточных вод, даны рекомендации по их расчету.

Рассмотрены примеры расчета сооружений и приведен анализ технических решений с технико-экономической оценкой их.

Таблиц 33. Иллюстраций 81. Список литературы — 85 названий.

Рецензент *Е. П. Архангельская*

**Семен Маркович Шифрин, Глеб Валерианович Иванов,  
Борис Григорьевич Мишуков, Юрий Александрович Феофанов**

## **ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МЯСНОЙ И МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Редактор *С. И. Яковлева*. Художник *В. А. Сергеев*. Художественный редактор *Е. К. Селикова*. Технический редактор *Т. С. Пронченкова*. Корректоры *Р. А. Взорова, М. А. Шегал*.

ИБ № 972

Сдано в набор 24.07.80. Подписано в печать 19.01.81. Т-04322. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага кп.-журн. Литературная гарнитура. Высокая печать. Объем 8,5 п. л. Усл. п. л. 14,28. Уч.-изд. л. 15,56. Усл. кр. от. 14,439. Тираж 4500 экз. Заказ 1697. Цена 90 к. Издательство «Легкая и пищевая промышленность», 113035, Москва, М-35, 1-й Кадашевский пер., 12. Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

О 31703—065—65—81 (П. П.) 2904000000  
044(01)—81

© Издательство «Легкая и пищевая промышленность», 1981 г.



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Сточные воды предприятий мясной и молочной промышленности относятся к категории высококонцентрированных по органическим загрязнениям.

Обычно предприятия располагаются на территории населенных пунктов и сточные воды этих предприятий принимаются в городские канализации. В соответствии с существующими нормами (см., например, СНиП II-32-74) они должны быть подвергнуты локальной (предварительной) очистке на территории предприятия. Как правило, очистка сводится к снижению концентрации взвешенных веществ и жиров. Этим достигается защита канализационных сетей от засорений и возможность извлечения из сточных вод для утилизации содержащихся в них ценных веществ, например жиров, белковых веществ, а также загрязнений, затрудняющих последующую биологическую очистку общего стока предприятия и населенного пункта. Если же предприятие расположено вне населенного пункта, то требуется устройство самостоятельной, принадлежащей предприятию станции биологической очистки сточных вод.

На предприятиях для технологических и бытовых целей используется вода питьевого качества, загрязненная вода удаляется в канализацию и затем подвергается соответствующей очистке, после чего она сбрасывается либо в городскую канализационную сеть, либо в водоем. Обратные системы на пищевых предприятиях устраиваются лишь для охлаждения компрессоров холодильных машин и других агрегатов.

Таким образом, возникает задача проектирования канализации и очистных сооружений для мясокомбинатов и молокоперерабатывающих предприятий в различных условиях их дислокации по отношению к населенным пунктам.

Кафедра канализации Ленинградского инженерно-строительного института (ЛИСИ) ряд лет занимается исследованиями различных методов очистки сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности.

В предлагаемой читателям книге изложены результаты проведенных исследований по локальной очистке производственных сточных вод на территории предприятия и биологической очистке этих сточных вод на территории вне площадки предприятия со сбросом очищенных сточных вод в водоем. Использованы опыт проектирования очистных сооружений Союзводоканалпроектом, Гипромолпромом, Ленгипромясомолпромом и материалы ряда обследований условий эксплуатации очистных сооружений. Учтены современные достижения зарубежной техники. Кроме того, кратко систематизирован материал, необходимый специалистам для проектирования очистных сооружений канализации мясной и молочной промышленности, а также приведены рекомендации по пусконаладочным работам и эксплуатации этих сооружений.

Изложенные в этой книге данные могут быть использованы для проектирования очистных сооружений канализации предприятий других отраслей промышленности.

# Глава 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МЯСНОЙ И МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

## СТОЧНЫЕ ВОДЫ МЯСОКОМБИНАТОВ

Производственный процесс мясокомбинатов в основном заключается в содержании и убое скота, переработке туш на мясо и различные продукты — колбасу, копчености, консервы и т. д.

В процессе производства в значительных количествах используют воду питьевого качества. Загрязняясь отходами и потерями производства, она превращается в сточную воду и отводится в канализационную систему предприятия.

**Удельные расходы сточных вод.** Нормативные удельные расходы сбрасываемых сточных вод, а также коэффициенты неравномерности водоотведения приведены в табл. 1.

Разница в расходах сточных вод предприятий и коэффициентов неравномерности водоотведения (см. табл. 1) обусловлена производительностью предприятий, их технической оснащенностью, организацией производственного процесса, сменностью производства, видом и возрастом животных, разновидностью операций по переработке сырья, климатическими и местными условиями.

Для уточнения расходов потребляемой воды и сточных вод в зависимости от климатических и местных условий вводят коэффициенты районирования [7], которые приведены ниже.

Район	Коэффициент районирования
Прибалтийский, Северо-Западный, Дальневосточный	0,95
Волго-Вятский, Восточно- и Западно-Сибирский, Белорусский	0,98
Северо-Кавказский, Донецко-Приднепровский, Юго-Западный и Южный районы УССР	1
Поволжский, Уральский	1,02
Центральный, Центрально-Черноземный	1,05
Закавказский, Среднеазиатский, Молдавский	1,15
Казахстанский	1,2

**Таблица 1. Удельные нормы водопотребления и водоотведения на предприятиях мясной промышленности (в м<sup>3</sup> на 1 т выпускаемой продукции) [7]**

Предприятия и их мощность	Удельный расход потребляемой свежей воды	Удельный расход сточных вод	Безвозвратное потребление и потери воды	Коэффициент неравномерности водоотведения
Мясокомбинаты и птицекомбинаты производительностью, т в смену				
до 10	21,5	19,3	2,2	2,9
свыше 10 до 30	21,5	19,3	2,2	2,1
свыше 30 до 50	22,4	20,3	2,1	1,9
свыше 50 до 100	22,7	19,3	2,4	1,9
свыше 100	25	21,3	3,7	1,9
Мясоперерабатывающие заводы производительностью, т в смену				
до 20	19,4	13,6	5,8	2,6
свыше 20 до 40	21,5	15	6,5	2,8
Птицекомбинаты производительностью до 15 т в смену	40	36	4	2,1

Потери воды в производственном процессе (испарение, утечки, выход с готовой продукцией и т. д.), по данным табл. 1, колеблются от 9,8 до 30,2% и в среднем составляют 15%.

**Состав сточных вод.** Потребляемая в производственном процессе вода загрязняется органическими веществами животного происхождения: жиром, кровью, какашкой, навозом, кусочками тканей животных, волосом, осколками костей. Кроме того, в сточные воды в значительных количествах поступают поваренная соль, нитраты, моющие средства, песок, глина.

В сточных водах все загрязнения в основном находятся в виде трудноразделимых суспензий, эмульсий, коллоидных и молекулярных растворов. Каждый вид загрязнения состоит из органической и минеральной части.

Таблица 2. Состав сточных вод мясокомбинатов [57]

Предприятия (цехи), отделения, виды стоков	Взвешенные вещества, мг/л	БПК <sub>полн</sub> , мг/л	Жир, мг/л	Хлориды, мг/л
Помещения предубойного содержания скота	3000	1000	—	70
Каньгосодержащая жидкость после каньгопрессов	4000	2200	—	110
Цех первичной переработки скота	2500	2000	700	550
Цех технических и кормовых продуктов	3500	1300	2000	700
Общий сток мясокомбината перед общей жироловкой предприятия	2300	1800	1200	1000
после общей жироловки	2000	1400	200	1000
Общий сток мясокомбината без цехов убоя и обескровливания перед общей жироловкой предприятия	1300	1600	1300	1000
после общей жироловки	1200	1500	200	1000
Предприятия по переработке птицы	800	750	200	100

Продолжение табл. 2

Предприятия (цехи), отделения, виды стоков	Азот, мг/л		Фосфор, мг/л	pH
	общий	аммонийный		
Помещения предубойного содержания скота	—	—	—	7
Каньгосодержащая жидкость после каньгопрессов	—	—	—	—
Цех первичной переработки скота	—	—	—	7,6
Цех технических и кормовых продуктов	—	—	—	7
Общий сток мясокомбината перед общей жироловкой предприятия	—	—	—	7,2
после общей жироловки	18—192	14—57	35—60	7,2
Общий сток мясокомбината без цехов убоя и обескровливания перед общей жироловкой предприятия	—	—	—	7,4
после общей жироловки	—	—	—	7,5
Предприятия по переработке птицы	—	—	—	5,5

Сточные воды мясокомбинатов (табл. 2) в зависимости от основных загрязняющих веществ можно разделить на пять основных потоков: жирсодержащие; навозосодержащие; каныгосодержащие; сточные воды санитарной бойни, карантина и изолятора; остальные сточные воды.

Основное загрязнение жирсодержащих сточных вод — жир. Кроме того, в этих сточных водах содержатся кровь, кусочки тканей животных, волос, поваренная соль, минеральные нерастворимые примеси, моющие средства. Эти сточные воды поступают из убойного, жирового, кишечного, шкуропосолочного, субпродуктового цехов, с колбасного завода и завода технических фабрикатов.

Навозосодержащие сточные воды загрязнены навозом, песком, глиной, остатками корма животных, поступают в канализацию из помещений предубойного содержания скота.

Каныгосодержащие стоки, загрязненные каныгой, поступают из убойного цеха с участка вскрытия желудка животных; в эти воды могут попадать кусочки тканей животных, кровь и некоторое количество жира.

Сточные воды санитарной бойни, карантина и изолятора могут содержать все загрязнения, характерные для убойного цеха: кровь, жир, каныгу, кусочки тканей животных, волос, щетину, минеральные примеси, а также навоз, поступающий с территорий изолятора и карантина; в этих сточных водах могут присутствовать бактерии — возбудители болезней.

Остальные сточные воды мясокомбината представляют собой смесь бытовых и незажиренных производственных стоков. Они загрязнены кровью, кусочками тканей животных, волосом, щетиной, обрезями, содержимым кишечника, поваренной солью, фекалиями, моющими средствами и в сравнительно небольшом количестве жиром. В связи с тем, что на мясокомбинатах при мойке оборудования, помещений, стирке спецодежды используют синтетические моющие средства, для рассматриваемой смеси сточных вод характерно присутствие этих веществ. В этот поток поступают сточные воды из цехов шкуропосолочного, медицинских препаратов, частично из убойного, кишечного, субпродуктового, с завода технических препаратов, а также из бытовых

помещений цехов и административного корпуса, из прачечной и столовой. Сюда же включаются сточные воды ветеринарной, бактериологической и химической лабораторий комбината и незагрязненные производственные воды. Незагрязненные производственные воды, поступающие от охлаждения компрессоров холодильных установок, котельной, вакуум-насосов и барометрических конденсаторов, имеют высокую температуру (25—40° С). После охлаждения эти воды используют в оборотной системе. Бытовые сточные воды являются малоконцентрированными и разбавляют технологические стоки. Они составляют всего 9—12% от общего расхода.

В общем стоке мясокомбинатов с учетом работы локальных очистных сооружений концентрация взвешенных веществ изменяется от 1200 до 2000, содержание жиров составляет 200, а БПК<sub>полн</sub>\* — 1400—1500 мг/л. Концентрации основных загрязнений в сточных водах отдельных цехов, не прошедших локальную очистку и не разбавленных бытовыми и незагрязненными производственными сточными водами, значительно выше. Так, содержание взвешенных веществ — 300—6236 мг/л, БПК<sub>полн</sub> — 600—2200, жиров — 491—2027,2 мг/л. Величина рН изменяется незначительно и, за исключением отдельных случаев, составляет 7—7,6. Сточные воды мясокомбинатов характеризуются большим содержанием хлоридов (NaCl) — до 1000 мг/л и органических загрязнений, находящихся в растворенном (422—1238 мг/л) и нерастворенном (120—2025 мг/л) состоянии. Температура их изменяется от 12 до 27° С в зависимости от сезона. Они имеют темно-серую, временами (в зависимости от присутствия в ней крови) красно-бурную окраску и обладают специфическим запахом.

В рассматриваемых сточных водах часть загрязнений находится в виде коллоидов. В среднем их концентрация равна 283 мг/л [19].

Для сточных вод мясокомбинатов характерно значительное содержание азота: общего 18—192, аммонийного 14—57 мг/л.

---

\* БПК<sub>полн</sub> отражает полную потребность в кислороде на биохимическое окисление органических веществ. Ее определяют обычно при термостатировании пробы данных сточных вод в течение 15—25 сут.

В процессе производства используют азотистокислый натрий  $\text{NaNO}_2$ . Его отработанные растворы сбрасывают в канализацию. Поэтому в сточных водах мясокомбинатов присутствуют нитриты и нитраты в количествах соответственно 0,002—0,02 и 0,05 мг/л. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе метода определения БПК. Содержание фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) равно 35—60 мг/л [24, 50].

В процессе производства в большом количестве используют моющие средства и, в том числе, кальцинированную соду ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Эти вещества присутствуют и в сточной воде, увеличивая ее загрязненность и придавая ей способность вспениваться [24, 50].

Состав сточных вод мясокомбинатов зависит также от потерь в процессе производства. В среднем количество загрязнений по сухому веществу составляет 20 кг на голову скота; количество каныги при 84%-ной влажности — 16—18% от живой массы скота (некоторая ее часть попадает в канализацию); в сточных водах убойного цеха содержится до 800 мг/л белков; по экспериментальным данным в общем стоке мясокомбинатов содержится 0,31% крови. Все эти продукты содержат значительное количество органических веществ. Так, БПК<sub>цолн</sub> каныги равна 104 000 мг/л (при этом на растворенные вещества приходится 80% общей БПК<sub>цолн</sub>), а крови — 405 000 мг/л [24].

По данным Минмясомолпрома РСФСР, загрязнение общего стока (в мг/л) на ряде мясокомбинатов, имеющих цехи убоя скота, в среднем составило: взвешенных веществ 500—1200; жиров 200—570; БПК<sub>5</sub> их была равна 800—1250.

Следовательно, рассматриваемые сточные воды в основном загрязнены органическими веществами животного происхождения. В связи с этим сточные воды мясокомбинатов быстро загнивают и приобретают неприятный гнилостный запах интенсивностью до 5 баллов.

Особенностью сточных вод мясокомбинатов является наличие бактериального загрязнения. Титр кишечной палочки составляет 0,0002 [24], в стоках содержатся яйца гельминтов, могут присутствовать вирусы и болезнетворные бактерии, вызывающие сибирскую язву, сальмонеллез, бруцеллез.



Разница в количественных показателях загрязнений мясокомбинатов (см. табл. 2) объясняется неодинаковой технологией производства. Например, имеются предприятия без помещений предубойного содержания, цехов убоя скота и разделки туш. Сточные воды этих предприятий характеризуются более низкой концентрацией взвешенных веществ и других видов загрязнений. Большое влияние на степень загрязненности оказывает сезонность производства. Основная нагрузка — период массового убоя скота — приходится на октябрь—декабрь. В этот период в канализацию поступают наиболее загрязненные сточные воды.

## СТОЧНЫЕ ВОДЫ ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На предприятиях молочной промышленности воду используют для мойки технологического оборудования, трубопроводов, тары (цистерн, фляг, бутылок и т. д.), мытья полов, панелей производственных помещений, охлаждения молока и молочных продуктов, для работы технологических и паросиловых установок, а также для хозяйственно-бытовых нужд. Часть воды потребляется при восстановлении сухого молока и входит в состав продуктов.

Расход и состав сточных вод предприятий молочной промышленности определяются системой водоснабжения.

Водоснабжение заводов осуществляется из городских или собственных водопроводов. Вода, направляемая на технологические нужды, должна соответствовать воде питьевого качества. Для охлаждения вакуум-аппаратов и компрессоров холодильных установок, а также для наружного обмыва автомашин и поливки территории предприятия можно использовать техническую воду.

Система водоснабжения молочных заводов обычно включает прямоточное, обратное и повторное использование воды.

Обратное использование воды предусматривается для холодильных установок, вакуум-аппаратов и других аппаратов, где вода не контактирует с продукцией.

Воды от охлаждения продукции в пастеризаторах, от последнего ополаскивания бутылок, конденсат вторич-

ных паров от вакуум-аппаратов можно применять для уборки помещений, полива территории, обмыва автомашин и других целей (повторное использование воды).

Расход сточных вод, сбрасываемых предприятием, составляет 80—85% от расхода потребляемой свежей воды.

**Удельные расходы сточных вод.** Удельные нормы водопотребления и водоотведения для различных по профилю и производительности предприятий молочной промышленности приведены в табл. 3.

Приведенные в табл. 3 нормы действительны для предприятий с современным оборудованием и максимально возможной степенью повторного и оборотного использования воды в производстве.

Фактические удельные расходы потребляемой воды и сбрасываемых сточных вод на молочных заводах, где отсутствует строгий контроль за расходованием воды, недостаточная степень повторного и оборотного ее использования зачастую превышают нормативные величины.

Коэффициенты неравномерности сброса сточных вод колеблются в зависимости от мощности предприятия в пределах 1,4—2.

**Состав сточных вод.** Производственные загрязненные сточные воды на молочных заводах образуются в основном в процессе мойки оборудования, тары, при уборке производственных помещений. Эти сточные воды загрязняются потерями молока и молочных продуктов, отходами производства, реагентами, применяемыми при мойке оборудования, и примесями, смываемыми с поверхностей тары, полов, транспорта и пр.

Для снижения количества сбрасываемых заводом со сточными водами загрязнений в технологическом процессе должны быть предусмотрены мероприятия по уменьшению потерь сырья и продукции, сбор и утилизация сыворотки (путем ее сгущения, сушки, переработки на молочный сахар или реализации в качестве кормов), сбор и сепарация первых порций воды, получаемых от ополаскивания технологического оборудования по производству высокожирной продукции, оборот и регенерация моющих растворов и т. п.

Количество загрязнений в сточных водах можно определить на основе норм потерь сырья, молочной про-

Таблица 3. Удельные нормы водопотребления и водоотведения на предприятиях молочной промышленности (в м<sup>3</sup> на 1 т перерабатываемого молока) [7]

Предприятия и их мощность	Удельный расход потребляемой воды			Удельный расход сточных вод			Безвозвратное потребление и потери воды
	оборотной, повторно используемой	свежей из источника		всего	производственных	бытовых	
		на производственные нужды	на хозяйственно-бытовые нужды				
Молокоприемные пункты и сепараторные отделения	0	2,2	0,1	2	1,9	0,1	0,3
Городские молочные заводы производительностью, т в сутки							
до 50	30	6,3	0,7	5,6	4,9	0,7	1,4
свыше 50 до 200	30,5	5,8	0,7	5,2	4,5	0,7	1,3
свыше 200 до 400	31	5,4	0,6	4,8	4,2	0,6	1,2
свыше 400	32	4	0,5	3,6	3,1	0,5	0,9
Заводы сгущенных молочных продуктов производительностью, туб в смену							
до 60 (180 т молока в сутки)	25	5,2	0,3	4,4	4,1	0,3	1,1
свыше 60 (180 т молока в сутки)	25,5	4,7	0,2	4	3,7	0,3	1
Заводы сухих молочных продуктов (цельного и обезжиренного молока, ЗЦМ), маслодельные заводы с цехами сушки производительностью, т в сутки							
до 300	20	4,7	0,3	4	3,7	0,3	1
свыше 300	20,5	4,3	0,2	3,5	3,3	0,2	1
Молочноконсервные комбинаты детских продуктов	20	3,3	0,2	3	2,8	0,2	0,5
Маслодельные заводы производительностью, т в сутки							
до 50	21	2,8	0,2	2,6	2,4	0,2	0,4
свыше 50 до 200	21,5	2,3	0,2	2,1	1,9	0,2	0,4
свыше 200	22	1,9	0,1	1,7	1,6	0,1	0,3

Предприятия и их мощность	Удельный расход потребляемой воды			Удельный расход сточных вод			Безвозвратное потребление и потери воды
	оборотной, повторно используемой	свежей из источника		всего	производственных	бытовых	
		на производственные нужды	на хозяйственно-бытовые нужды				
Маслосырзаводы производительностью, т в сутки							
до 50	20	4,6	0,4	4,3	3,9	0,4	0,7
свыше 50 до 200	20,5	4,2	0,3	3,8	3,5	0,3	0,7
свыше 200	21	3,7	0,3	3,4	3,1	0,3	0,6
Сыродельные заводы производительностью, т в сутки							
до 50	19	6,5	0,5	6	5,5	0,5	1
свыше 50 до 200	19,5	5,6	0,4	5	4,6	0,4	1
свыше 200	20	4,6	0,4	4,3	3,9	0,4	0,7

дукции и удельных расходов сточных вод (см. табл. 3).

Концентрацию загрязнений сточных вод рассчитывают по формуле

$$C = (\Pi_1 C_1 + \Pi_2 C_2 + \dots + \Pi_n C_n) / (N_1 + N_2 + \dots + N_n), \quad (1)$$

где  $C$  — концентрация загрязнений сточных вод, г/м<sup>3</sup>;  $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_n$  — потери молока и молочных продуктов в различных технологических циклах производства, доли единицы;  $C_1, C_2, C_n$  — удельное количество загрязнений на единицу потерь молока и молочных продуктов, г/т;  $N_1, N_2, N_n$  — удельный расход сточных вод на единицу молока и молочных продуктов, м<sup>3</sup>/т.

Количество загрязнений по ХПК\* и БПК<sub>полн</sub> молока и молочных продуктов определяют по табл. 4 (данные ВНИИМСа).

Зная потери молока и молочных продуктов на предприятии и пользуясь данными табл. 4, можно по фор-

\* ХПК — эквивалентное количество кислорода, потребного для химического окисления органических веществ, содержащихся в сточных водах.

Таблица 4. Потребность в кислороде на окисление органических веществ в зависимости от состава молока и молочных продуктов

Продукт	Сухое вещество, %	Жир, %	Белок, %	Лактоза, %	ХПК, кг/т	БПК <sub>полн.</sub> , кг/т
Молоко цельное	11,5—	3—4	3,3	4,8	192,9—	135,5—
	12,5				218,6	—156,2
обезжиренное	8,3—	0,02—	3,3	4,7—	112—	72,4—
	8,47	0,06		4,9	115,3	75,1
Пахта	7,7—	0,4—	3	4	104,5—	72,4—
	8,0	0,86			—111,9	75,1
Сыворотка	6—6,2	0,1—	1	4,5—	72—77	51,6—
		0,2		4,7		—55,9
Сливки	40,4—	33—35	2	3	871—	695—747
	43				—936,5	

муле (1) определить концентрацию этих загрязнений в сточных водах.

При расчете концентраций загрязнений сточных вод по формуле (1) следует учитывать дополнительные загрязнения от поступающих в канализацию отработавших моющих растворов, добавок к продуктам и пр. Фактические концентрации загрязнений сточных вод предприятий молочной промышленности колеблются в широких пределах и зависят от профиля и мощности предприятия, технологии производства, вида применяемого оборудования, степени повторного и оборотного использования незагрязненных сточных вод, потерь сырья, утилизации отходов производства и др.

Полученные кафедрой канализации ЛИСИ данные о составе сточных вод предприятий молочной промышленности различного профиля приведены в табл. 5.

Температура сточных вод предприятий молочной промышленности колеблется от 16 до 33° С. Высокая температура стока обусловлена использованием горячей воды для мойки оборудования и уборки помещений.

Среднемесячная температура сбрасываемых молочными заводами сточных вод составляет зимой 17—18° С, летом — 22—25° С.

Величина рН сточных вод в значительной степени определяется технологией производства, ассортиментом выпускаемой продукции. Для производств, не связанных с процессами молочнокислого брожения, рН стока

Таблица 5. Состав сточных вод предприятий молочной промышленности.  
[57]

Предприятия	Взвешенные вещества, мг/л	ХПК, мг/л	БПК <sub>полн</sub> , мг/л	Жиры, мг/л	Хлориды, мг/л	Азот общий, мг/л	Фосфор, мг/л	pH
Городские молочные заводы	350	1400	1200	До 100	150	60	8	6,5—8,5
Заводы сухого и сгущенного молока	350	1200	1400	До 100	150	50	7	6,8—7,4
Сыродельные заводы	600	3000	2400	До 100	200	90	16	6,2—7

Примечания: 1. Данные, приведенные в табл. 5, характеризуют общий сток предприятия.

2. Состав сточных вод маслодельных заводов, заводов (цехов) ЗЛМ допускается ориентировочно принимать по данным для заводов сухого и сгущенного молока; состав сточных вод цехов для производства казеина и сметанно-творожных продуктов—по данным для сыродельных заводов.

3. Концентрация жиров в сточных водах цехов, выпускающих высокожирную продукцию (масло, сливки, сметану), составляет 200—400 мг/л.

близок к нейтральному (6,8—7,4 для молочноконсервных комбинатов, маслодельных заводов). На сыродельных заводах, городских молочных заводах и других предприятиях, вырабатывающих творог и кисломолочные продукты, в канализационную сеть сбрасывается определенное количество сыворотки, что обуславливает снижение pH сточных вод до 6,2.

Колебания pH стока часто вызываются также сбросом в канализацию кислотсодержащих и щелочных реагентов, применяемых при мойке оборудования. Резкое кратковременное повышение pH общего стока до 10—10,5 может быть объяснено залповым сбросом щелочных моющих растворов, которые в основном применяют на молочных заводах.

Длительное пребывание сточных вод в анаэробных условиях (в канализационной сети, отстойниках) обуславливает закисание жидкости в результате молочнокислого брожения и приводит к снижению pH.

Взвешенные вещества сточных вод молочных заводов представлены частичками твердых продуктов переработки молока (кусочки творога, молочные пленки,

сырое зерно и пр.) и другими примесями (грунт, песок), попадающими в канализацию при мойке технологического оборудования, тары, помещений.

Основная часть взвесей (до 90%) является органическими веществами, как правило, белкового происхождения. Концентрация взвешенных веществ колеблется в широких пределах в зависимости от технологического цикла производства. Колебания концентрации взвешенных веществ в сточных водах молочных заводов наблюдаются и по часам суток; наибольшее количество взвеси поступает в начальный период мойки оборудования.

Значения ХПК и БПК сточных вод молочных заводов также колеблются в широких пределах и в среднем составляют для городских молочных заводов соответственно 1400 и 1200 мг/л; для сыродельных заводов — 3000 и 2400 мг/л.

Установлено, что между показателями ХПК и БПК<sub>полн</sub> (рис. 1) для сточных вод молочных заводов существует прямая зависимость  $БПК_{полн} = (0,80 \div 0,84) ХПК$  [69]. Используя это соотношение, по величине ХПК (аналитическое определение которой занимает 2—3 ч) можно ориентировочно рассчитать БПК<sub>полн</sub> сточных вод молокоперерабатывающего предприятия любого профиля, что значительно облегчает анализ состава сточных вод и контроль за работой очистных сооружений.

Следует иметь в виду, что между БПК<sub>5</sub> и БПК<sub>полн</sub>, а также между БПК<sub>5</sub> и ХПК отсутствует четкая взаимосвязь, следовательно, значение БПК<sub>5</sub> для сточных вод молочных заводов не является объективным показателем загрязнения сточных вод.

Содержание жиров в сточных водах предприятий молочной промышленности определяется в основном

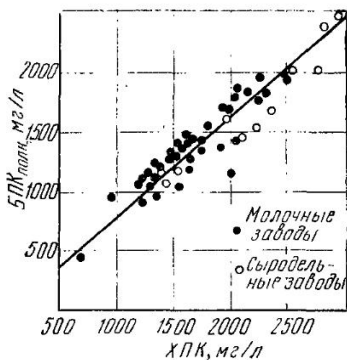


Рис. 1. Зависимость между БПК<sub>полн</sub> и ХПК сточных вод предприятий молочной промышленности.

ассортиментом выпускаемой продукции и технологией производства. В зависимости от этих факторов изменяется не только концентрация жиров в сточных водах, но и вид этих загрязнений. Сточные воды цельномолочного производства содержат жиры в том же виде, что и натуральное молоко, поскольку потери молока являются основным загрязнением этих стоков.

Жиры молока представляют собой мельчайшие шарики, окруженные гидратированной белковой оболочкой, которые крайне медленно всплывают при отстаивании сточных вод.

При производстве высокожирной продукции (сливок, сметаны, масла) из молока извлекаются крупные шарики жира, происходит их слипание и укрупнение, а также разрушение белковой оболочки. Поэтому жировые примеси, содержащиеся в сточных водах таких производств, существенно отличаются по виду и концентрации от подобных загрязнений сточных вод других молочных заводов. Выделение жировых примесей из сточных вод от производства высокожирной продукции, например путем отстаивания жидкости, происходит значительно быстрее и эффективнее, чем из сточных вод других производств.

При санитарном анализе сточных вод определяют содержание жиров и жироподобных веществ, экстрагируемых эфиром или хлороформом. Концентрация экстрагируемых веществ в сточных водах заводов и цехов, специализированных на выпуске высокожирной продукции, составляет 200—400 мг/л, в сточных водах других видов производства обычно не превышает 100 мг/л.

В сточных водах молочных заводов азот содержится в основном в виде аминокрупп белковых соединений. В небольших количествах в сток попадает также азот аммонийных солей из аммиачных компрессоров.

Содержание общего азота в сточных водах городских молочных заводов, молочноконсервных комбинатов, маслодельных заводов составляет 50—60 мг/л, или 4,2—6% от БПК<sub>полн</sub>; сыродельных заводов — 90 мг/л, или 3,7% от БПК<sub>полн</sub>. Концентрация фосфора равна 0,6—0,7% от БПК<sub>полн</sub>.

Концентрации солей азота и фосфора являются достаточными для нормального протекания процесса биологической очистки сточных вод предприятий молочной



промышленности и размножения бактерий, участвующих в окислении загрязнений этих стоков.

При биологической очистке сточных вод сыродельных заводов процессы нитрификации идут менее интенсивно, чем при очистке стоков других предприятий молочной промышленности, ввиду меньшего по отношению к БПК содержанию солей азота.

Наличие хлоридов в сточных водах молочных заводов обусловлено применением в производстве поваренной соли, попаданием в канализацию охлаждающих рассолов, присутствием хлоридов в свежей воде, молоке, моющих растворах. Концентрация хлоридов в сточных водах молочных заводов достигает 800—1000 мг/л и составляет в среднем 150—200 мг/л. Достаточно высокое содержание хлоридов позволяет применить для очистки сточных вод молочных заводов методы электрофлотации и электрокоагуляции.

## Глава 2. ЛОКАЛЬНАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МЯСОКОМБИНАТОВ

### ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ НАВОЗА

Навозосодержащие стоки, поступающие из помещений предубойного содержания скота, по отдельной канализационной сети отводятся в навозоуловители.

Навозоуловитель представляет собой небольшой горизонтальный отстойник, как правило, заглубленный так, чтобы сточная жидкость поступала в него самотеком, без помощи насосной станции (рис. 2).

Навозоуловители рассчитывают на получасовое пребывание воды [57]. Эффективность их работы по взвешенным веществам в среднем составляет 50%. По мере заполнения осадочной части навозом навозоулови-

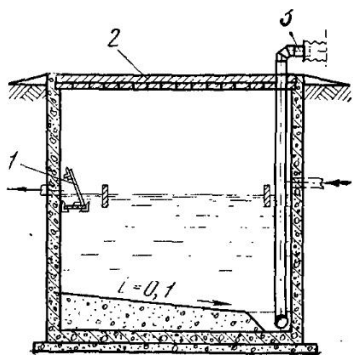


Рис. 2. Навозоуловитель:

1 — решетка, 2 — съемные деревянные щиты антисептированные, 3 — труба для подключения шланга илососа.

тели очищают. Навоз удаляют с помощью автоцистерны (илососа), оборудованной вакуумным насосом. Вместимость осадочной части навозоуловителя равна объему осадка, выпадающего из сточных вод в течение двух суток. Влажность осадка 97%. Количество навозосодержащих стоков в сутки составляет 0,005 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площади помещений предубойного содержания скота [57]. Извлеченный из навозоуловителей осадок вывозят на свалку или вместе с навозом, собранным сухим способом, используют в сельском хозяйстве в качестве удобрения.

В жидкости после навозоуловителей содержится взвеси в среднем 3000 мг/л, БПК<sub>полн</sub> отстоянной жидкости равна 1000 мг/л.

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ КАНЫГИ

В убойном цехе, на участке вскрытия желудков животных каныгу, как правило, смывают водой. Каныга не должна попадать в канализацию [57]. Ее задержание и удаление предусмотрены технологическим процессом. Обычно каныжный сток поступает в каныгопрессы (рис. 3), где отделяют каныгу от воды. Влажность отжатой каныги 70—75%. Воду после каныгопрессов направляют в канализацию. В ней содержится 4000 мг/л взвешенных веществ (мелких фракций каныги). Обезвоженную каныгу компостируют и используют в качестве удобрения [57].

В некоторых случаях для отделения каныги применяют каныгоотстойники. Они представляют собой горизонтальные отстойники с механическими скребками для сбора осадка в приямок, расположенный в начале отстойника. Так как часть каныги всплывает, то скребковый механизм должен иметь устройство для сбора всплывшей части каныги. Из приямка каныгу выгружают с помощью крана с грейферным ковшом на автомобильный или железнодорожный транспорт и отвозят на площадки для компостирования. Продолжительность отстаивания жидкости в каныгоотстойниках 45—60 мин, при этом эффект осветления равен 35—42%. Осадочную часть отстойника рассчитывают на двухсуточный объем осадка влажностью 90%. При небольших расходах

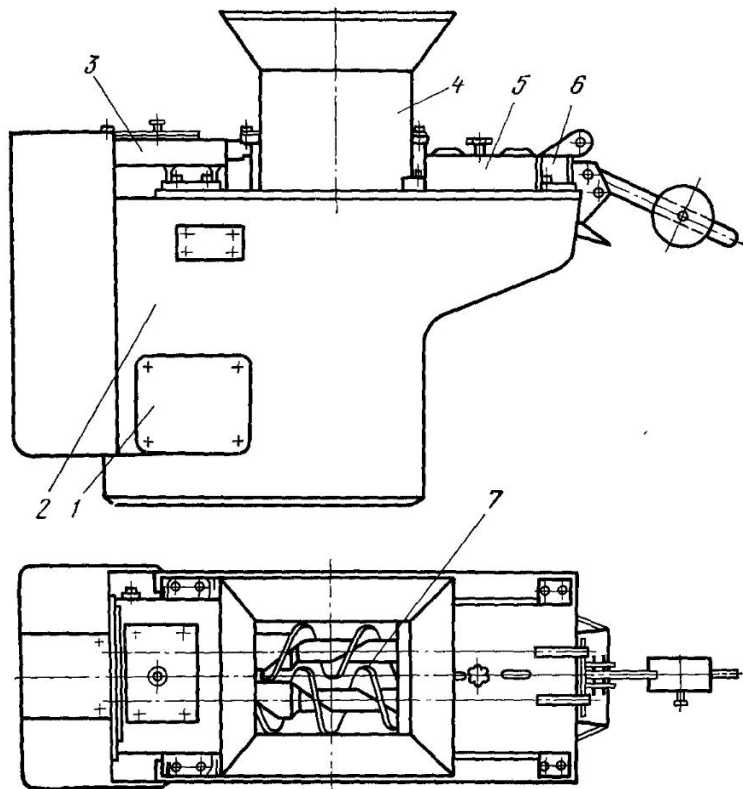


Рис. 3. Каныгопресс:

1 — крышка, 2 — станна, 3 — редуктор, 4 — бункер, 5 — кожух; 6 — камера от-  
жата; 7 — камера шнеков.

(50—200 м<sup>3</sup>/сут) каныжных стоков устраивают упро-  
щенные каныгоотстойники без механических скребков  
(рис. 4).

#### ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ЖИРА

Жир находится в сточной воде в виде отдельных  
сравнительно крупных твердых частиц, в эмульгиро-  
ванном и растворенном состоянии. Крупные частицы жира  
довольно легко всплывают при отстаивании воды и со-

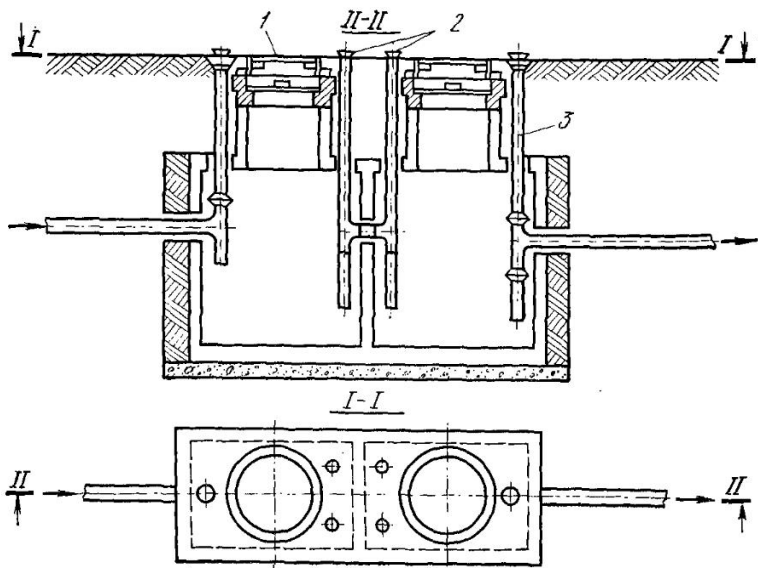


Рис. 4. Каныгоотстойник:

1 — крышка лаза, 2 — пробки, 3 — чугунные трубы.

бираются на поверхности, образуя корку. Эмульгированный и тем более растворенный жир, который содержится в незначительном количестве (4 мг/л), выделить из воды весьма трудно.

Жирсодержащие стоки, кроме жира, содержат также большое количество взвеси. Жир в смеси со взвесью прочно прилипает к внутренней поверхности капализационных труб, к стенкам колодцев, резервуаров, арматуре и оборудованию, что уменьшает их пропускную способность. Кроме того, жир быстро загнивает, в результате чего распространяется зловоние. Наличие жира в сточных водах приводит к образованию плотных отложений на стенках и на поверхностях резервуаров насосных станций, песколовок и отстойников. Присутствие жира в воде значительно осложняет работу аэротенков и выводит из строя биологические фильтры. В силу этих причин жирсодержащие сточные воды подвергают предварительной локальной очистке от жира и

взвешенных веществ<sup>1</sup>. Такая очистка может быть осуществлена с помощью следующих методов: простое отстаивание в отстойниках горизонтального или вертикального типа; отстаивание с предварительной коагуляцией; флотация; электрокоагуляция; электрофлотокоагуляция.

При очистке жирсодержащих сточных вод любым методом перед жирулавливающими сооружениями устанавливаются канализационные решетки и горизонтальные песколовки. Решетки задерживают попадающие в канализацию крупные отбросы — конфискаты, осколки костей, копыт, обрезки кишок, шпагата, целлофана и пр. Прозоры между стержнями решетки равны 16 мм. Решетки рассчитывают в обычном порядке, предусмотренном СНиПом [55]. Влажность снятых отбросов 70—80% при объемной массе 0,8 т/м<sup>3</sup>.

После решеток сточная вода направляется в песколовки, в которых задерживаются песок, мелкие кости, часть тяжелых взвешенных веществ. Песколовки конструируют и рассчитывают согласно СНиПу [55]. Отбросы с решеток и осадок из песколовки отвозят автомобильным транспортом на свалку, засыпают слоем земли в 10 см. После песколовки сточная вода направляется на сооружения для задержания жира.

В последнее время для задержания отбросов и крупных взвешенных веществ стали применять перфорированные желоба. Достаточного опыта работы этих машин пока нет. Однако их применение не исключает необходимости локальной очистки сточных вод от жира и взвешенных веществ.

**Простое отстаивание.** В процессе отстаивания жирсодержащих сточных вод жир всплывает, увлекая с собой часть взвешенных веществ. В результате этого на поверхности воды образуется слой плавающих веществ (жиромасса).

Тяжелые взвешенные вещества, осаждаясь, образуют осадок, при этом они увлекают за собой часть жира.

Для отстаивания жирсодержащих сточных вод применяют отстойные жироловки, как правило, горизон-

---

<sup>1</sup> Ниже не рассматриваются цеховые жироловки, устанавливаемые на выпусках из цехов, стоки которых содержат значительное количество жира, так как они относятся к цеховому оборудованию и являются частью технологии основного производства.

тального типа (рис. 5). Они чаще всего оборудованы скребковым механизмом для сбора всплывшей жиромассы, которая сгребается в специально предусмотренный бункер.

Остойные жироловки рассчитывают на продолжительность отстаивания сточной воды в течение 30 мин. Эффективность задержания жира 50—55%, причем

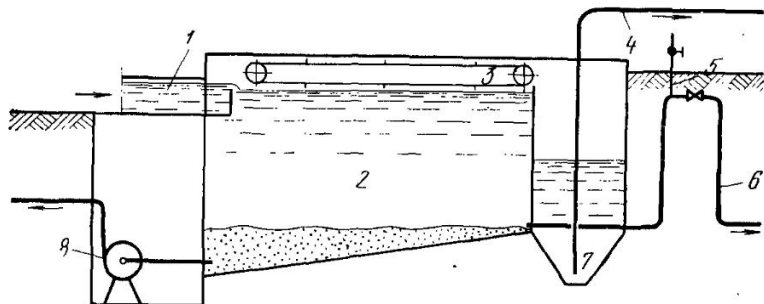


Рис. 5. Схема жироловки:

1 — лоток для подачи сточных вод, 2 — корпус жироловки, 3 — скребковый механизм, 4 — трубопровод для подачи жиромассы к вакуумному котлу, 5 — труба с вентиляцией для разрядки сифона, 6 — труба для выпуска сточных вод в канализацию, 7 — бункер для жиромассы, 8 — насос для удаления осадка.

20—25% жира задерживается вместе с осадком, а 30% всплывает на поверхность воды. Взвешенные вещества задерживаются в количестве 50%. Влажность осадка составляет 96% [58].

Из бункеров жиромасса вакуум-воздушными установками перекачивается в автоцистерны и направляется на утилизацию. При работе скребкового механизма вместе с жиромассой в бункеры попадает некоторое количество воды. За время нахождения в них этой смеси происходит дополнительное ее расслаивание на жиромассу и воду. Последнюю перед удалением жиромассы рекомендуется сливать в канализацию.

Однако на практике часто не предусматривают устройство скребкового механизма для сбора жиромассы, ее удаляют вручную, несвоевременно. В результате этого жиромасса загнивает и становится непригодной для утилизации.

Эффективность работы отстойных жироловок горизонтального типа не удовлетворяет современным требованиям, предъявляемым к очищенной воде. Это обусловило поиск методов более глубокой очистки сточных вод от жира и взвешенных веществ.

В настоящее время отстойные жироловки работают на многих мясокомбинатах. Однако из-за их недостатков, главным образом низкой эффективности, в новых проектах предусматривают другие, более совершенные, методы очистки сточных вод.

**Отстаивание с предварительной коагуляцией.** Одним из таких методов является реагентная коагуляция сточных вод с последующим их отстаиванием. Эффективность задержания жира и взвешенных веществ при этом увеличивается до 90—93%. Однако использование этого метода требует значительного расхода реагентов, устройства сложного реагентного хозяйства, а также влечет за собой образование большого количества осадка высокой влажности, который трудно обезвоживать. Экономически этот метод нецелесообразен. В силу указанных причин он не нашел широкого практического применения.

**Флотация.** Нерастворимые частицы загрязнений при флотации извлекаются, прилипая к пузырькам газа (обычно воздуха), которые вводят в жидкость. Пузырьки воздуха всплывают, увлекая за собой частицы загрязнений. В результате этого на поверхности жидкости образуется слой пены, который постоянно удаляют. Собранный таким образом пена со временем разрушается, образуя жидкость, которая насыщена загрязнениями, — флотоконцентрат. Флотоконцентрат подвергают декантации, при этом часть загрязнений всплывает, а другая часть осаждается. Сконцентрированные в всплывшем слое и осадке вещества загрязнений утилизируют. Эффективность флотации зависит от взаимодействия частиц загрязнений с пузырьками воздуха.

В зависимости от природы сил, которые проявляются на поверхности частиц загрязнений (дисперсной фазы), они по-разному относятся к окружающей их жидкости (дисперсионной среде). Те из них, поверхность которых обладает молекулярными связями, проявляют гидрофобные свойства. С водой они взаимодействуют неактивно, между ними и молекулами воды не возникает молекулярных связей. Поэтому молекулы воды не образуют вокруг таких частиц гидратных оболочек и легко вытесняются с их поверхности пузырьками газа. Частицы слипаются с пузырьками, образуя фло-

тококомплексы. Те частицы, поверхность которых обладает пенасыщепными ионными или ковалентными связями, проявляют гидрофильные свойства. Они активно взаимодействуют с жидкостью; на их поверхности образуются гидратные оболочки, препятствующие прилипанию к пузырьку газа. Такие частицы не образуют прочных флотокомплексов. Частицы некоторых веществ гетерополярны, т. е. проявляют как гидрофобные, так и гидрофильные свойства в зависимости от природы электростатических сил молекул, расположенных на поверхности. Например, гетерополярные частицы органического происхождения с гидрофильной стороны способны гидратироваться, а со стороны углеводородной группы являются гидрофобными и могут образовывать флотокомплексы.

При флотации частицы загрязнений взаимодействуют с пузырьками газа на границе раздела трех фаз — частица—газ—жидкость (трехфазный периметр). Прилипание частицы к пузырьку воздуха сопровождается резким уменьшением поверхностной энергии пограничных слоев и возникновением сил, стремящихся уменьшить площадь соприкосновения воды с частицей. Чем меньше смачиваемость частицы, тем больше площадь ее контакта с поверхностью пузырька газа и, следовательно, тем прочнее она прилипает к пузырьку.

Степень флотируемости частиц характеризуется величиной краевого угла смачивания, который в свою очередь зависит от молекулярных свойств реагирующих фаз:

$$I = \sigma_{ж-г} (1 - \cos \varphi),$$

где  $I$  — работа, совершаемая при слипании частицы с пузырьком, мДж/м<sup>2</sup>;  $\sigma_{ж-г}$  — поверхностная энергия (натяжение) на границе раздела фаз жидкость — газ, мДж/м<sup>2</sup>;  $\varphi$  — краевой угол смачивания, град.

Для гидрофильных частиц  $\varphi \rightarrow 0$ , при этом  $\cos \varphi \rightarrow 1$ ,  $I \rightarrow 0$ . При таких условиях прочность слипания частицы с пузырьком газа минимальная. Для гидрофобных частиц  $\varphi \rightarrow 180^\circ$ ,  $\cos \varphi \rightarrow (-1)$ ;  $I \rightarrow 2\sigma_{ж-г}$ . Прочность соединения частицы с пузырьком при этом стремится к максимуму. Величина  $(1 - \cos \varphi)$  называется мерой флотируемости  $F$ .

Эффективность флотации зависит от нескольких факторов. Важнейшими из них являются вероятность столкновения частицы с пузырьком и их прилипания друг к другу, прочность прилипания, количество и размер пузырьков, соответствие размера пузырька размеру частицы, площадь контакта частиц и пузырьков.



С увеличением количества пузырьков уменьшаются расстояния между ними и частицами, возможность их столкновения увеличивается. При одном и том же объеме газовой фазы в системе суммарная поверхность пузырьков будет тем больше, чем больше их количество и меньше размеры каждого пузырька. Однако следует учитывать, что минимальные размеры пузырьков должны быть соизмеримы с размерами частиц загрязнений, в противном случае флотокомплекс не всплывет или процесс этот будет протекать очень медленно.

Радиус пузырька газа зависит от поверхностного натяжения на границе жидкость—газ, радиуса пор при нагнетании газа в жидкость через пористые пластины или от перепада давления насыщения жидкости газом и давления, при котором происходит десорбция газа при напорной флотации:

$$r = K \sqrt[4]{r_1^2 \sigma_{ж-г}}; \quad (2)$$

$$r = 2\sigma_{ж-г}/\Delta P, \quad (3)$$

где  $r$  — радиус пузырька газа, м;  $K$  — коэффициент;  $r_1$  — радиус пор, м;  $\Delta P$  — перепад давления, МПа.

Из формул (2) и (3) видно, что радиус пузырька газа будет тем меньше, чем меньше поверхностное натяжение [13, 44, 45, 65, 77].

Обычно поверхностное натяжение сточной жидкости сравнивают с поверхностным натяжением дистиллированной воды (73 мН/м). Считают, что флотация протекает успешно при поверхностном натяжении 60—65 мН/м [21].

Поверхностное натяжение сточных вод Ленинградского мясокомбината было 54,6—69,7 мН/м. Наиболее благоприятно флотация протекала при  $\sigma_{ж-г} = 60 \div 66$  мН/м, в то время как при поверхностном натяжении 54,6 мН/м наблюдалась бурная вспениваемость. Если  $\sigma_{ж-г}$  превышало 66 мН/м, размеры пузырьков увеличивались, число их снижалось и эффективность флотации уменьшалась. Средняя величина  $\sigma_{ж-г}$  для сточных вод Выборгского мясокомбината при 20° С составляла 63,2 мН/м; флотация протекала нормально [77].

Поверхностное натяжение сточных вод снижается вследствие присутствия в них моющих средств. Как показали исследования, при температуре сточных вод выше 27° С эффективность флотации уменьшается. Таким образом, гидрофобность жировых веществ сточных вод

мясокомбинатов, наличие в них моющих средств позволяют использовать для их очистки метод флотации. Присутствие пенообразующих моющих веществ обуславливает устойчивость пены, что дает возможность удалять ее с поверхности флотатора с помощью пеногонных устройств.

В связи с тем, что жировые вещества прилипают к взвешенным частицам, находящимся в воде, и придают им гидрофобность, последние также частично флотируются.

Виды флотации различают главным образом по способам подачи газа в жидкость. Для очистки сточных вод применяют механическую, папорную, электролитическую (электрофлотация) и пневматическую флотации.

*Механическую флотацию жирсодержащих сточных вод обычно осуществляют на флотационных машинах*

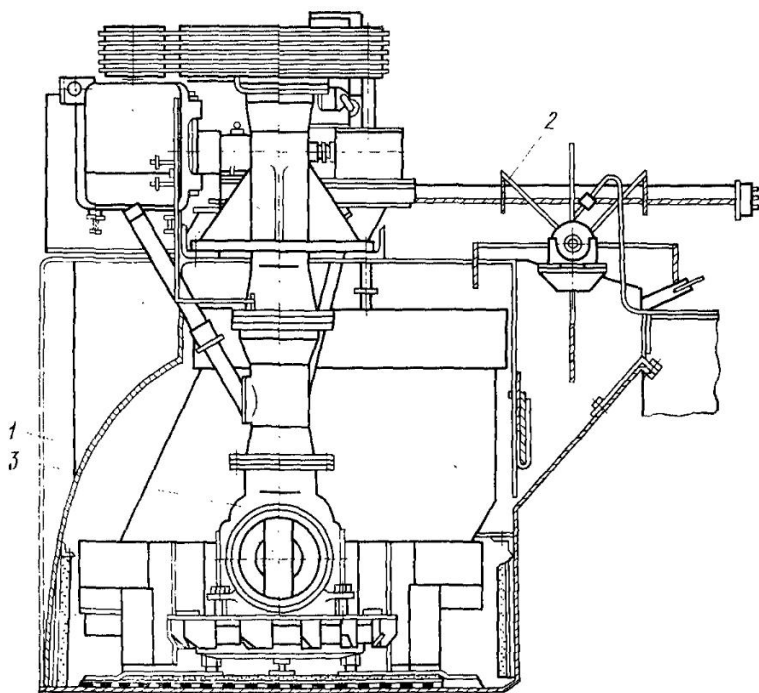


Рис. 6. Флотационная машина ФМР:

1 — камера флотации, 2 — пеногонное устройство, 3 — блок импеллера.

импеллерного типа (рис. 6). Они представляют собой квадратный в плане резервуар, в нижней части которого расположена турбинка-импеллер, соединенная приводом с электродвигателем, находящимся над флотационной машиной.

При вращении ротора импеллера возникают центробежные силы, в результате действия которых в центре импеллера образуется зона пониженного давления. В связи с этим воздух из атмосферы и сточная вода из резервуара подсасываются в центральную часть импеллера. Вращающийся импеллер диспергирует воздух, смешивает его с водой и отбрасывает смесь к периферии резервуара. Одновременно его содержимое хорошо перемешивается. Пузырьки воздуха, контактируя с жировыми частицами, образуют флотокомплексы, которые всплывают на поверхность.

Обычно флотационные машины состоят из двух и более камер, через которые жидкость протекает последовательно. Технологическая схема очистной станции колбасного завода с флотационными машинами импеллерного типа показана на рис. 7.

Пена, образующаяся в камерах машины, непрерывно удаляется с поверхности сточной воды пеногонным устройством в специальный лоток, в котором она начинает разрушаться и превращаться в жидкость — флотоконцентрат. Затем пена и образовавшийся флотоконцентрат стекают в отстойники-декантаторы. В них за 60—90 мин пена полностью разрушается, происходит расслаивание флотоконцентрата на всплывающую жиромассу, осадок и декантированную воду. Загрязненность декантированной воды жиром и взвешенными веществами больше, чем исходной, и поэтому ее вновь направляют на очистку во флотационные машины, которые рассчитывают на суммарный расход исходной и декантированной воды. Конструкция отстойника-декантатора аналогична конструкции отстойной жироловки.

Исследование применения флотационных машин импеллерного типа для очистки сточных вод мясокомбинатов и колбасного завода [17] показали, что эффективность очистки зависит от продолжительности флотации и состава сточных вод. При общей продолжительности флотации 8—10 мин эффект извлечения жиров и взвеси составляет 62 и 64, при 20 мин — соответственно 77

и 68%. Объем флотоконцентрата составлял 15—30% от расхода сточной воды. Жиромасса, собранная в отстойнике-декантаторе, имела влажность 84,8% и содержала 29,3% жира по сухому веществу. Наиболее целесообразно устанавливать последовательно от 4 до 5 флотационных машин по 2 камеры в каждой.

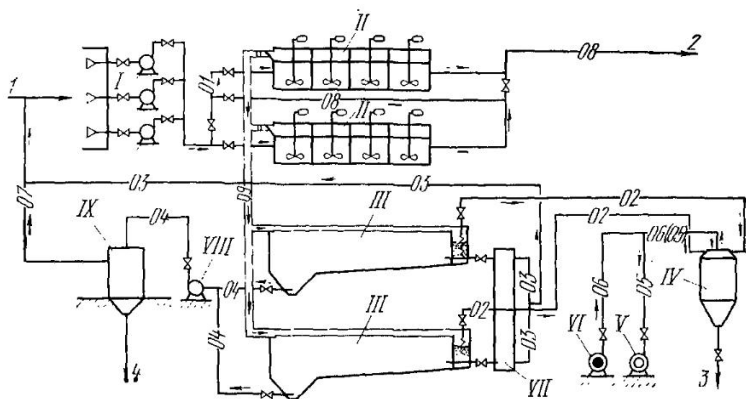


Рис. 7. Технологическая схема очистной станции колбасного завода с установкой флотационных машин импеллерного типа:

1 — трубопровод для подачи сточных вод, 2 — трубопровод для сброса сточных вод в городскую канализацию, 3 — трубопровод для подачи жиромассы на утилизацию, 4 — трубопровод для выпуска осадка, I — канализационная насосная станция, II — флотационные машины, III — отстойники-декантаторы, IV — вакуумный бункер, V — вакуумный насос, VI — компрессор, VII — резервуар для декантированной жидкости; VIII — песковой насос, IX — бункер для осадка, 01 — трубопровод, производственных сточных вод, 02 — трубопровод подачи жиромассы, 03 — трубопровод декантированной воды, 04 — трубопровод осадка, 05 — вакуумный трубопровод, 06 — воздуховод, 07 — переливной трубопровод, 08 — трубопровод очищенных сточных вод, 09 — лоток подачи флотоконцентрата.

На основании результатов исследований флотационные машины импеллерного типа были внедрены для очистки жиродержащих стоков на колбасном заводе № 2 (Ленинград) и на мясокомбинатах в городах Алитус, Выхма, Бендеры.

При работе флотационных машин импеллерного типа крупная взвесь и крупные кусочки жира не удаляются вместе с пеной. Поэтому перед флотацией рекомендуется предварительное кратковременное (30—45 мин) отстаивание сточной воды в осветлителях с естественной аэрацией или в жироловках горизонтального типа.

Флотационные машины импеллерного типа работают эффективнее, чем отстойные жироловки, но более 62—64% загрязнений практически не удаляют. Кроме того, они энергоемки — на 1 м<sup>3</sup> очищаемой сточной воды затрачивается 1,3 кВт·ч.

*Напорная флотация* основана на предварительном растворении воздуха в воде при повышенном давлении с последующим резким снятием давления. При этом происходит интенсивная десорбция газа и выделение большого количества мельчайших пузырьков. Пузырьки с прилипшими к ним частицами жира и взвеси всплывают. При наличии в воде загрязнений пузырьки газа в основном образуются на их поверхности, т. е. сразу возникает флотокомплекс. Частично пузырьки развиваются в объеме жидкости, и тогда для соединения с частицей они должны с ней столкнуться. Принципиальные схемы установок напорной флотации показаны на рис. 8 [53].

В связи со значительной загрязненностью сточных вод мясокомбинатов взвешенными веществами наиболее рациональной схемой является циркуляционная двухкаскадная (см. рис. 8, е). Это объясняется тем, что при циркуляционной схеме воздухом насыщается часть уже очищенной сточной воды и поэтому значительно снижается возможность засорения арматуры и коммуникаций воздухом насыщенной воды. Двухкаскадная схема более эффективна, чем однокаскадная.

В последнее время построен ряд очистных установок напорной флотации. Однако одни из них не работают, а другие имеют низкий эффект очистки — 50—60%. Это можно объяснить применением прямоточной схемы флотации, а также несовершенными конструкциями напорного резервуара и флотатора. К основным недостаткам конструкции относятся использование напорного резервуара барботажного типа, не обеспечивающего достаточного насыщения сточных вод воздухом; распределение сточной воды во флотаторе с помощью перфорированных труб, которые быстро забиваются жиром и взвешенными веществами.

На основании результатов исследований кафедры канализации ЛИСИ была разработана и испытана в полупроизводственном масштабе новая конструкция флотатора (рис. 9), которая обеспечивала надежную и

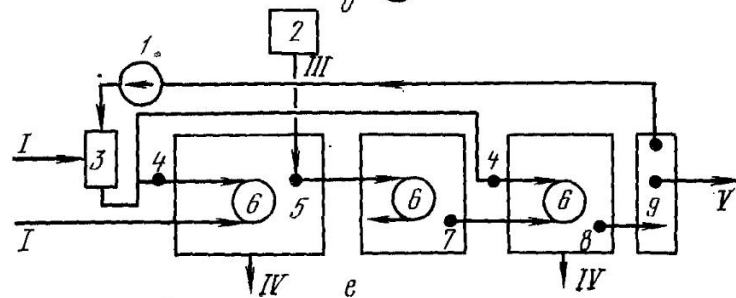
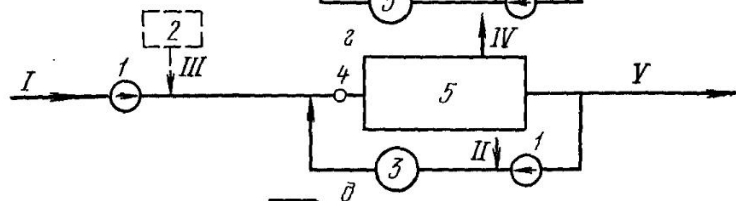
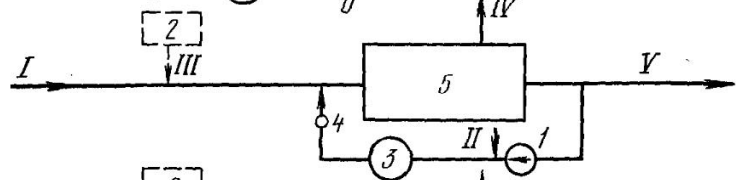
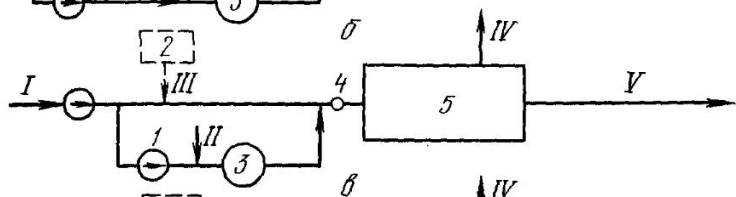
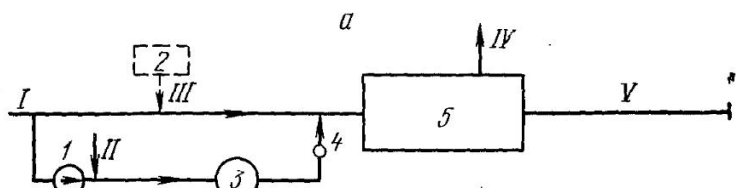
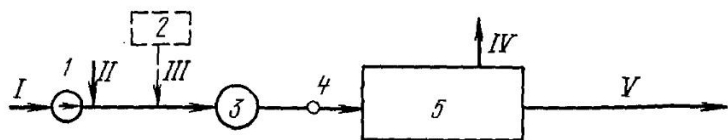


Рис. 8. Технологические схемы установок напорной флотации:

*a* — прямоточная, *б* — прямоточная с насыщением воздухом и дросселированием части расхода очищаемой воды, *в* — прямоточная с насыщением воздухом части расхода очищаемой воды и смешением под давлением насыщения, *г* — циркуляционная с насыщением воздухом и дросселированием части расхода очищенной воды, *д* — циркуляционная с насыщением воздухом части расхода очищенной воды и смешением под давлением насыщения, *е* — циркуляционная, двухкаскадная: 1 — центробежный насос, 2 — реагентное хозяйство, 3 — напорный резервуар, 4 — дросселирующее устройство, 5 — флотационный резервуар (флотатор), 6 — цилиндрические смесители, 7 — камера хлопьеобразования, 8 — флотатор второго каскада, 9 — сборник очищенной сточной воды; I — исходная вода, II — воздух, III — реагенты, IV — всплывшая масса, V — очищенная вода.

стабильную работу очистной установки. В схеме применены цилиндрические смесители-распределители очищаемой сточной воды с газонасыщенной очищенной жидкостью (рис. 10). Схема предусматривает возможность коагуляции сточной воды перед флотацией. Кроме того, в ней использована новая конструкция напорного резер-

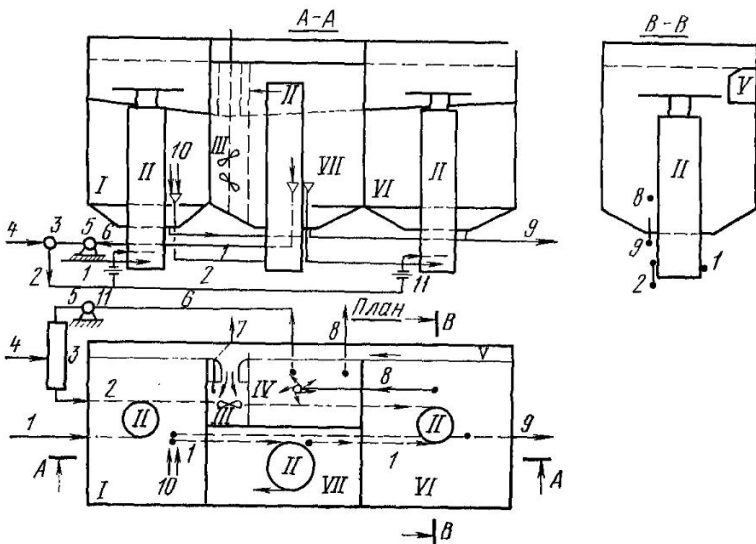


Рис. 9. Схема напорного двухкаскадного флотатора с коагуляцией и цилиндрическими смесителями-распределителями:

I — первая флотационная камера, II — цилиндрические смесители-распределители, III — камера гашения пены с мешалкой, IV — сборник очищенной сточной воды, V — лоток для пены, VI — вторая флотационная камера, VII — камера хлопьеобразования; 1 — трубопровод очищаемой сточной воды, 2 — трубопровод газонасыщенной сточной воды, 3 — напорный резервуар, 4 — трубопровод сжатого воздуха, 5 — насос, 6 — трубопровод циркулирующей жидкости, 7 — трубопровод флотоконцентрации, 8 — трубопровод очищенной сточной воды, 9 — трубопровод осадка, 10 — трубы подачи реагентов, 11 — дросселирующее устройство,

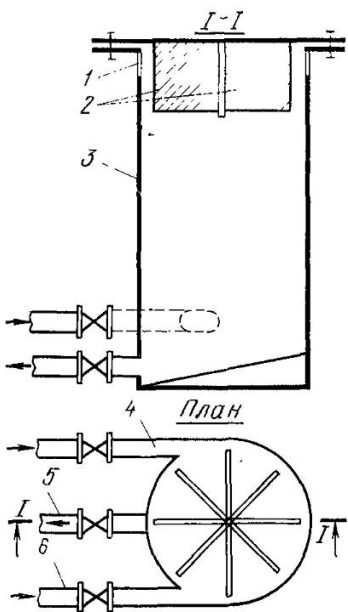


Рис. 10. Схема цилиндрического смесителя-распределителя:

1 — корпус, 2 — успокоитель-распределитель, 3 — щели выпуска жидкости, 4 — трубопровод газонасыщенной сточной воды; 5 — труба опорожнения; 6 — трубопровод очищенной сточной воды.

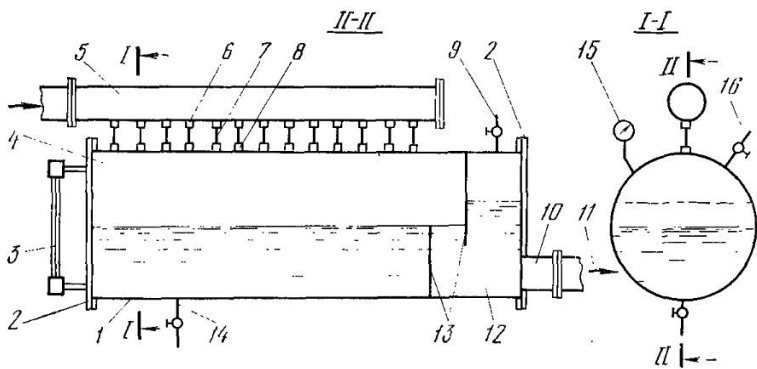


Рис. 11. Схема напорного резервуара со струйной аэрацией:

1 — корпус напорного резервуара, 2 — съемные крышки, 3 — водомерное стекло, 4 — аэрационная камера, 5 — подающая труба, 6 — штуцера в подающей трубе, 7 — соединительные съемные трубки, 8 — съемные сопла, 9 — патрубок с вентилем для продувки шлюзовой камеры, 10 — выходной патрубок, 11 — трубопровод подачи газонасыщенной сточной воды во флотатор, 12 — выходная шлюзовая камера, 13 — перегородки, 14 — патрубок с вентилем для опорожнения, 15 — манометр, 16 — патрубок с вентилем для подачи сжатого воздуха.



вуара со струйной аэрацией (рис. 11), предложенная Е. А. Стаховым [5, 54]. Благодаря применению струйной аэрации в несколько раз увеличилась скорость растворения воздуха в воде и соответственно уменьшился объем напорного резервуара. Пена разрушается в специальном резервуаре с мешалкой — пеногасителе (рис. 12).

Применение новых элементов в установках напорной флотации позволило предложить более экономичные конструктивные решения и режим работы установки. Основные параметры работы установки напорной флотации следующие: продолжительность насыщения жидкости воздухом в напорном резервуаре 0,5 мин; давление насыщения 0,4—0,6 МПа; продолжительность флотации в каждом каскаде 7—10 мин; расход циркулируемой жидкости 100% от основного расхода; глубина флотатора 1 м.

Эффект задержания загрязнений при указанных параметрах работы установки приведен в табл. 6.

Количество пены, образующейся в процессе флотации, составляет примерно 12% от расхода сточных вод; при гашении пены образуется 1,4% флотоконцентрата; при отстаивании его в отстойнике-декантаторе получается 1,2% декантированной воды. Физико-химическая характеристика получаемых продуктов приведена в табл. 7.

Перед напорной флотацией для отделения грубых взвешенных веществ и крупных частиц жира, которые не флотируются, рекомендуется проводить кратковременное отстаивание в течение 30—45 мин в осветлителях с естественной аэрацией или в жироловках горизонталь-

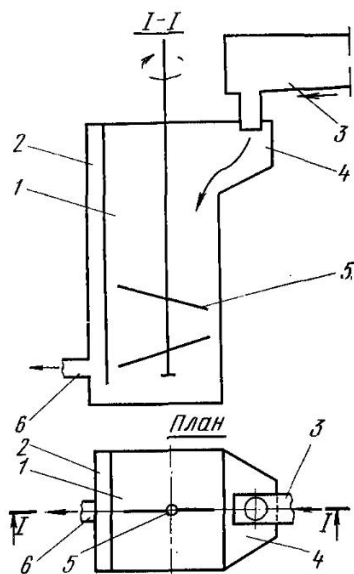


Рис 12. Схема пеногасителя:

1 — резервуар для гашения пены, 2 — камера выпуска сжиженной пены, 3 — лоток для пены, 4 — приемный карман, 5 — лопастная мешалка, 6 — патрубок для выпуска флотоконцентрата.

Таблица 6. Эффективность работы установки напорной флотации

Загрязнения	Содержание (в мг/л) загрязнений в сточных водах			
	без коагуляции		с коагуляцией	
	исходной (отстойной)	очищенной	исходной (отстойной)	очищенной
Жиры	600—1000	80—120	542,6—1060,8	10—40
		86,4—88		98—96
Взвешенные вещества	700—1200	32—100	598—1319	37—47
		95,4—91,7		93,8—96
ХПК взболтанной пробы	1768,8	696,8	1986,5	711,36
		60,8		64,4

Примечание. В знаменателе приведен эффект очистки (в %).

Таблица 7. Характеристика продуктов флотации

Продукт	Объем, % от расхода сточных вод	Содержание, мг/л		Плотность, т/м <sup>3</sup>	Влажность, %	Зольность, % от сухого вещества
		жиров	взвешенных веществ			
Флотоконцентрат	1,4	33 100	32 240	—	95	—
Жиромасса	0,18	244 800	—	0,893	62,2	1,8
Осадок	0,02	31 500	—	1,203	96,6	1,74
Декантированная вода	1,2	900	1 030	—	—	—

ного типа. Грубые взвешенные вещества к тому же часто засоряют трубы, что очень осложняет эксплуатацию установки.

Пена, получаемая при напорной флотации, разрушается медленно. Полное ее разрушение наступает через 24 ч, а при применении коагуляции — через 32 ч. Поэтому из лотка для пены ее следует направлять в пеногаситель, который представляет собой резервуар с расчетным пребыванием пены в течение 20 мин. Пеногаситель оборудован лопастной мешалкой с частотой вращения 40 мин<sup>-1</sup> (см. рис. 12). Получаемый в пеногаси-

теле флотоконцентрат направляется в отстойник-декантатор, который описан выше. При расслаивании флотоконцентрата образуются всплывающая жиромасса, декантированная вода и осадок, характеристики которых приведены в табл. 7.

В последнее время в некоторых проектах очистных установок для обезвоживания осадков сточных вод, получаемых при предварительном отстаивании и из отстойников-декантаторов, применены центрифуги. На одном из мясокомбинатов для этой цели установлена центрифуга типа НОГШ-500-4Н. Перед центрифугой осадки пропускаются через решетку-дробилку (РД-200). Производительность центрифуги по сухому веществу составляет 1,25 т/ч. Получаемый кек имеет влажность 60%. Фугат рекомендуется возвращать на очистку [17, 18].

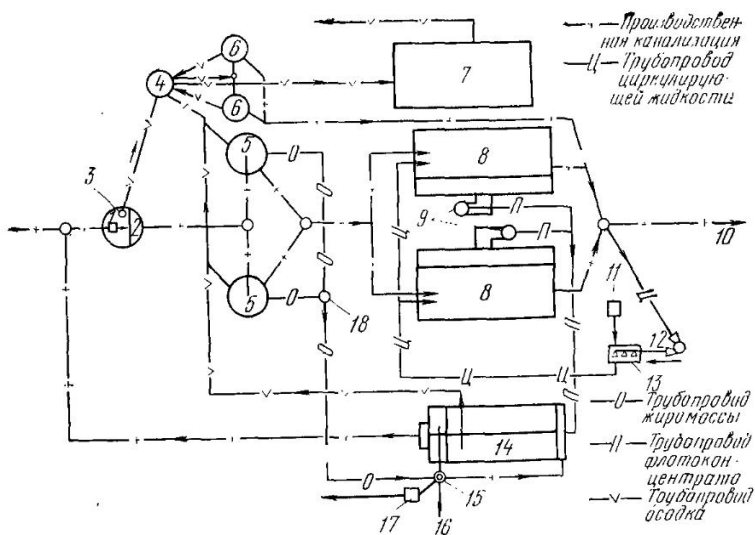


Рис. 13. Принципиальная схема очистки жиродержащих сточных вод напорной флотацией:

1 — решетка, 2 — насосная станция, 3 — дробилка, 4 — насосная станция осадков, 5 — осветлители с естественной аэрацией, 6 — осадкоуплотнители, 7 — узел сушки осадков, 8 — флотаторы, 9 — пеногасители, 10 — трубопровод выпуска очищенной сточной воды в канализационный коллектор, 11 — компрессор, 12 — циркуляционный насос, 13 — напорный резервуар, 14 — отстойник-декантатор, 15 — вакуумный бункер, 16 — трубопровод подачи жиромассы на утилизацию, 17 — вакуумный насос, 18 — колодец для сбора жиромассы из осветлителей.

Рекомендуемая схема очистки жиродержащих сточных вод напорной флотацией приведена на рис. 13.

При предварительной коагуляции сточной воды известью и сернокислым алюминием дозами, соответственно равными 100 и 90 мг/л, эффект очистки увеличивается (см. табл. 6). Крепость рабочих растворов извести и сернокислого алюминия 15%. В результате использования коагуляции объем флотоконцентрата увеличивается до 3,2%.

Технологическая схема очистной станции жиродержащих сточных вод с установкой напорной флотации производительностью 1200 м<sup>3</sup>/сут приведена на рис. 14.

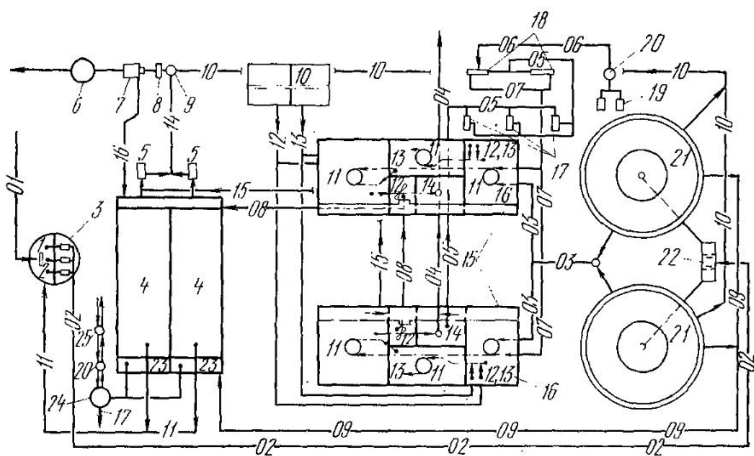


Рис. 14. Технологическая схема очистной станции жиродержащих сточных вод с установкой напорной флотации производительностью 1200 м<sup>3</sup>/сут:

1 — канализационная решетка, 2 — приемный резервуар, 3 — насосная станция, 4 — отстойники-декантаторы, 5 — песковые насосы, 6 — бункер обезвоженного осадка, 7 — центрифуга, 8 — решетка-дробилка, 9 — смкоть для осадка, 10 — реагентное хозяйство, 11 — смесители-распределители, 12 — пеногасители, 13 — камеры хлопьеобразования, 14 — сборник очищенной воды, 15 — лотки для пены, 16 — флотаторы, 17 — насосы, 18 — напорные резервуары, 19 — компрессор, 20 — ресиверы, 21 — осветлители с естественной аэрацией, 22 — распределительная камера, 23 — бункера жиромассы, 24 — вакуум-бункер для жиромассы, 25 — вакуумный насос; 01 — заводской канализационный коллектор, 02 — напорный трубопровод, 03 — трубопровод осветленной сточной жидкости, 04 — трубопровод очищенной сточной жидкости, 05 — трубопровод циркулирующей сточной жидкости, 06 — воздухопровод, 07 — трубопровод газонасыщенной сточной жидкости, 08 — трубопровод флотоконцентрата, 09 — трубопровод всплывающей в осветлителях жиромассы, 10 — трубопровод осадка, 11 — трубопровод деkantированной воды, 12, 13 — трубы подачи реагентов, 14 — напорный трубопровод осадка, 15 — трубопровод опорожнения, 16 — трубопровод фугата, 17 — жиромасса на утилизацию.

Схема предусматривает возможность применения коагуляции.

*Электрофлотацию* осуществляют, пропуская постоянный электрический ток через воду. При этом в результате электролиза воды на электродах выделяются водород и кислород в виде мельчайших пузырьков, которые переходят в жидкость и флотируют загрязнения.

Наличие солей увеличивает электропроводность воды и делает процесс экономически целесообразным. Кроме того, попутно происходит электролиз поваренной соли, содержащейся в сточной воде мясокомбинатов, в результате которого выделяется активный хлор. В итоге дальнейших химических реакций получают ионы  $OCI^-$  и атомарный кислород. Дополнительно атомарный кислород образуется и при электролизе воды. Благодаря высоким окислительным свойствам атомарного кислорода и иона  $OCI^-$  осуществляется окисление органических веществ, в том числе бактерий, находящихся в воде, что приводит к обеззараживанию сточной воды. Окислительными процессами, сопутствующими электрофлотации, объясняется и снижение ХПК очищаемых сточных вод.

Ниже приведены основные результаты исследований, проведенных кафедрой канализации ЛИСИ [67, 77] и другими исследовательскими организациями [8, 29, 31, 32, 48], по использованию электрофлотации для очистки сточных вод мясокомбинатов. Схема электрофлотационной жироловки для очистки жирсодержащих сточных вод показана на рис. 15.

Исследования проводили на лабораторном электрофлотаторе, схема которого приведена на рис. 16. Электродами служили пластинки или сетки из нержавеющей стали марки Х18Н9Т (катод) и пластины из графита марки Г-4 толщиной 20—40 мм (анод). В настоящее время разработаны анодные электроды ОРТА, которые характеризуются по сравнению с электродами из графита большей долговечностью и меньшей толщиной (1—2 мм). Они представляют собой титановые пластины, покрытые двуокисью рутения и титана. Более дешевыми, но не столь долговечными являются титановые аноды, покрытые оксидами кобальта и марганца. Расстояние между электродами — 15 мм.

Существующие установки для электрофлотации работают с горизонтальным, восходящим и нисходящим движением очищаемой жидкости. Исследования, проведенные ЛИСИ [67, 77], показали, что при восходящем потоке происходит вынос из установки уже сфлотиро-

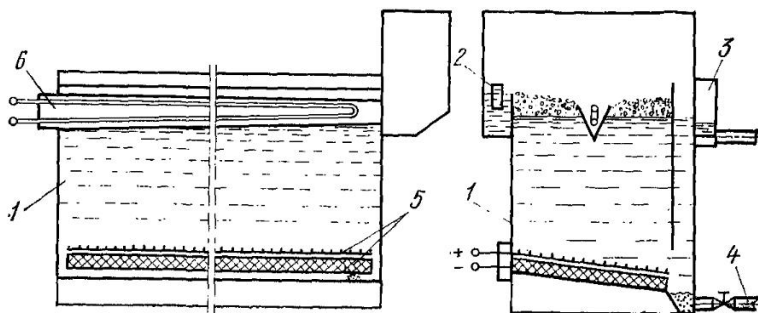


Рис. 15. Схема электрофлотационной жироловки:

1 — корпус жироловки, 2 — приемное отверстие, 3 — лоток для отвода очищенной воды, 4 — трубопровод опорожнения, 5 — электродный блок, 6 — лоток с нагревателем для отвода и разрушения пены.

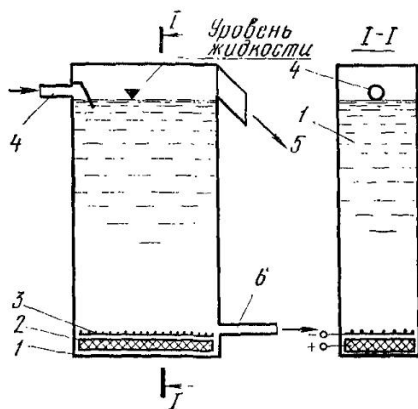


Рис. 16. Схема лабораторного электрофлотатора:

1 — корпус флотатора, 2 — графитовый анод, 3 — сетчатый катод из нержавеющей стали, 4 — трубопровод исходной воды, 5 — лоток отвода пены, 6 — трубопровод очищенной воды.

ванных загрязнений. При нисходящем потоке выноса флотокомплексов не происходит, однако применение такой схемы влечет за собой увеличение высоты флотатора по сравнению с его высотой с горизонтальным потоком, что, как будет показано ниже, уменьшает эф-

фективность его работы. В связи с этим целесообразнее применять установки с горизонтальным потоком жидкости.

Основными факторами, влияющими на процесс флотации, являются плотность тока на электродах, концентрация солей, главным образом NaCl, и продолжительность процесса, второстепенными — pH, температура и толщина слоя воды. Показатели, характеризующие работу электрофлотационных установок, приведены ниже [67, 68, 77].

Плотность тока на электродах, А/м <sup>2</sup>	150
Продолжительность процесса, мин	15
Высота рабочего слоя воды в установке, м	0,8—1,1
Исходная концентрация, мг/л	
жиров	520
взвешенных веществ	1000
ХПК	1660
Эффект очистки, %	
по жирам	80
по взвешенным веществам	74
по ХПК	55
pH	6,5—7,5
Температура, °С	15—25
Объем флотоконцентрата, % от расхода воды	1,5
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м <sup>3</sup>	0,45
Эффект обеззараживания (коли-индекс), %	90—99

Было установлено, что увеличение плотности тока на электродах до 150 А/м<sup>2</sup> повышает эффект очистки. При дальнейшем увеличении плотности тока эффект очистки уменьшается (рис. 17, а). Это объясняется чрезмерно большим выделением пузырьков газа, интенсивным перемешиванием жидкости и коалесценцией пузырьков. Кроме того, из-за интенсивного перемешивания пена частично увлекается обратно в жидкость. Таким образом, оптимальная плотность тока на электродах 150 А/м<sup>2</sup>.

Зависимость эффекта очистки сточных вод от продолжительности их обработки показана на рис. 17, б. Из графиков видно, что оптимальной продолжительностью можно считать 15 мин. Дальнейшее ее увеличение почти не повышает эффекта, но значительно увеличивает расход электроэнергии.

Зависимость эффекта очистки сточных вод от pH, концентрации хлоридов и высоты рабочего слоя жидко-

сти в установке электрофлотации показана на рис. 18. Увеличение рН снижает эффект очистки. При низких рН наблюдаются самокоагуляция мельчайших частиц загрязнений и их укрупнение, в результате чего общий эффект очистки повышается.

Вследствие электролиза хлоридов в воде появляется атомарный кислород, который интенсивно окисляет ор-

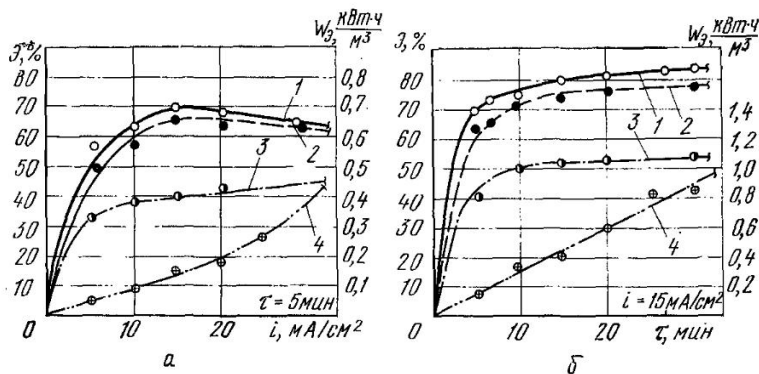


Рис. 17. Зависимость эффекта очистки сточных вод электрофлотацией от анодной плотности тока (а) и продолжительности обработки сточных вод (б):

1 — жиры, 2 — взвешенные вещества; 3 — ХПК, 4 — расход электроэнергии.

ганические вещества и способствует коагуляции мелких частиц. Поэтому с увеличением концентрации хлоридов повышается общий эффект очистки. Заметное влияние увеличения концентрации ионов хлора на эффект очистки практически заканчивается при концентрации ионов 1200 мг/л. Дальнейшее увеличение концентрации приводит к накапливанию в воде активного хлора и к необходимости последующего дехлорирования, что значительно усложняет схему очистки. В сточных водах мясокомбинатов, в том числе в жирсодержащих стоках, содержится 500—1800 мг/л хлоридов. Следовательно, электрофлотационную очистку таких стоков можно проводить, не добавляя хлоридов.

Увеличение высоты рабочего слоя воды приводит к увеличению толщины слоя пены на поверхности электрофлотатора. Нижняя часть слоя пены разрушается бы-



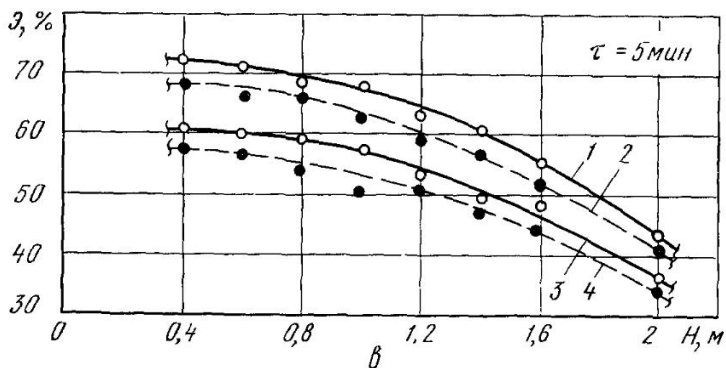
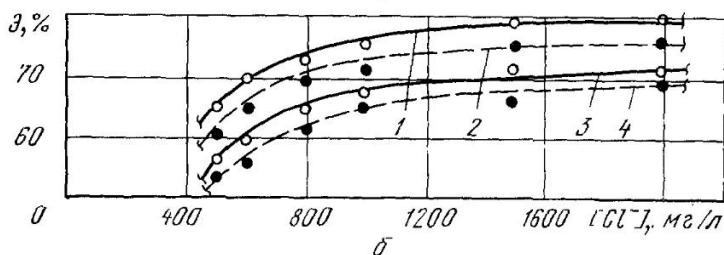
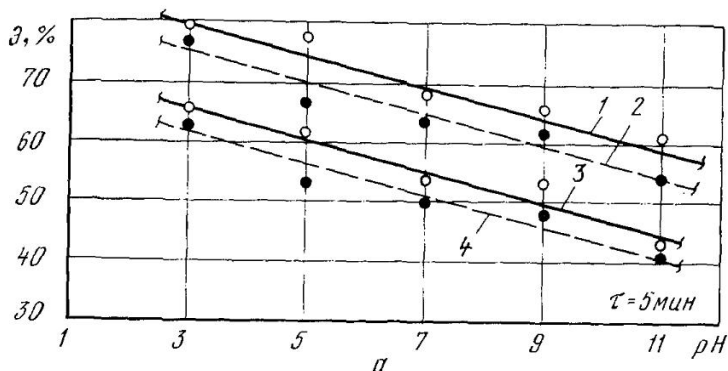


Рис. 18. Зависимость эффекта очистки сточных вод от жира и взвешенных веществ электрофлотацией от pH среды (а), от концентрации хлоридов (б) и от высоты рабочего слоя воды (в):

1 — жиры, ( $i=15$  мА/см<sup>2</sup>), 2 — взвешенные вещества ( $i=15$  мА/см<sup>2</sup>), 3 — жиры ( $i=7$  мА/см<sup>2</sup>), 4 — взвешенные вещества ( $i=7$  мА/см<sup>2</sup>).

стрее, чем она удаляется из установки, и загрязнения вновь поступают в воду. В результате эффект очистки сточных вод снижается.

Работу электрофлотатора исследовали в интервале температур воды от 15 до 25° С. При этом не было замечено влияния температуры на эффект очистки. Получаемая при электрофлотации пена разрушается в течение 15—30 мин и превращается в флотоконцентрат влажностью 95—98% [67, 77].

Из приведенных данных следует, что очистка сточных вод мяскокомбинатов электрофлотацией является эффективной, но в очищенной воде еще остается значительное количество загрязнений: жиров 100—300 мг/л, взвешенных веществ 200—400 мг/л, ХПК 700—1000 мг/л.

Очистка жиродержащих сточных вод электрофлотацией пока не получила достаточного распространения из-за проектных недоработок конструкции электрофлотатора.

*Пневматическую флотацию* осуществляют, вводя под напором воздух в жидкость и диспергируя его с помощью пористых материалов. Разновидность пневматической флотации — пенная сепарация, которая отличается от других видов флотации тем, что очищаемая сточная вода сверху подается во флотатор на уже сформированный в результате барботирования воздуха пенный слой. Флотируемые частицы загрязнения удерживаются в пене, причем задерживаются как гидрофобные частицы, так и часть гидрофильных, обладающих хлопьевидной структурой и развитой поверхностью.

Навстречу очищаемой жидкости движется поток тонко диспергированного воздуха, который создает пенный слой, обеспечивает необходимую для образования флотокомплексов продолжительность пребывания частиц загрязнений в пене. Попадая в пенный слой, частицы загрязнений закрепляются не только на поверхности пузырьков воздуха, но и на поверхности гидрофобных частиц, которые уже ранее закрепились на воздушных пузырьках. В результате создается развитая поверхность пены, которая позволяет сократить продолжительность флотации.

В машинах пенной сепарации по сравнению с флотационными машинами импеллерного типа отсутствуют центробежные силы, способные разрушать уже сформир-

рованные флотокомплексы. Кроме того, в машинах пенной сепарации флотокомплексы при подъеме на поверхность преодолевают слой воды толщиной только 0,4 м, а в импеллерных — 1,5 м, что тоже может вызывать их разрушение.

Воздух в жидкость подается воздуходувкой. В качестве аэраторов используют специальные перфорированные

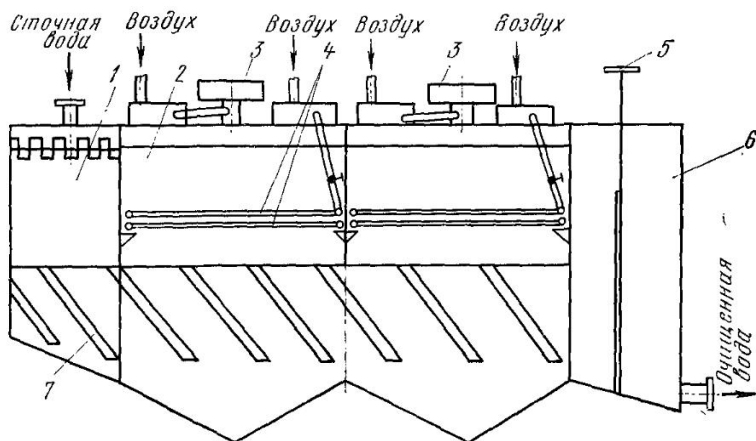


Рис. 19. Схема машины пенной сепарации ФП-16:

1 — приемный карман, 2 — рабочая камера, 3 — эрлифты, 4 — аэраторы (резиновые перфорированные трубки), 5 — шиббер, 6 — разгрузочный карман, 7 — направляющие пластины.

ные резиновые трубки, собранные в кассеты. Трубки расположены по высоте в два ряда. Схема машины пенной сепарации ФП-16, применяемая в обогатительной промышленности, показана на рис. 19.

Расчеты показывают, что приведенные затраты на пенную сепарацию составляют около половины таких затрат на флотацию во флотационных машинах импеллерного типа [10, 26, 28, 36].

В ЛИСИ проводили исследования по определению эффективности производственных машин пенной сепарации ФП-16 при использовании их для очистки жирсодержащих сточных вод мясокомбината [15]. Сточная вода подавалась в приемный карман машины после решетки без предварительного отстаивания. В результате проведенного исследования на двухкамерной (двухсту-

пенчатой) машине был разработан оптимальный режим работы и определен эффект очистки.

Продолжительность сепарации в одной ступени — 3,5 мин, а в двух ступенях — 7 мин при расходе сточных вод 1 м<sup>3</sup>/мин, расходе воздуха 6 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> сточных вод и интенсивности аэрации 134 м<sup>3</sup>/ч. Давление воздуха в трубках аэратора составляло 0,045 МПа, расход флотоконцентрата — 12% от расхода воды. Эффект очистки приведен в табл. 8.

Таблица 8. Эффективность работы машины пенной сепарации ФП-16 (двухкамерной)

Загрязнения	Концентрация, мг/л		Эффект очистки, %
	в исходной жидкости	в очищенной воде	
Жиры	5109	173,6	97,2
Взвешенные вещества	6892	181,4	97

Во флотоконцентрате содержалось жиров 14 380 мг/л, взвешенных веществ — 16 850 мг/л. В декантированной воде после отстаивания в течение 45 мин оставалось жиров 1290 мг/л, взвешенных веществ — 1062 мг/л. Влажность всплывавшей жиромассы составляла 80,6%, содержание жиров в пересчете на сухое вещество — 74,4%. Количество жиромассы составляло 3,5 л/м<sup>3</sup> сточной воды, а количество осадка — 0,027 л/м<sup>3</sup>.

Лабораторные исследования трехступенчатой установки (рис. 20) пенной сепарации на сточной воде, содержащей жиров 611 мг/л и взвешенных веществ 716 мг/л, показали, что остаточные концентрации жиров и взвешенных веществ могут быть меньше 100 мг/л. Расход флотоконцентрата увеличивался до 38,8% от расхода сточных вод. Уплотнение флотоконцентрата путем перечистки на машине пенной сепарации снижает его расход до 3,9%. При этом в нем содержится жиров до 14 210 мг/л и взвешенных веществ до 16 750 мг/л.

Удельные затраты энергии в машинах пенной сепарации составляют 0,55 кВт·ч/м<sup>3</sup>, в то время как во флотомашинах импеллерного типа — 1,3 кВт·ч/м<sup>3</sup>. Машины пенной сепарации могут найти применение для очистки

жиродержащих сточных вод мясокомбинатов при расходах до 9000 м<sup>3</sup>/сут.

**Электрокоагуляция.** Она заключается в пропускании постоянного электрического тока через сточную воду, причем в качестве электродов применяют металлические

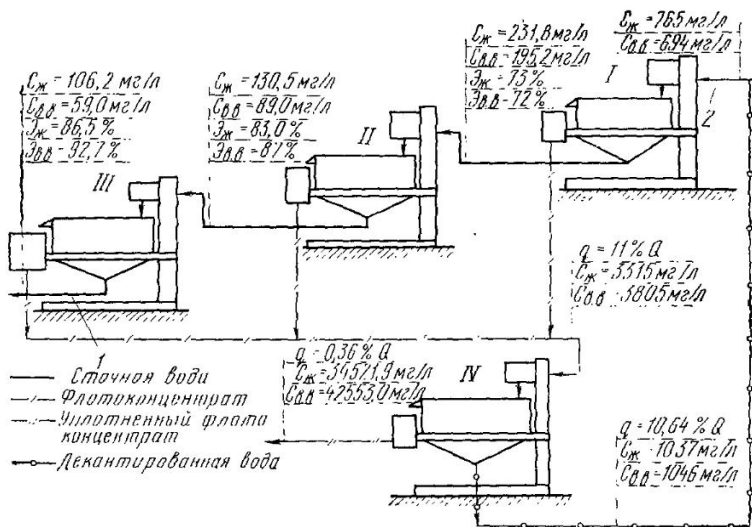


Рис. 20. Технологическая схема лабораторной трехступенчатой очистной установки машины пенной сепарации с перемычкой флотоконцентрата на отдельной машине пенной сепарации:

1, II, III — первая, вторая и третья ступени машины пенной сепарации для очистки сточной воды, IV — машина пенной сепарации для перемычки флотоконцентрата; 1 — очищенная сточная вода; 2 — исходная сточная вода;  $C_{ж}$ ,  $C_{в.в.}$  — соответственно концентрация жиров и взвешенных веществ;  $\text{Э}_{ж}$ ,  $\text{Э}_{в.в.}$  — соответственно эффект изъятия жиров и взвешенных веществ;  $Q$  — расход сточной воды,  $q$  — расход флотоконцентрата.

растворимые электроды. Под воздействием электрического тока ионы металла переходят в сточную воду. В воде ионы металла подвергаются гидролизу с образованием гидроокиси. Хлопья гидроокиси сорбируют частицы загрязнений, в том числе коллоидные.

Процесс коагуляции может интенсифицироваться находящимися в растворе анионами. Например, анионы  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  способствуют коагуляции положительно заряженных частиц.

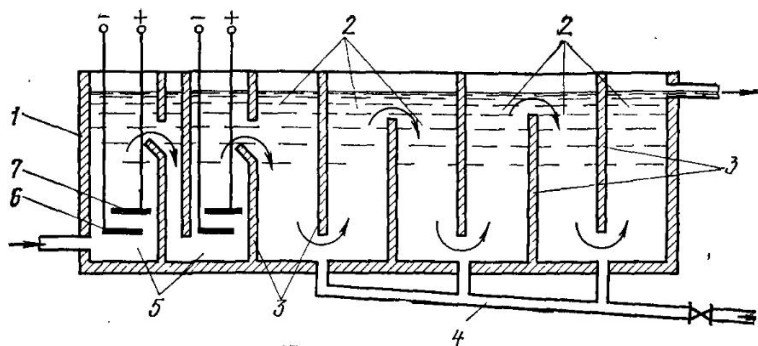


Рис. 21. Схема двухступенчатого электрокоагулятора с камерами отстаивания:

1 — корпус, 2 — камеры осветления сточной жидкости, 3 — перегородки, 4 — труба для выпуска осадка, 5 — камера электрокоагуляции, 6 — перфорированные катоды, 7 — перфорированные аноды.

Процессу электрокоагуляции сопутствует процесс флотации, так как в результате электролиза воды одновременно выделяются газообразные кислород и водород. Хлопья гидроокиси металла с сорбированными загрязнениями, сталкиваясь с пузырьками газа, соединяются с ними и всплывают на поверхность жидкости. Некоторые частицы загрязнений, имеющие хлопьевидную структуру, могут самокоагулировать друг с другом, тем самым увеличивая эффект гетерокоагуляции всей системы [56, 65]. Результаты исследований свидетельствуют, что при электрокоагуляции происходит более глубокая очистка сточных вод от жира и взвешенных веществ, чем при электрофлотации [8, 31, 32].

Для отделения хлопьев коагулянта с сорбированными загрязнениями применяли последующее отстаивание или электрофлотацию.

И. В. Герасимов [8] разработал конструкцию электрокоагулятора с последующим отстаиванием (рис. 21); Б. М. Матов — конструкцию электрокоагулятора с последующей электрофлотацией (рис. 22).

При плотности тока на анодных электродах 160—240 А/м<sup>2</sup> эффект очистки сточных вод мясокомбината по взвешенным веществам составил 97% [29]. В ЛИСИ проводили исследования по очистке сточных вод мясокомбината на опытной установке электрокоагуляции с

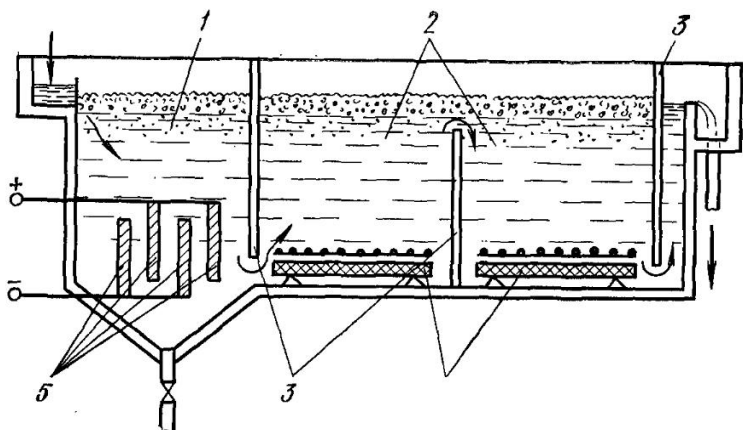


Рис. 22. Схема электрокоагулятора с двухсекционной камерой электрофлотации:

1 — камера электрокоагуляции, 2 — камеры электрофлотации, 3 — перегородки, 4 — блоки нерастворимых электродов, 5 — блок растворимых электродов.

дюралюминиевыми (Д-16А) и железными электродами. Схема электрокоагулятора показана на рис. 23 [67, 77]. Для равномерного растворения электродов периодически производили их переполюсовку. Поскольку электрокоагуляции сопутствует электрофлотация, то часть хлопьев коагулянта с сорбированными загрязнениями всплывала в виде пены и удалялась с поверхности в лоток для пены. Последующее выделение загрязнений производили методом отстаивания. Оптимальная продолжительность отстаивания 30 мин. При этом хлопья всплывали на поверхность отстойника. Уменьшение продолжительности отстаивания приводило к повышенному выносу загрязнений, а увеличение вызывало разрушение всплывшего слоя хлопьев. При этом загрязнения возвращались в жидкость и эффект очистки снижался. Исследовали биполярную и монополярную схемы подключения электродов к источнику постоянного тока. Полученные результаты по изъятию жиров и взвешенных веществ были практически одинаковыми. ХПК снижалась эффективнее при использовании монополярной схемы, чем при использовании биполярной схемы. Оптимальному режиму работы установки с дюралюминиевыми электродами соответствовали плотность тока

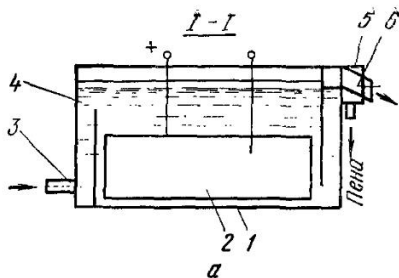


Рис. 23. Схема электрокоагулятора с монополярным соединением электродов:

*a* — электрокоагулятор, *б* — схема соединения электродов; 1 — корпус, 2 — электроды, 3 — трубопровод исходной сточной воды, 4 — распределительная камера, 5 — лоток для пены, 6 — лоток очищенной воды.

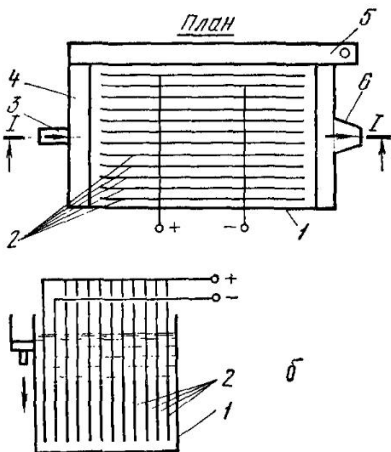
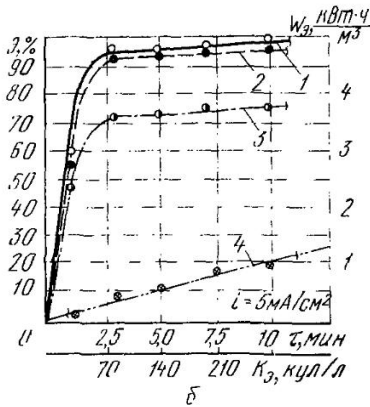
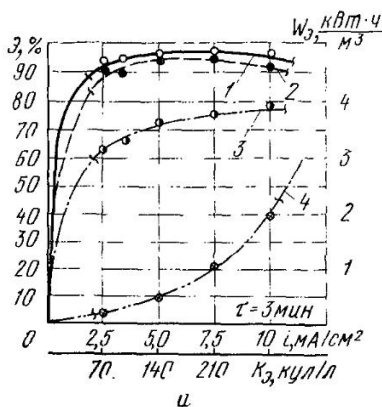


Рис. 24. Зависимость эффекта очистки сточных вод электрокоагуляцией с монополярным соединением дюралюминиевых электродов:

*a* — от плотности тока на анодных электродах; *б* — от продолжительности обработки стоков; 1 — жиры, 2 — взвешенные вещества, 3 — ХПК, 4 — расход электроэнергии.





на анодных электродах  $i=35$  А/м<sup>2</sup>, продолжительность протекания жидкости  $t=3$  мин, продолжительность отстаивания 30 мин. При этом эффект очистки по жиру, взвешенным веществам и ХПК соответственно был равен 95,4; 94,9 и 71%, остаточные концентрации не превышали соответственно, 30; 60 и 700 мг/л.

В случае применения железных электродов эффект очистки снижался примерно на 30%, но при повышенной плотности тока (150 А/м<sup>2</sup>) получали аналогичные результаты. Это объясняется тем, что для образования эффективно действующей гидроокиси железа  $Fe(OH)_3$  в воде должно содержаться достаточное количество растворенного кислорода. Для этого необходимо увеличить плотность тока, чтобы интенсифицировать процесс электролиза воды. Результаты этих исследований представлены на рис. 24.

Пена, получаемая при электрокоагуляции, имеет высокую стойкость. При отстаивании она разрушается через 24 ч. Объем флотоконцентрата при установке дюралюминиевых электродов составлял 6% от расхода сточных вод, при установке железных — 10%. Влажность полученного флотоконцентрата была соответственно равна 80 и 90%.

В процессе электрокоагуляции происходит нагревание воды (при дюралюминиевых электродах на 3°С, при железных — на 6°С). Эффективность электрокоагуляции зависит от присутствия в растворе хлоридов. Достаточной концентрацией ионов хлора можно считать 800—1000 мг/л.

Эффективность процесса электрокоагуляции зависит от рН среды. Для дюралюминиевых электродов оптимальный рН 4,5—7,5, для железных  $>7$ . Если  $pH < 4,5$ ,  $Al^{+3}$  гидролизует не полностью. При  $pH > 7,5$  образуются растворимые алюминаты  $(AlO_2)^-$ . И то и другое снижают эффект очистки. Для железных электродов при  $pH < 7$  не происходит гидролиза ионов железа. Зависимость эффекта очистки от рН и концентрации хлоридов показана на рис. 25 и 26. Таким образом, электрокоагуляция является эффективным методом очистки сточных вод мясокомбинатов.

В целях экономии листового металла, используемого при изготовлении электродов, были предприняты попытки делать их из металлических отходов, например

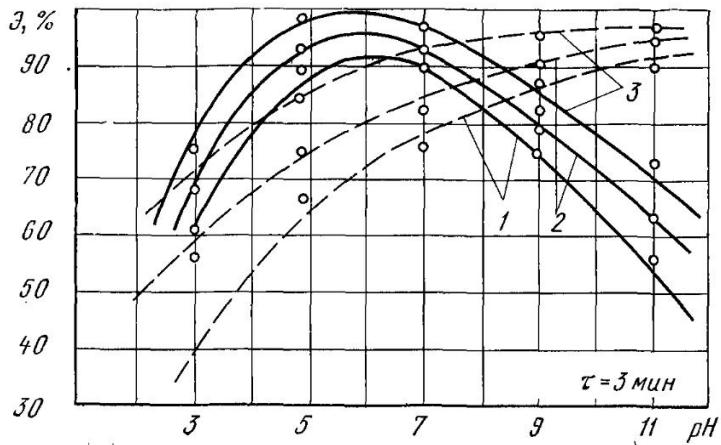


Рис. 25. Зависимость эффекта изъятия жира и взвешенных веществ электрокоагуляцией от pH среды при плотности тока  $i$  (в mA/cm<sup>2</sup>) на анодных электродах:  
 1 —  $i=3,5$ , 2 —  $i=5$ , 3 —  $i=7,5$  (сплошные линии — дюралюминиевые электроды, пунктирные — железные).

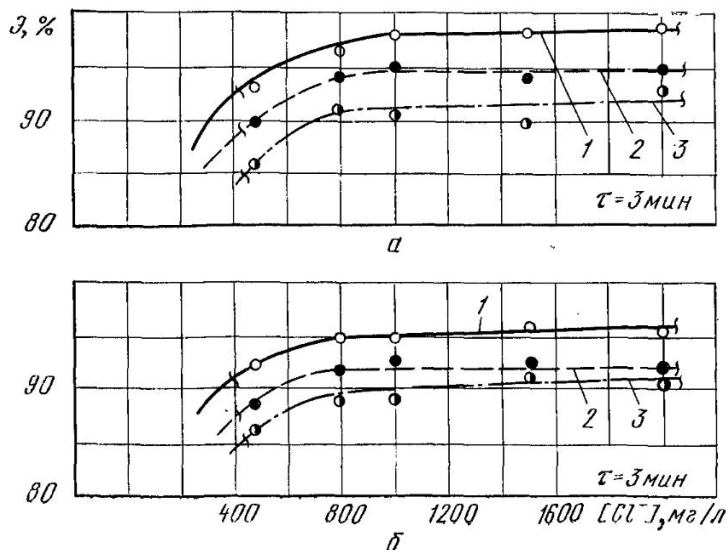


Рис. 26. Зависимость эффекта изъятия жира и взвешенных веществ электрокоагуляцией с дюралюминиевыми (а) и железными (б) электродами от концентрации хлоридов при плотности тока  $i$  (в mA/cm<sup>2</sup>) на анодных электродах:  
 1 —  $i=7,5$ ; 2 —  $i=5$ ; 3 —  $i=3,5$ .

из металлических стружек [43, 79, 80]. Однако при плотности тока более  $4 \text{ мА/см}^2$  эти электроды выходили из строя. Поры забивались гидроокисью металла, нарушались контакты между отдельными зернами загрузки, увеличивалось сопротивление всей электродной системы.

**Электрофлотокоагуляция.** Она заключается в очистке сточных вод комбинированным методом, включающим электрокоагуляцию и флотацию. В целях экономии затрат электроэнергии и расхода металлических электродов в последнее время был разработан ряд аппаратов электрофлотокоагуляции. Выше уже была упомянута установка, предложенная Б. М. Матовым (см. рис. 20) [29]. Аналогичные схемы установок были предложены А. И. Мацневым и В. М. Роговым [31, 32, 48]. А. И. Мацнев и В. М. Рогов занимались вопросом очистки сточных вод меховых фабрик и кожевенных заводов методом электрокоагуляции — флотации. Эффект очистки стоков по взвешенным веществам достигал 95%, сульфидам — 99, хрому — 98 и БПК<sub>5</sub> — 80%. При этом расход электроэнергии составлял 1—1,5 кВт·ч/м<sup>3</sup>. Известны и другие конструкции комбинированных аппаратов электрофлотации и электрокоагуляции [11, 12]. На кафедре канализации ЛИСИ была исследована установка ЭФК-У для очистки сточных вод мясокомбинатов методом электрофлотокоагуляции [50, 67, 68, 77].

Установка представляет собой трехкамерный резервуар общим объемом 2 м<sup>3</sup> и пропускной способностью сточных вод 8 м<sup>3</sup>/ч. Первая камера — электрофлотор — оборудована нерастворимыми электродами, вертикально установленными пластинами из нержавеющей стали Х18Н9Т и графита Г-4. Вторая камера — электрокоагулятор. В ней смонтированы растворимые электроды из вертикально поставленных дюралюминиевых пластин Д-16А. Для сбора крупных оседающих частиц между первой и второй камерами устроен приямок в виде треугольной призмы. Третья камера — электрофлотор с горизонтально расположенными электродами — графитовая пластина и сетка из нержавеющей стали (рис. 27). В первой камере флотацией удалялось основное количество загрязнений, которые хорошо флотируются. Во второй камере сточная жидкость коагулировалась гидроокисью алюминия, а с помощью сопутствующей флотации из воды извлекались хлопья с сорбиру-

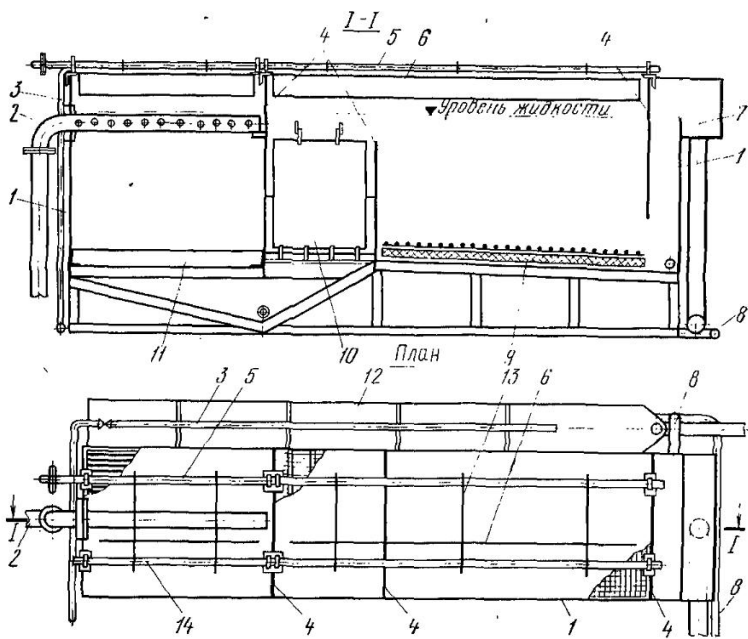


Рис. 27. Схема полупроизводственной электрофлотокоагуляционной установки (ЭФК-У):

1 — корпус аппарата, 2 — подающий распределительный трубопровод, 3 — напорный дырчатый трубопровод для побуждения движения пены по лотку, 4 — перегородки между камерами, 5 — ведущий вал пеногона, 6 — скребки пеногона, 7 — треугольный водослив на выходе из установки, 8 — трубопровод опорожнения, 9 — электродный блок третьей электрофлотационной камеры (анод графитовый, катод — сетка из нержавеющей стали), 10 — электродный блок второй электрокоагуляционной камеры (аноды и катоды из дюралюминия), 11 — электродный блок первой электрофлотационной камеры (аноды графитовые, катоды из нержавеющей стали), 12 — лоток для пены, 13 — цепи для крепления скребков пеногона, 14 — ведомый вал пеногона.

ванными загрязнениями. В третьей камере протекала окончательная очистка с помощью флотации мелких хлопьев, которые не успели всплыть во второй камере.

Пена с поверхности всей установки непрерывно сгонялась пеногонным устройством в лоток. Межэлектродное пространство составляло 15 мм. Питание электродных блоков осуществлялось постоянным током автономно для каждой камеры.

Перед ЭФК-У сточные воды мясокомбината подвергались механической очистке на решетках, в песколов-

ке и двухъярусных отстойниках. Опытная ЭФК-У была смонтирована на действующей очистной станции мясокомбината, работающей с перегрузкой. В результате этого общая продолжительность пребывания воды в песколовке и отстойниках не превышала 30 мин. На ЭФК-У поступала сточная жидкость, содержащая жиров 300—1000 мг/л, взвешенных веществ 500—2000 мг/л, а ХПК ее составляла 1000—3000 мг/л.

На основании проведенных лабораторных исследований в первой и третьей камерах плотность тока на анодных электродах  $i_1 = 50 \text{ А/м}^2$  и  $i_3 = 150 \text{ А/м}^2$  поддерживалась постоянной в пересчете на горизонтальную площадь камеры. Во второй камере плотность тока  $i_2$  варьировали от 0 до  $50 \text{ А/м}^2$ . Продолжительность обработки сточной воды в камерах изменяли в следующих пределах:  $t_1 = 3 \div 10$ ,  $t_2 = 2 \div 5$  и  $t_3 = 4 \div 15$  мин, общая продолжительность  $t_0 = 6 \div 25$  мин. При этом производительность аппарата была  $4,8\text{—}20 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Зависимость эффекта очистки сточной воды от изменения плотности тока во второй камере и общей продолжительности обработки приведена на рис. 28.

При  $t_0 > 15$  мин эффект удаления жиров и взвешенных веществ практически не увеличивался. Однако сни-

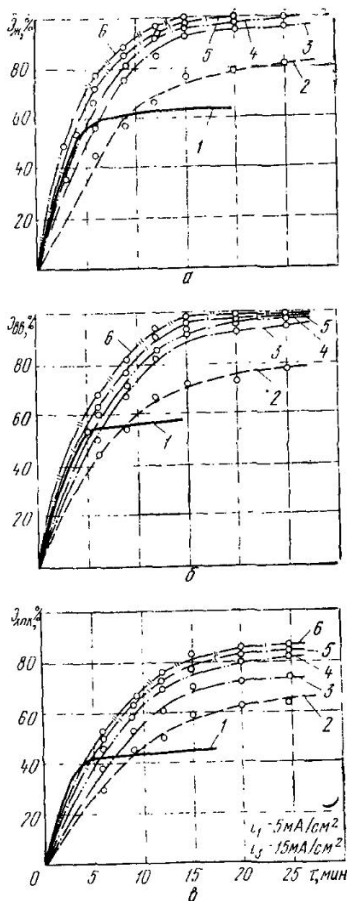


Рис. 28. Зависимость эффекта удаления жира (а), взвешенных веществ (б) и снижения ХПК (в) от продолжительности обработки сточных вод на ЭФК-У при плотности тока  $i$  (мА/см<sup>2</sup>) на анодных электродах:

1 —  $i_2 = 0$ ; 2 —  $i_2 = 0,5$ ; 3 —  $i_2 = 1,5$ ;  
4 —  $i_2 = 2,5$ ; 5 —  $i_2 = 3,5$ ; 6 —  $i_2 = 5$ .

жение величины ХПК продолжалось с увеличением  $t_2$  и  $t_0$ , так как органические вещества, по-видимому, окислялись в процессе электролиза сточных вод.

В очищенной воде концентрация алюминия колебалась от 0,1 до 2 мг/л. Расход электроэнергии и дюралюминиевых электродов зависел от плотности тока и продолжительности обработки воды (рис. 29). Удельные

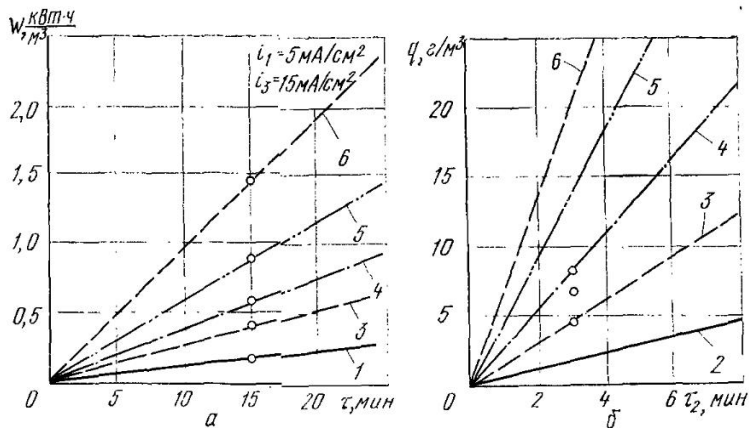


Рис. 29. Зависимость удельного расхода электроэнергии (а) и удельного расхода металла (б) от продолжительности обработки сточных вод во второй камере и от продолжительности обработки сточных вод ЭФК-У при плотности тока  $i$  (в  $\text{mA}/\text{cm}^2$ ) на анодных электродах второй камеры:

1 —  $i_2 = 0$ , 2 —  $i_2 = 0,5$ ; 3 —  $i_2 = 1,5$ ; 4 —  $i_2 = 2,5$ ; 5 —  $i_2 = 3,5$ ; 6 —  $i_2 = 5$ .

расходы электроэнергии и металла вычисляли по формулам:

$$W_0 = IU / (1000Q\eta), \quad (4)$$

$$q = k_B AI / Q, \quad (5)$$

где  $W_0$  — удельный расход электроэнергии,  $\text{kВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ ;  $I$  — сила тока, А;  $U$  — напряжение, В;  $Q$  — расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $\eta$  — коэффициент полезного действия выпрямительного устройства;  $q$  — удельный расход металла,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $k_B$  — выход металла по току;  $A$  — электрохимический эквивалент металла, равный для алюминия 0,3356, для трехвалентного железа — 0,6949  $\text{г}/(\text{A}\cdot\text{ч})$ .

Для определения фактического выхода металла по току с учетом химического состава сточных вод мяскокомбинатов были выведены эмпирические формулы [77]:

для дюралюминиевых электродов

$$k_{\text{в}} = -0,015\rho\text{H} + 0,044i + 0,0825 [\text{Cl}^-] + 0,644; \quad (6)$$

для железных электродов

$$k_{\text{в}} = -0,016\rho\text{H} + 0,14i + 0,07 [\text{Cl}^-] + 0,674. \quad (7)$$

В формулах (6) и (7) размерность  $[\text{Cl}^-]$  принята в г/л, а плотность тока — в  $\text{мА}/\text{см}^2$ .

Приведенные формулы справедливы при  $\rho\text{H} > 5$ ;  $[\text{Cl}^-] > 0,3$  г/л и  $i < 7,5$   $\text{мА}/\text{см}^2$  (монополярное соединение электродов). Эти условия вполне отвечают реальной характеристике сточных вод мясокомбината и целесообразной плотности тока в коагуляционной камере ЭФК-У.

Результаты исследований показали, что эффективность работы ЭФК-У и ее энергетические показатели в основном зависят от плотности тока в камере электрокоагуляции и продолжительности пребывания воды в аппарате. Изменяя  $i_2$  и  $t_0$ , можно регулировать степень очистки сточных вод. При максимальных требованиях к очистке сточных вод можно рекомендовать следующий оптимальный режим работы ЭФК-У:  $i_1 = 5$   $\text{мА}/\text{см}^2$ ;  $i_2 = 2,5$  и  $i_3 = 15$   $\text{мА}/\text{см}^2$ ;  $t_0 = 15$  мин, в том числе  $t_1 = 3$  мин,  $t_2 = 5$  и  $t_3 = 7$  мин. При этом эффект очистки по жирам будет равен 95—99%, по взвешенным веществам 93—98 и ХПК — 75%. Остаточные концентрации загрязнений по жирам 30 мг/л, по взвешенным веществам 60 и по ХПК 400 мг/л. Расход электроэнергии составляет 0,6 кВт·ч/м<sup>3</sup>, расход дюралюминия — 8 г/м<sup>3</sup>.

Основное количество загрязнений — 55% жира и взвешенных веществ и 42% ХПК — задерживалось в первой камере. Во второй камере эффект очистки возрастал до 80—90%. В третьей камере происходило выделение оставшихся хлопьев коагулянта и общий эффект очистки повышался до 95—98%, а по ХПК до 75%. При замене третьей камеры отстойником, рассчитанным на 30 мин, были получены те же результаты.

В процессе исследования были найдены зависимости между ХПК и БПК сточных вод мясокомбинатов:

для исходной сточной жидкости

$$\text{БПК}_5 \approx 0,68 \text{ ХПК}; \quad \text{БПК}_{\text{полн}} \approx 0,75 \text{ ХПК}. \quad (8)$$

для жидкости, очищенной электрофлотокоагуляцией,

$$\text{БПК}_5 \approx 0,60 \text{ ХПК}; \quad \text{БПК}_{\text{полн}} \approx 0,70 \text{ ХПК}. \quad (9)$$

При электрофлотокоагуляционной очистке сточных вод обеспечивается также санитарный эффект. В очищенной воде количество сапрофитной микрофлоры уменьшилось на 96—99%, коли-индекс снизился до 90—99%.

Количество пены, образующейся при очистке воды, зависит от плотности тока и продолжительности обработки. Его можно подсчитать по эмпирической формуле

$$P = (0,028i_1' + 0,41i_2 + 0,014i_3) t_0^{0,33}, \quad (10)$$

где  $P$  — количество пены, % от расхода сточных вод;  $i_1'$  — плотность тока на анодных электродах первой камеры, пересчитанная на горизонтальную площадь камеры,  $\text{mA}/\text{cm}^2$ .

Формула (10) выведена для соотношения  $t_1 : t_2 : t_3 = 1 : 0,6 : 1,4$ .

Количество флотоконцентрата можно определять с помощью коэффициента гашения пены  $\alpha_{\text{п}}$ , равного отношению объема флотоконцентрата  $v_l$  к объему пены  $v$ . Коэффициент  $\alpha_{\text{п}}$  при полном разрушении пены равен 0,3. В среднем в оптимальном режиме работы ЭФК-У количество пены было равно 3,88%, а флотоконцентрата — 1,16% от расхода сточных вод.

Выше было сказано, что при электрокоагуляции получается очень стойкая пена. Полностью она разрушается через 25—30 ч. Для интенсификации разрушения пены были исследованы механическое, тепловое, а также совместное механическое и тепловое воздействия. Наиболее целесообразным методом разрушения пены оказался механический: мешалка с двумя рядами лопаток на вертикальном валу с частотой вращения 30—40  $\text{min}^{-1}$ . При этом пена полностью разрушается через 15—30 мин.

При оптимальном режиме работы ЭФК-У флотоконцентрат имел следующие показатели: содержание жиров 41,9 г/л; содержание взвешенных веществ 80,1 г/л; влажность 90—95%, зольность 15—18%; плотность 1,012  $\text{т}/\text{м}^3$ .

В общем случае количество загрязнений во флотоконцентрате можно определить по материальному балансу.

При электролитических методах очистки сточных вод может происходить пассивация электродов, что приводит к резкому снижению эффективности работы установок. Поэтому в процессе исследования было изучено по-



ведение электродов в поле постоянного тока. Установлено, что в диапазоне изменения рН и концентрации хлоридов, характерных для сточных вод мясокомбинатов, не наблюдалась пассивация металлических электродов. Это объясняется адсорбционным влиянием ионов хлора, всегда присутствующих в сточных водах, на кислород и гидроксильные группы. Выяснено, что в процессе эксплуатации износ графитовых электродов марки Г-4 составляет 85 мг/(А·ч). Аноды ОРТА и титановые, покрытые окислами кобальта и марганца, практически не изнашиваются.

В результате гидродинамических исследований работы ЭФК-У было определено, что вся установка в целом занимает промежуточное положение между идеальными смесителем и вытеснителем. Ее модель эквивалентна цепочке идеальных смесителей из 5,4 ячейки [77]. На основании технологических и гидродинамических исследований были выведены расчетные формулы для определения продолжительности обработки воды в установке.

При расчетах ЭФК-У приняты следующие обозначения параметров процесса:

$C_0$ ;  $C_{t_1}$ ;  $C_{t_2}$ ;  $C_t$  — концентрации загрязнений по жиру и взвешенным веществам в исходной сточной воде после первой, второй камер установки и на выходе из ЭФК-У, мг/л;  $i_{1r}$ ;  $i_2$ ;  $i_3$  — плотности тока в камерах установки, причем  $i_{1r}$  — плотность тока в первой камере в пересчете на горизонтальную площадь камеры, мА/см<sup>2</sup>;  $t_1$ ;  $t_2$ ;  $t_3$  — продолжительности обработки сточных вод в камерах, мин.

На основании проведенных исследований рекомендуется принимать без расчета:

ширину аппарата при его производительности до 10 м<sup>3</sup>/ч 0,8—1 м; до 20 м<sup>3</sup>/ч — 1,5—2 м и до 50 м<sup>3</sup>/ч — 3,0—5,5 м;

плотности тока на электродах

$$i_{1r} = i_3 = 100 \div 150 \text{ А/м}^2; i_2 = 50 \div 75 \text{ А/м}^2;$$

отношение продолжительностей обработки сточных вод в камерах

$$t_1:t_2:t_3 = 1:0,6:1,4;$$

удельное количество электричества  $K_9$  во второй камере:

$i_3$ , А/м <sup>2</sup>	5	15	25	35	50	75
$K_9$ , А·ч/м <sup>3</sup>	6,75	20,25	33,75	47,25	67,5	100,25

Установки ЭФК-У рассчитывают в следующей последовательности.

Общую продолжительность обработки сточных вод  $t_0$  определяют по формулам:  
по жиру и взвешенным веществам

$$C_t/C_0 = 1/(1 + 0,044\alpha t_0)^{5,4}, \quad (11)$$

по ХПК

$$X_t/X_0 = 1/(1 + 0,019\alpha t_0)^{5,4}, \quad (12)$$

где  $X_t$  и  $X_0$  — ХПК очищенной и исходной жидкости, мг/л;  $\alpha$  — отношение выбранной плотности тока во второй камере к эталону сравнения (2,5 МА/м<sup>2</sup> для дюралюминиевых электродов и 3,5 МА/м<sup>2</sup> — для железных).

Следовательно,

$$\alpha = i_2/2,5 \text{ — дюраль, } \alpha = i_2/3,5 \text{ — железо.}$$

Расчетной величиной  $t_0$  является наибольшая из полученных по формулам (11) и (12). Перевод ХПК в БПК<sub>полн</sub> следует проводить по формулам (8) и (9).

Рабочий объем камер и всей установки в целом определяют по формуле

$$W = Q't_0/n,$$

где  $W$  — суммарный объем всех камер, м<sup>3</sup>;  $Q'$  — расход сточных вод, м<sup>3</sup>/мин;  $n$  — число секций, принимаемое не менее 2.

Объем илового приямка для осадка принимается равным 15—20% от суммарного объема первой и второй камер. Полная высота установки состоит из высоты слоя очищаемой жидкости  $h_1$ , считая от нижней кромки электродного блока до слоя пены (0,8—1,1 м), высоты слоя пены  $h_2$  (0,05—0,1 м) и высоты борта  $h_3$  (0,2—0,3 м).

Площадь зеркала воды установки  $F = W/h_1$ , длина камер  $L = F/B$ , где  $B$  — ширина установки, м.

Общая длина установки  $L_0 = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$ , где  $L_4$  — длина камеры для сбора очищенной воды, м;  $L_4 = 0,15 \div 0,3$  м.

Длину установки рекомендуется принимать в 3—4 раза больше ширины.

Сила тока в первой камере  $I_1$  равна произведению площади зеркала воды на плотность тока, т. е.  $I_1 = F_1 i_{1r}$ .

Количество анодов  $n_a$  и катодов  $n_k$  в первой камере

$$n_a = (B - 2a + b_1 + 2c)/(2c + b_1 + b_2);$$

$$n_k = (B - 2a + 2c)/(2c + b_1 + b_2),$$

где  $a$  — расстояние от стенки камеры до крайнего электрода, м;  $a=0,03\div 0,05$  м;  $b_1$  — толщина катодных электродов, м;  $b_1=0,003\div 0,005$  м;  $b_2$  — толщина анодных электродов, м;  $b_2=0,02\div 0,04$  м;  $c$  — межэлектродное пространство, м;  $c=0,015\div 0,02$  м.

Эти формулы справедливы для случая, когда два крайних электрода будут являться анодами. Это уменьшает действие конвективных токов на корпус аппарата и, следовательно, уменьшает возможность его коррозии.

Длина электродов  $l_1$  в первой камере на 0,1 м меньше длины камеры, а высота их  $h_3$  принимается равной 0,1—0,15 м. При этом активная площадь анодных электродов  $f_{a_1}$ , без учета торцов будет равна  $2h_3l_1$ , а истинная плотность тока на анодных электродах составит

$$i_1 = I_1 / (f_{a_1} n_a).$$

Во второй камере количество электродов можно вычислить по формуле

$$n_2 = (B - 2a + c) / (b_3 + c),$$

где  $b_3$  — толщина электродов, м;  $b_3=0,005\div 0,006$  м.

Длина электродов  $l_2$  во второй камере принимается на 0,1—0,15 м меньше длины камеры, а высота назначается конструктивно, чтобы верхняя кромка электродов находилась ниже уровня жидкости. Активная площадь одного электрода во второй камере равна  $2l_2h_3$ , а всех катодов и анодов  $n_2l_2h_3$ . Силу тока во второй камере принимают по удельному количеству электричества  $K_3$ , приведенному ранее, и расходу сточных вод  $Q$ :

$$I_2 = K_3 Q.$$

Расход металла электродов определяли по формуле (5).

В третьей камере устанавливают два горизонтальных электрода с зазорами от стен по 0,1 м. Сила тока в третьей камере равна

$$I_3 = i_3 f_{a_3},$$

где

$$f_{a_3} = (L_3 - 0,1)(B - 0,1).$$

Количество водорода, выделяющегося в процессе электролитической очистки, определяют по формуле

$$G = A_n \Sigma I / Q,$$

где  $\bar{G}$  — количество водорода, г/м<sup>3</sup>;  $A_{\text{в}}$  — электрохимический эквивалент водорода;  $A_{\text{в}}=0,037664$  г/(Л·ч).

Объем водорода, выделяющегося за 1 ч, составит

$$W_{\text{в}} = GQ/(\gamma_{\text{в}}10^3),$$

где  $W$  — объем водорода, м<sup>3</sup>/ч;  $\gamma_{\text{в}}$  — удельный вес водорода;  $\gamma_{\text{в}}=0,08988$  кг/м<sup>3</sup>.

По количеству водорода, получающегося в процессе очистки сточной воды, определяют группу взрывобезопасности здания очистной станции [39, 41].

Объем пены и флотоконцентрата вычисляют по формуле (10). Расход электроэнергии на очистку сточных вод рассчитывают по формуле (4), в которой сила тока  $I=I_1+I_2+I_3$ , напряжение  $U=6\div 12$  В, а  $\eta=0,8$ .

Следовательно, сточные воды мясокомбинатов наиболее эффективно можно очищать комбинированным методом — электрофлотокоагуляцией. Описанная выше установка ЭФК-У отличается от подобных установок экономичным расходом электроэнергии и металлических электродов. Внедрение ее в проектах очистных сооружений мясокомбинатов городов Выборг и Рига дало экономический эффект 400 тыс. руб. ЭФК-У можно применять для очистки как жирсодержащих сточных вод, так и общего стока мясокомбинатов с расходом до 4000 м<sup>3</sup>/сут. При использовании ЭФК-У отпадает необходимость введения каких-либо реагентов в очищаемую жидкость.

Недостатком метода электрофлотокоагуляции является расходование дефицитных материалов — алюминия или железа.

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД САНИТАРНЫХ БОЕН ОТ КАНЬГИ, ЖИРА И БАКТЕРИАЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Состав сточных вод санитарных боен аналогичен составу общего стока мясокомбината. Характерным их загрязнением являются патогенные бактерии. Сточные воды санитарных боен отводятся одной канализационной сетью в дезинфектор, расположенный непосредственно около санитарной бойни. Перед дезинфектором их отстаивают в навозоуловителе, затем смешивают с раствором хлора и в течение 2 ч выдерживают в контактном резервуаре. Доза хлора составляет 100 мг/л. Два контактных резервуара непроточного типа работают пооче-

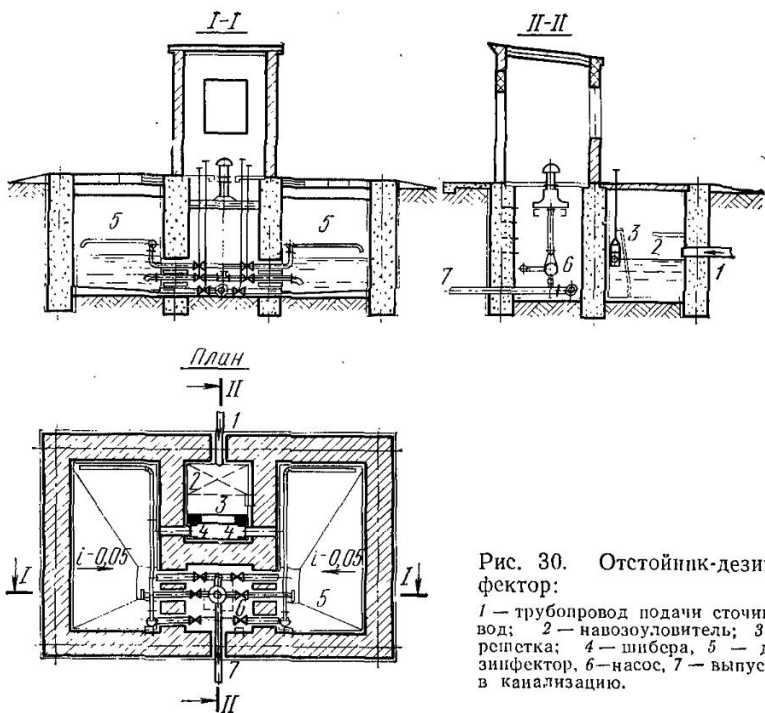


Рис. 30. Отстойник-дезинфектор:

1 — трубопровод подачи сточных вод; 2 — навозоуловитель; 3 — решетка; 4 — шибера, 5 — дезинфектор, 6 — насос, 7 — выпуск в канализацию.

редно. Сточную воду с хлором перемешивают циркуляционным насосом или лопастной мешалкой. Осадок из навозоуловителя и контактных резервуаров удаляют с помощью автоцистерны с вакуумным насосом. Осадок подлежит захоронению в специально предусмотренном месте. Одна из конструкций отстойника-дезинфектора приведена на рис. 30 [13, 57].

### Глава 3. ЛОКАЛЬНАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

#### ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ЖИРА

Сточные воды молочных заводов можно очищать от жира с помощью отстаивания, флотации, коагуляции. При отстаивании сточных вод выделяются крупные ча-

стицы жира и другие взвешенные вещества. Флотация позволяет извлечь из сточных вод также тонкодиспергированные взвешенные вещества, обладающие гидрофобными свойствами, в том числе жир. При коагуляции сточных вод выделяются как тонкодиспергированные взвешенные вещества, так и эмульгированные, коллоидные примеси. Необходимость локальной очистки сточных вод и выбор метода очистки обусловлены местными условиями.

**Отстаивание.** Для очистки сточных вод от жиров обычно применяют отстаивные жироловки горизонтального и вертикального типа.

Отстойные жироловки устанавливают чаще всего на выпусках цехов и заводов, специализирующихся на производстве высокожирной продукции (масла, сливок, сметаны), с концентрацией жиров в сточных водах более 100 мг/л.

Практика показывает, что использование жироловок горизонтального типа для очистки сточных вод молочных заводов малоэффективно. Концентрация жиров в результате их применения снижается лишь на 30—35%. Недостатком отстаивных жироловок горизонтального типа является также трудоемкость сбора жиромассы и осадка.

Кафедрой канализации ЛИСИ разработана конструкция жироловки вертикального типа с реактивным водораспределителем и автоматизированным сбором жиромассы [34].

В жироловке (рис. 31) осуществляются периферийная подача сточных вод и нисходящее движение потока в зоне отстаивания. Она оборудована вращающимся реактивным водораспределителем, к которому прикреплен пеногон, центральной камерой с лотками для сбора осветленной воды и лотком для сбора жиромассы, а также трубой для удаления осадка. Сточная вода подается в реактивный водораспределитель под напором и выбрасывается из него по патрубкам в периферийный распределительный лоток жироловки. Вращение водораспределителя, осуществляемое вследствие реактивной силы вытекающей жидкости, обеспечивает равномерное распределение сточных вод по периметру сооружения.

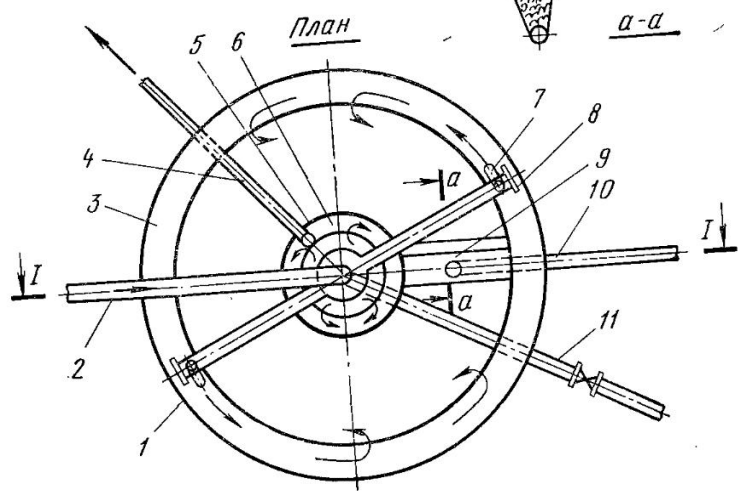
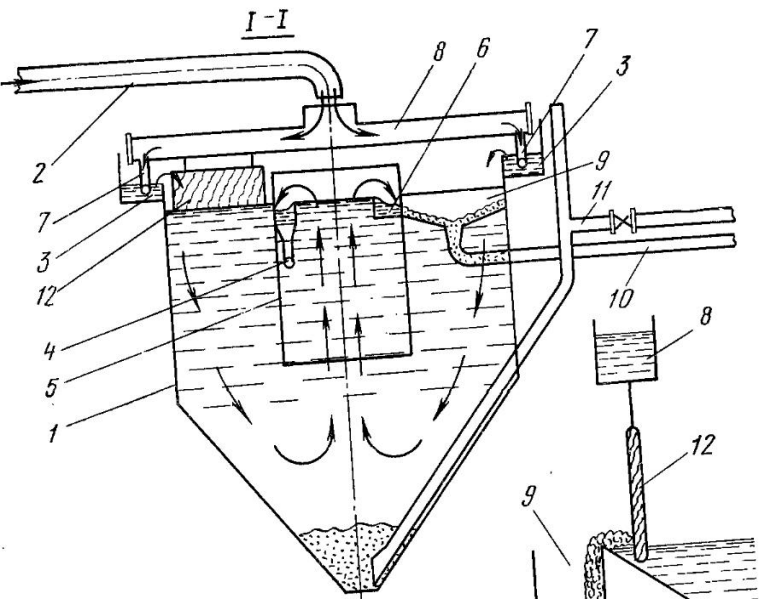


Рис. 31. Схема жироловки конструкции ЛИСИ:  
 1 — корпус жироловки, 2 — трубопровод подачи сточных вод, 3 — периферийный распределительный лоток, 4 — трубопровод отвода осветленной воды, 5 — центральная камера, 6 — сборный лоток осветленной воды, 7 — патрубки, 8 — вращающийся реактивный водораспределитель, 9 — лоток для сбора жиромассы, 10 — трубопровод отвода жиромассы, 11 — трубопровод выпуска осадка, 12 — пеногон.

Струей, падающей из патрубков реактивного водораспределителя, эжектируется воздух из атмосферы, в результате чего в периферийном распределительном лотке жидкость аэрируется, что способствует флотации жировых примесей.

Сточная вода поступает из периферийного лотка через водослив в отстойную зону жироловки и направляется к центральной камере. Нисходящее движение потока способствует лучшему распределению жидкости по объему сооружения, уменьшению водоворотных областей и улучшению выделения нерастворимых примесей.

Осветленная вода собирается сборным лотком и отводится из сооружения. Всплывающие примеси непрерывно удаляются с поверхности отстойной зоны жироловки пеногоном и сбрасываются в лоток для сбора жиромассы.

Работу жироловки конструкции ЛИСИ в производственных условиях испытывали в течение двух лет на Ленинградском молочном заводе [34]. Состав исходных сточных вод в период испытаний колебался в следующих пределах: содержание жира 75—520 мг/л, взвешенных веществ 160—910 мг/л. Температура сточных вод 10—30° С; продолжительность отстаивания 15—60 мин.

Влажность осадка, выгружаемого из жироловки, составляла 97—98%. Влажность собранной жиромассы изменялась в зависимости от частоты вращения реактивного водораспределителя с пеногоном. При частоте вращения до 0,03 с<sup>-1</sup> влажность жиромассы была 70%, а при частоте вращения 0,05—0,06 с<sup>-1</sup> — 80%.

Содержание жира в удаляемой жиромассе составляло 75—80%, в осадке — 38% (по сухому веществу). Высокая концентрация жира свидетельствует о возможности утилизации жиромассы и осадка.

График для расчета жироловок, построенный по результатам испытаний, приведен на рис. 32. Установлено, что степень снижения концентрации жиров и взвешенных веществ зависит от начальной концентрации этих загрязнений, продолжительности отстаивания и температуры сточных вод. Характер этой зависимости определяется следующим уравнением:

$$C_{\text{оч}}/C_{\text{исх}} = (1 - kt^{0,8})^{0,9 \cdot t^{0,2}}, \quad (13)$$



где  $C_{оч}$ ,  $C_{исх}$  — концентрация загрязнений соответственно в очищенной и исходной жидкости, мг/л;  $k$  — коэффициент, характеризующий скорость выделения нерастворенных примесей;  $t$  — продолжительность отстаивания, мин.

Коэффициент  $k$  зависит от высоты слоя отстаивания, продолжительности отстаивания и температуры поступающей жидкости. Для сточных вод молочных заводов  $k$  определяют

по жирам

$$k_{ж} = 0,009 (H/t)^{0,24} T^{0,486},$$

по взвешенным веществам

$$k_{взв} = 0,011 (H/t)^{0,3} T^{0,486},$$

где  $k_{ж}$ ,  $k_{взв}$  — коэффициент, характеризующий соответственно скорость выделения жира и взвешенных веществ;  $H$  — высота слоя отстаивания, м;  $t$  — температура поступающей жидкости, °С.

Требуемую продолжительность отстаивания сточных вод определяют по формуле (13) или по графику (см. рис. 32). Зная продолжительность отстаивания сточных вод, вычисляют потребный объем жироловок по формуле

$$W = Q/t,$$

где  $W$  — потребный объем жироловок, м<sup>3</sup>;  $Q$  — расчетный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/мин.

Глубину проточной части принимают равной 1,5—2 м.

Площадь центральной камеры определяют, исходя из того, что скорость восходящего потока в ней не более 0,005 м/с.

Частота вращения реактивного водораспределителя равна

$$n = 34,78q1000^2 / (2d^2D60),$$

где  $n$  — частота вращения реактивного водораспределителя, с<sup>-1</sup>;  $q$  — расход сточных вод, л/с;  $d$  — диаметр патрубков реактивного водораспределителя, мм;  $D$  — диаметр жироловки, мм.

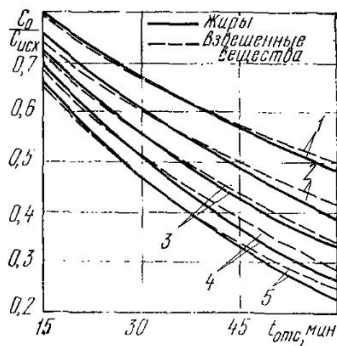


Рис. 32. График для определения продолжительности отстаивания в жироловках конструкции ЛИСИ при температуре сточных вод:

1 — 10° С, 2 — 15° С, 3 — 20° С, 4 — 25° С, 5 — 30° С.

**Флотация.** В сточных водах молочных заводов содержится определенное количество частиц как с гидрофобными свойствами (жиров, частиц творога, пленок молока и пр.), которые можно извлечь при флотации, так и с гидрофильными свойствами (в основном белков). Частицы молочного жира, которые окружены гидратированной белковой оболочкой, проявляют тоже гидрофильные свойства и плохо удаляются при флотации.

Ввиду наличия в сточных водах молочных заводов органических загрязнений и моющих растворов для снижения поверхностного натяжения на поверхности раздела фаз жидкость — газ не требуется добавлять реагент. Процесс флотации этих сточных вод сопровождается обильным пенообразованием.

На кафедре канализации ЛИСИ проведены исследования по очистке сточных вод молочных заводов от жира с помощью методов пневматической, механической и напорной флотаций, а также электрофлотации.

Как показали результаты исследований, при использовании метода пневматической флотации концентрация жиров снижается на 45—50%, взвешенных веществ — на 35—40%. Общий эффект очистки сточных вод молочного завода методом пневматической флотации с последующим их отстаиванием в жироловках конструкции ЛИСИ примерно такой же, как и эффект очистки сточных вод в жироловке без предварительной флотации. Лишь в отдельных случаях эффект очистки увеличивался на 3—5%.

Исследования механической флотации на лабораторных установках импеллерного типа позволили установить оптимальные параметры процесса: продолжительность флотации 10 мин, расход воздуха 20 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади поверхности флотационной камеры.

В этих условиях при работе лабораторной установки в проточных условиях эффект очистки составлял в среднем по жирам 82%, по взвешенным веществам — 62%, по ХПК — 38%. При работе установки в непроточных условиях эффект очистки был более высоким.

Однако эффект очистки сточных вод на флотационных установках импеллерного типа в производственных условиях примерно на 15—25% ниже, чем в лабораторных:

по жирам он не превышает 50—60%, по взвешенным веществам — 60—50%.

Недостаток метода механической флотации — значительное количество образующейся пены (24% от расхода сточных вод). Для обработки деаэрированной воды, образующейся из пены, необходимо увеличить объем установки примерно на 20%.

При очистке сточных вод молочных заводов напорной флотацией степень снижения концентрации жиров составляет 50—70% (по данным лабораторных исследований ЛИСИ).

Оптимальные параметры процесса очистки сточных вод молочных заводов методом электрофлотации следующие: продолжительность обработки 5 мин, плотность тока 380 А/м<sup>2</sup> [62]. При этом эффект очистки составлял по жирам 59%, по взвешенным веществам — 50%, по ХПК — 34%. Однако проведение процесса электрофлотации при таких параметрах сопряжено со значительными расходами электроэнергии (около 10 кВт·ч/м<sup>3</sup>). При уменьшении плотности тока с целью снижения расхода электроэнергии резко падает эффект очистки сточных вод. Так, при плотности тока 60 А/м<sup>2</sup> концентрация жиров уменьшается лишь на 12,5%.

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что различные методы флотации, применяемые для очистки сточных вод предприятий молочной промышленности, характеризуются примерно одинаковым эффектом очистки (50—60% по жирам и взвешенным веществам). Следовательно, учитывая сложность устройства флотационных установок и их эксплуатации по сравнению с жироловками конструкции ЛИСИ (при практически одинаковых эффектах очистки), для данных видов стоков применять метод флотации нерационально.

**Коагуляция.** Сточные воды предприятий молочной промышленности содержат значительное количество загрязнений, находящихся в виде коллоидов. Частицы дисперсной фазы коллоидных систем, в основном белковые соединения, обладают зарядом, окружены гидратной оболочкой и не выделяются при обычном отстаивании или флотационной обработке стока. Введение коагулянта (электролита) приводит к нейтрализации заряда коллоидов, нарушению устойчивости системы, сорбции их на хлопьях коагулянта и выделению этих за-

грязнений из жидкости. Скоагулированные примеси сточных вод можно отделять с помощью последующего отстаивания или флотации.

Коагуляцию осуществляют введением в жидкость соответствующих реагентов (метод реагентной коагуляции) или путем электрохимического растворения металлов (метод электрокоагуляции).

При реагентной коагуляции сточных вод молочных заводов в качестве коагулянтов используют сернокислый алюминий, хлорное железо или их смесь. Расход коагулянта зависит от состава сточных вод и в среднем равен 100 мг [по безводной соли  $Al_2(SO_4)_3$  или  $FeCl_3$ ] на каждые 1000 мг загрязнений по ХПК при рН 7. Если рН стока ниже или выше 7, дозу коагулянта изменяют (уменьшают или увеличивают) из расчета 50 мг реагента на каждую единицу рН. При введении флокулянтов (например, полиакриламида) совместно с коагулянтами эффект очистки увеличивается незначительно. Следовательно, применять их нецелесообразно.

Продолжительность отстаивания сточных вод после смешения с коагулянтом 1,5 ч. Эффект очистки по жирам и взвешенным веществам составляет 72—80%, по ХПК — 42—60%, по БПК<sub>полн</sub> — 60—70% [69].

При использовании коагуляции с последующей напорной флотацией эффект очистки составляет по жирам и взвешенным веществам 80—90%, по ХПК — 70—75%. Продолжительность процесса 20—30 мин. При устройстве напорной флотации в две ступени с введением коагулянта эффект очистки по жирам и взвешенным веществам достигает 93—95%

Метод реагентной коагуляции (с последующим отстаиванием или флотацией) не нашел широкого применения для локальной очистки сточных вод молочных заводов, несмотря на высокую его эффективность. Это обусловлено значительным расходом дефицитных реагентов, необходимостью усреднения состава сточных вод и автоматизации дозирования коагулянта, образованием большого количества осадка (6—11% от расхода сточных вод), сложностью его обработки, что в свою очередь приводит к значительным строительным и эксплуатационным затратам.

Кафедрой канализации ЛИСИ проведены лабораторные и полупроизводственные исследования очистки

сточных вод молочных заводов методом электрокоагуляции по следующим технологическим схемам [62]: электрокоагуляция — отстаивание; электрокоагуляция — электрофлотация; отстаивание — электрокоагуляция — электрофлотация; электрофлотация — электрокоагуляция — электрофлотация. В качестве материалов для электродов применяли алюминий и железо в электрокоагуляторах, графит или титан, покрытый окислами рутения (анод), сетку из пержавеющей стали (катод) в электрофлотаторах.

Основные технологические параметры процесса изменяли в следующем диапазоне: плотность тока от 50 до 400 А/м<sup>2</sup>, продолжительность обработки от 5 до 35 мин — в камере электрофлотации; плотность тока от 9 до 150 А/м<sup>2</sup>, продолжительность обработки от 1 до 15 мин — в камере электрокоагуляции.

Было установлено, что отстаивание и электрофлотация перед электрокоагуляцией практически не давали положительного результата. Следовательно, при очистке сточных вод молочных заводов целесообразно обрабатывать исходный сток перед электрокоагуляцией.

Известно, что эффективность процесса электрокоагуляции зависит от состава сточных вод (в частности рН и концентрации хлоридов), плотности тока на электродах, продолжительности обработки жидкости. Зависимости эффекта очистки сточных вод молочных заводов в электрокоагуляторах с алюминиевыми электродами от рН и концентрации хлоридов в сточных водах показаны на рис. 33. Продолжительность обработки сточных вод составляла 3 мин.

Представленные данные (см. рис. 33) свидетельствуют о том, что изменение содержания хлоридов от 100 до 1000 мг/л практически не сказывается на эффекте очистки сточных вод. При снижении концентрации хлоридов со 100 до 40 мг/л эффект очистки уменьшается на 2—3%.

Изменение рН стока от 5 до 9 мало влияет на эффективность процесса коагуляции. При рН < 5 эффект очистки ухудшается, так как ионы  $Al^{+3}$  плохо гидролизуются и остаются в растворе. При рН > 9 в сточных водах образуется алюминат ( $AlO_2^-$ ), в результате этого коагуляция происходит не полностью и эффект очистки снижается.

Следовательно, влиянием состава сточных вод молочных заводов на эффект их очистки методом электрокоагуляции можно пренебречь. Это обусловлено тем, что, как правило, содержание хлоридов в сточных водах более 100 мг/л, а рН их колеблется от 6 до 8.

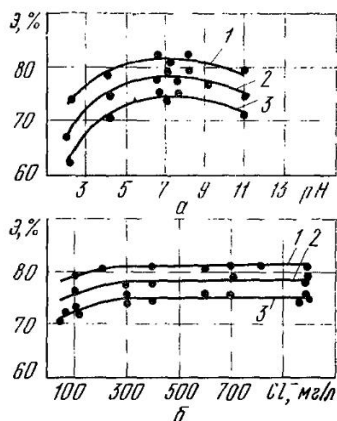


Рис. 33. Зависимость эффективности снижения концентрации жиров в электрокоагуляторе от рН (а) и содержания хлоридов в сточных водах при плотности тока  $i$  (в А/м<sup>2</sup>): 1 —  $i=88$ , 2 —  $i=58$ , 3 —  $i=30$ .

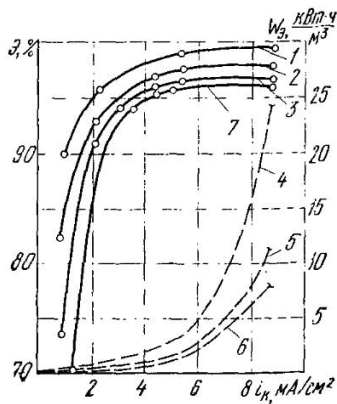


Рис. 34. Зависимость эффективности снижения концентрации жиров и затрат электроэнергии от плотности тока на электродах по схеме электрокоагуляции — отстаивание при различной продолжительности электрокоагуляции и отстаивания:

1, 2, 3 — эффект очистки при продолжительности электрокоагуляции соответственно 10, 4 и 3 мин (продолжительность отстаивания 30 мин, электроды — Al), 4, 5, 6 — затраты электроэнергии при тех же условиях, 7 — эффект очистки при продолжительности электрокоагуляции 5 мин (продолжительность отстаивания 60 мин, электроды — Fe).

Установлено, что при концентрации хлоридов в сточных водах молочных заводов от 100 до 1000 мг/л и рН=5÷10 в процессе коагуляционной обработки пассивации электродов (как железных, так и алюминиевых) не происходит.

Результаты исследований электрокоагуляции с последующим отстаиванием представлены на рис. 34 и

35. Эффект очистки резко увеличивается при повышении плотности тока до  $350 \text{ А/м}^2$  и продолжительности обработки в электрокоагуляторах до 3—5 мин. При дальнейшем увеличении этих параметров процесса коагуляции эффект очистки повышался незначительно, но резко увеличивались удельные затраты электроэнергии (см. рис. 34).

Оптимальные параметры процесса электрокоагуляции, полученные в результате исследований при использовании алюминиевых электродов,

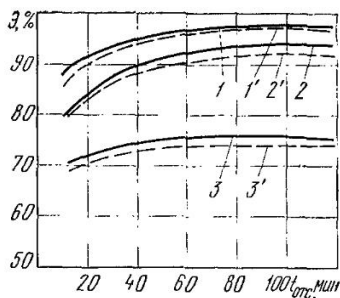


Рис. 35. Зависимость эффекта очистки сточных вод электрокоагуляцией с последующим отстаиванием от продолжительности отстаивания:

1 — по жирам, 2 — по взвешенным веществам, 3 — по ХПК (плотность тока  $30 \text{ А/м}^2$ , продолжительность электрокоагуляции 3 мин, электроды — Al), 1', 2' и 3' — то же при применении электродов — Fe (плотность тока  $40 \text{ А/м}^2$ , продолжительность электрокоагуляции 5 мин).

следующие: плотность тока  $30 \text{ А/м}^2$ , удельное количество электричества на  $1 \text{ м}^3$  сточных вод  $55 \text{ А} \cdot \text{ч}$ , продолжительность пребывания сточных вод в электрокоагуляторах 3 мин.

При использовании железных электродов: плотность тока —  $40 \text{ А/м}^2$ , удельное количество электричества на

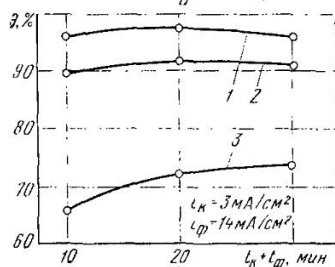
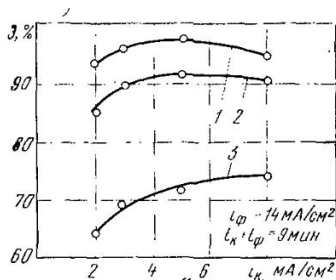


Рис. 36. Зависимость эффекта очистки сточных вод в электрокоагуляторе - электрофлотаторе от плотности тока в электрокоагуляторе  $i_{\kappa}$  (а) и продолжительности обработки сточных вод (б):

1 — по жирам, 2 — по взвешенным веществам, 3 — по ХПК.

1 м<sup>3</sup> сточных вод — 73,4 А·ч, продолжительность пребывания стоков в электрокоагуляторах — 5 мин [63].

При использовании схемы электрокоагуляция — отстаивание продолжительность отстаивания сточных вод после электрокоагуляции — 30 и 60 мин соответственно для алюминиевых и железных электродов (см. рис. 35).

Эффект очистки сточных вод при этих параметрах процесса составлял по жирам 94—95%, по взвешенным веществам — 89—90, по ХПК — 70—74%. В очищенной жидкости содержалось жиров не более 20 мг/л, взвешенных веществ — 60, ХПК составляла 850 мг/л. Расход алюминия — 7 мг/л при затратах электроэнергии 0,4 кВт·ч/м<sup>3</sup>, железа — 14 мг/л при затратах электроэнергии 0,8 кВт·ч/м<sup>3</sup>.

Сооружения для отстаивания сточных вод после электрокоагуляции должны быть оборудованы устройствами для задержания, сбора и удаления всплывающих и оседающих примесей. Для этой цели можно применять жироловки конструкции ЛИСИ (см. рис. 31). Количество осадка в жироловке составляло 2,5—3% от расхода сточных вод при его влажности 98,5%.

Электрокоагуляция с последующей электрофлотацией несколько более эффективна, чем электрокоагуляция с последующим отстаиванием. Результаты работы электрокоагулятора-электрофлотатора (ЭКФ) с использованием алюминиевых электродов в камере коагуляции приведены на рис. 36. Оптимальные параметры процесса при использовании алюминиевых электродов следующие: продолжительность обработки сточных вод 9 мин (3 мин в электрокоагуляторе, 6 мин в электрофлотаторе); плотность тока 30 А/м<sup>2</sup> (в электрокоагуляторе) и 140 А/м<sup>2</sup> (в электрофлотаторе). При этих параметрах эффект очистки составлял по жирам 97%, по взвешенным веществам — 92, по ХПК — 73%. Остаточное содержание в очищенной жидкости жиров 11—12 мг/л, взвешенных веществ — 40—50, ХПК составляла 600 мг/л; расход алюминия 7 мг/л, затраты электроэнергии 0,61 кВт·ч/м<sup>3</sup>.

В случае применения железных электродов продолжительность обработки сточных вод в электрокоагуляторе 5 мин, в электрофлотаторе — 12 мин; плотность тока соответственно 40 и 220 А/м<sup>2</sup>; затраты электроэнергии 1,2—1,5 кВт·ч/м<sup>3</sup>, расход железа 14 мг/л.



Общее количество пены, образующейся в ЭКФ, 3%, пенного продукта (флотоконцентрата) — 1,4% от расхода сточных вод. Пена хорошо гасится путем ее перемешивания в течение 5 мин. Обработка пенного продукта на сепараторах, как показали исследования, позволяет уменьшить его объем в 3—4 раза. Продолжительность сепарации 6 мин, эффект выделения загрязнений из пенного продукта составляет по жирам 96%, по взвешенным веществам — 98%. Плотная фаза, полученная в результате сепарации, имела влажность 80—90% и содержала до 70% жира. Ее можно использовать в качестве сырья для мыловарения.

Расчет установки электрокоагуляции производят следующим образом.

Полезный объем электрокоагулятора рассчитывают по формуле

$$W = q\tau/(60n),$$

где  $W$  — объем электрокоагулятора, м<sup>3</sup>;  $q$  — расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;  $\tau$  — продолжительность обработки сточных вод, мин (для электродов Al — 3 мин, Fe — 5 мин);  $n$  — число электрокоагуляторов, принимается не менее 2.

Общая высота электрокоагулятора составляет

$$H = h_1 + h_2 + h_3,$$

где  $H$  — высота установки, м;  $h_1$  — рабочая высота слоя жидкости, м ( $h_1 = 0,8 \div 1$  м);  $h_2$  — высота слоя пены, м ( $h_2 = 0,05 \div 0,1$  м);  $h_3$  — высота бортов над уровнем пены, м ( $h_3 = 0,2 \div 0,3$  м).

Электродную систему коагулятора выполняют в виде блока вертикальных пластин из алюминия или железа (Сталь 3 и Сталь 4). Расстояние между электродами 15—20 мм.

Общее количество электродов рассчитывают по уравнению

$$m = (B - 2a + c)/(b_1 + c),$$

где  $m$  — количество электродов;  $B$  — ширина установки, м;  $a$  — расстояние от стенки установки до крайнего электрода, м ( $a = 0,05$  м);  $c$  — расстояние между электродами, м;  $b_1$  — толщина электрода, м ( $b_1 = 0,005—0,008$  м).

Площадь одного электрода вычисляют по формуле

$$f_1 = (l - 0,1) h_1,$$

где  $f_1$  — площадь электрода, м<sup>2</sup>;  $l$  — длина камеры электрокоагуляции, м.

Рабочая площадь одного анода равна  $2f_1$ .

Общая масса электродной системы

$$M = f_1 m b_1 \gamma,$$

где  $M$  — общая масса электродной системы, кг;  $\gamma$  — плотность материала электродов, кг/м<sup>3</sup>.

Питание электродов производится от источника постоянного тока. Напряжение на электродах 6 В.

Силу тока принимают, исходя из потребного удельного количества электричества для растворения металла ( $K_a = 55 \text{ А} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$  — для алюминиевых электродов и  $73,4 \text{ А} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$  — для железных электродов):

$$I_a = K_a q.$$

Расход материала электродов определяют по формуле

$$g = k_B A I_a / q,$$

где  $g$  — расход материала электродов, г/м<sup>3</sup>;  $k_B$  — коэффициент выхода по току;  $k_B = 0,4$ ;  $A$  — электрохимический эквивалент металла, г/(А·ч); для алюминия  $A = 0,3356$ . 5,6444

Продолжительность работы электродной системы составляет

$$T = kM / (gQ),$$

где  $T$  — продолжительность работы электродной системы, сут;  $k$  — коэффициент использования электродов,  $k = 0,8 - 0,9$ ;  $Q$  — расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

При очистке сточных вод по схеме электрокоагуляция — отстаивание следует принимать продолжительность отстаивания 30 мин для алюминиевых электродов и 60 мин для железных электродов; эффект очистки сточных вод по жирам 94%, по взвешенным веществам 90%, по ХПК 70%, количество осадка 2,5—3% от расхода сточных вод, влажность осадка 98,5%.

При очистке сточных вод по схеме электрокоагуляция — электрофлотация принимают продолжительность обработки в электрофлотаторе 6 и 12 мин при применении в электрокоагуляторах соответственно алюминиевых и железных электродов, плотность тока на аноде — 140 и 220 А/м<sup>2</sup>.

Расположение электродов в электрофлотаторе горизонтальное, аноды — графитовые или ОРТА, катоды — стальная сетка. Эффект очистки сточных вод по жи-

рам — 97%, по взвешенным веществам — 92, по ХПК — 73%. Количество пены 3%, пенного продукта 1,4% от расхода сточных вод. Гашение пены — механическое перемешивание в течение 5 мин. При обработке пенного продукта на суспензионных сепараторах объем его уменьшается в 3—4 раза.

Расчет электрофлотаторов производят аналогично расчету электрокоагуляторов.

Сила тока в электрофлотаторах

$$I_{\Phi} = i_{\Phi} f_2,$$

где  $I_{\Phi}$  — сила тока, А;  $i_{\Phi}$  — плотность тока в камере флотации, А/м<sup>2</sup>;  $f_2$  — площадь анода в камере флотации, м<sup>2</sup>.

Удельные затраты электроэнергии в электрокоагуляторах-электрофлотаторах

$$W_э = (I_a + I_{\Phi}) U / (1000 q \eta),$$

где  $W_э$  — удельные затраты электроэнергии, кВт·ч/м<sup>3</sup>;  $U$  — напряжение,  $U=6$  В;  $\eta$  — КПД выпрямителя,  $\eta=0,7$ .

#### ОБРАБОТКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ РАСТВОРОВ ОТ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ МОЙКИ ОБОРУДОВАНИЯ

На современных предприятиях молочной промышленности мойку технологического оборудования, трубопроводов, емкостей для доставки и хранения молока осуществляют централизованным способом.

Основными моющими и дезинфицирующими реагентами, применяемыми на молочных заводах, являются каустическая или кальцинированная сода, азотная кислота, хлорная известь, карбонаты натрия и др. Моющие растворы готовят в заданной технологическим процессом концентрации и подают централизованно на мойку оборудования.

При централизованной мойке оборудования в канализацию завода сбрасывают промывные сточные воды и периодически, раз в 3—5 дней, отработавшие моющие растворы щелочи и кислоты. рН промывных вод изменяется от 7,8 до 10,2, щелочность — от 1,9 до 4 мг-экв/л; рН отработавших щелочных растворов колеблется от 10 до 12, щелочность — от 30 до 50 мг-экв/л.

Высокая концентрация щелочи, залповый сброс отработавших моющих растворов обуславливают резкие колебания рН общего стока предприятия. Как показа-

ли натурные измерения, рН общего стока молочных заводов в момент сброса отработавших моющих растворов повышается до 9—9,5.

Для обработки сточных вод, образующихся в результате мойки оборудования, на молочных заводах с централизованной системой мойки устраивают станции нейтрализации. В состав станции входят усреднитель, смеситель, камера реакции и реагентное хозяйство. Сточные воды обычно нейтрализуют серной кислотой. Дозировка реагента ( $H_2SO_4$ ) и процесс его приготовления должны быть автоматизированы.

Как показало обследование действующих на молочных заводах станций нейтрализации, работа их часто нарушается в связи с выходом из строя автоматики и другого оборудования станции. При этом ввиду неправильной дозировки реагента колебания активной кислотности стока после станции нейтрализации усиливаются (отмечены изменения рН от 3 до 10).

Сточные воды предприятий молочной промышленности, за исключением сбрасываемых моющих растворов, имеют, как правило, реакцию, близкую к нейтральной, а при попадании в сток сыворотки или закисании жидкости в канализационной сети — слабокислую. Соотношение расходов отработавших моющих и остальных стоков молочных заводов колеблется в пределах (3÷÷20) : 1000. В этих условиях при равномерном поступлении щелочных моющих растворов в канализацию за-

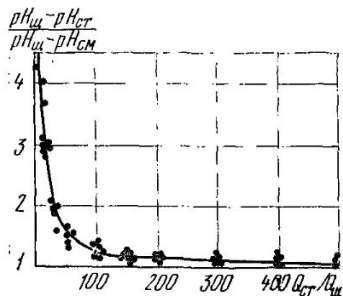


Рис. 37. Изменение рН смеси сточных вод молочного завода и отработавших моющих растворов в зависимости от соотношения расходов этих стоков  $Q_{ст}/Q_{щ}$ .

вода и смешении их с другими стоками влияние моющих растворов на состав сточных вод общего выпуска завода незначительно.

Результаты исследований по изменению рН смеси отработавших моющих растворов и других сточных вод молочных заводов в зависимости от соотношения этих стоков представлены на рис. 37. Опыты проводили на сточных водах предприятий молочной промышленности различного профиля (город-

ских молочных заводах, молочноконсервных комбина-  
тах и пр.). Зависимость, представленная на рис. 37,  
дана в координатах

$$(pH_{щ} - pH_{ст}) / (pH_{щ} - pH_{см}) \text{ и } Q_{ст} / Q_{щ},$$

где  $pH_{щ}$ ,  $pH_{ст}$ ,  $pH_{см}$  — соответственно  $pH$  щелочных отработавших  
моющих растворов, других сточных вод завода и смеси указанных  
стоков;  $Q_{ст}$ ,  $Q_{щ}$  — соответственно расход сточных вод завода и  
щелочных отработавших моющих растворов,  $m^3/ч$ .

Как видно из рис. 37,  $pH$  смеси сточных вод завода  
и отработавших моющих растворов зависит от соотно-  
шения расходов и  $pH$  этих стоков. Математически опи-  
сать эту зависимость можно следующим образом:

$$pH_{см} = \{pH_{щ} [10,7 - (Q_{ст}/Q_{щ})^{0,5}] + pH_{ст} (Q_{ст}/Q_{щ})^{0,5}\} / 10,7$$

при  $Q_{ст}/Q_{щ} < 74,65$ ;

$$pH_{см} = \{pH_{щ} [1,86 - (Q_{ст}/Q_{щ})^{0,09}] + pH_{ст} (Q_{ст}/Q_{щ})^{0,09}\} / 1,86$$

при  $Q_{ст}/Q_{щ} \geq 74,65$ .

Пользуясь приведенными выше формулами, можно  
определить  $pH$  смеси сточных вод завода и отработав-  
ших моющих растворов. Если эта величина не превы-  
шает допустимых пределов ( $pH$  менее 8,5), то предва-  
рительной нейтрализации отработавших растворов пе-  
ред спуском их в канализацию завода не требуется.  
Для обеспечения смешения моющих растворов с други-  
ми стоками предприятия необходимо устройство усред-  
нителей расхода сбрасываемых растворов с равномер-  
ным (в течение часов работы предприятия) выпуском  
раствора. Объем усреднителя рассчитывают в соответ-  
ствии с графиком работы системы мойки оборудования  
завода.

#### Глава 4. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ОБЩЕГО СТОКА ПРЕДПРИЯТИЙ МЯСНОЙ И МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ОБРАБОТКА ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД

##### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА

Сточные воды предприятий мясной и молочной про-  
мышленности, направляемые на очистные сооружения,  
предварительно очищают от взвешенных веществ и

крупных отбросов. С этой целью в составе очистной станции предусматриваются сооружения механической очистки: решетки, песколовки и отстойники.

Сооружения для механической очистки в составе очистной станции не устанавливают, если загрязненные сточные воды предприятия были подвергнуты эффективной локальной очистке, например методом флотации или коагуляции.

**Решетки.** Они служат для извлечения из сточных вод крупных отбросов — бумаги, тряпок, остатков каины, конфискатов, обрывков шпагата и целлофана, шток, волоса, осколков костей, копыт и т. д.

По опыту работы очистных сооружений Ленинградского и других мясокомбинатов на предприятиях мясной промышленности целесообразно устанавливать решетки с механическим грабельным аппаратом, конструкции М. В. Лещинского [60, 76]. Работу решеток можно автоматизировать по схемам, обычно применяемым в проектной практике.

Эти решетки при максимальной нагрузке в период массового убоя скота обеспечивают задержание отбросов. В течение многих лет эксплуатации решеток не наблюдалось серьезных поломок как самих решеток, так и механического грабельного аппарата.

Подпор сточной жидкости, создаваемый решетками, не превышал 0,09 м.

Отбросы, снятые с решеток, как правило, сбрасываются в металлические бочки с крышками, которые периодически вывозят автотранспортом на специальные площадки для компостирования. Бочки вместимостью 150—190 л оборудованы специальными коромыслами, за которые их поднимают крюком крана. Погрузку бочек на автотранспорт осуществляют с помощью тельфера, движущегося по монорельсу. Монорельс выходит за пределы здания решеток. Коромысла бочек устраивают таким образом, чтобы над кузовом самосвала можно было легко перевернуть бочку и выгрузить ее содержимое. Затем отбросы отвозят на специальные площадки для компостирования, где их выгружают, обсыпают грунтом и оставляют в таком виде на 2 года. Отбросы после компостирования можно использовать в качестве удобрения в сельском хозяйстве.

Содержание отбросов в сточной воде значительно колеблется в течение года и обусловлено производительностью мясокомбината. Количество извлекаемых отбросов зависит от величины прозоров между стержнями. Их удельное количество при прозорах 20 мм колеблется от 0,037 до 0,261 л/м<sup>3</sup>. В среднем оно составляет 0,08 л/м<sup>3</sup>. Влажность отбросов 77%, объемная масса 0,65—0,8 т/м<sup>3</sup>.

Для решеток с прозорами 16 мм количество снимаемых отбросов равно 0,2—0,35 л/м<sup>3</sup>, влажность — 80%, объемная масса — 0,8 т/м<sup>3</sup> [57].

Для сточных вод молочных заводов применяют решетки с прозорами между стержнями 16 мм, их устанавливают в составе очистных сооружений или на насосных станциях. Решетки рассчитывают согласно СНиПу [55].

**Песколовки.** Для задержания песка и тяжелых, крупных загрязнений органического происхождения (обломков костей, копыт, рогов, кусочков тканей животных, остатков капыги и пр.) применяют горизонтальные песколовки с прямолинейным или круговым движением воды.

Большая часть тяжелых, крупных загрязнений осаждается в песколовках. Поэтому количество осадка в песколовках и доля органической части осадка, как правило, получаются большими по сравнению с осадком из песколовки при очистке городских сточных вод.

При проектировании песколовки согласно строительным нормам [57] количество осадка принимают равным 0,015—0,02% от расхода сточных вод, т. е. 0,15—0,2 л/м<sup>3</sup>, влажность осадка — 90%, объем осадочной части песколовки — суточному количеству осадка.

В составе очистных станций предприятий молочной промышленности ввиду небольших расходов сточных вод применяют обычно горизонтальные песколовки с круговым движением воды. В песколовках, кроме песка, задерживаются осколки стекла и другие минеральные примеси, а также грубодисперсные органические взвешенные вещества (частицы творога, молочные пленки и т. п.), содержащиеся в сточных водах молочных заводов.

Песколовки для очистки сточных вод молочных заводов рассчитывают по нормам [55, 57].

Количество осадка, задерживаемого в песколовках, составляет 0,02% от расхода сточных вод при влажности песка, подсушенного на песковых площадках, 60%.

Анализ работы песколовков показал, что при их использовании количество взвешенных веществ в сточных водах снижается на 10—15%. Зольность осадка песколовков вследствие выпадения органических веществ составляет 30—40%. Осадок удаляют из песколовков с помощью гидроэлеватора либо по иловой трубе под гидростатическим давлением жидкости не менее 3 м.

**Отстойники.** Для выделения оседающих и всплывающих взвешенных веществ из сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности применяют вертикальные и двухъярусные отстойники, осветлители с естественной аэрацией, осветлители-перегниватели.

Вертикальные отстойники ввиду специфики загрязнений сточных вод отрасли малоэффективны.

Двухъярусные отстойники на данных сточных водах работают неудовлетворительно. Так, при очистке сточных вод мясокомбинатов осадочные желоба двухъярусных отстойников забиваются крупными взвешенными веществами. Пространство между желобами заполняется всплывающим в септических камерах осадком. В результате этого сточная вода практически не очищается, а сооружение быстро выходит из строя.

Кроме того, сточные воды молочных заводов, очищаемые в вертикальных и двухъярусных отстойниках, быстро закисают вследствие молочнокислого брожения. Это обуславливает снижение рН воды и ухудшение ее качества.

Для механической очистки сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности хорошо зарекомендовали себя осветлители с естественной аэрацией и осветлители-перегниватели [60, 76]. В осветлителях с естественной аэрацией достигается высокая степень улавливания как всплывающих, так и оседающих взвешенных веществ. Благодаря естественной аэрации жидкости в этих сооружениях эффект очистки повышается и предотвращается возможность закисания сточных вод.

В осветлителях-перегнивателях происходит не только очистка сточных вод от оседающих и всплывающих примесей, но и сбраживание задержанного осадка.

Ввиду высокой температуры сточных вод обеспечи-



вается подогрев бродящего в перегнивателе осадка и ускоряется процесс его сбраживания [76]. Конструкция осветлителя-перегнивателя представлена на рис. 38. Осветлитель-перегниватель — комбинированное сооружение, состоящее из осветлителя с естественной аэрацией *А* и концентрически расположенного вокруг него перегнивателя *Б*. Сточные воды по подводющему лотку подаются в центральную трубу, к концу которой прикреплен отражательный щит с загнутыми вверх краями. Напор 0,6 м, обусловленный разностью отметок уровней воды в подводящем лотке и в осветлителе, обеспечивает скорость движения жидкости в центральной трубе порядка 0,5—0,7 м/с, необходимую для засасывания воздуха из атмосферы. Водовоздушная смесь из центральной трубы направляется отражательным щитом в камеру флокуляции. В камере флокуляции происходит самопроизвольная коагуляция загрязнений сточных вод, после чего вода поступает снизу в отстойную зону, проходя через слой образующегося взвешенного осадка. Осветленная вода с помощью сборного лотка собирается в верхней зоне осветлителя и отводится из него. Осадок, выпавший на дно осветлителя, по трубе выпуска осадка поступает в приемный резервуар насосной станции, откуда насосом по напорной трубе подается в перегниватель. Труба снабжена соплами, направленными под углом 45° к поверхности осадка. Рассредоточенная подача осадка под напором через сопла приводит к разрушению корки осадка на поверхности перегнивателя. Эта же труба служит для перемешивания осадка. Для этого осадок направляется по трубе выпуска осадка из перегнивателя в приемный резервуар насосной станции, откуда перекачивается в верхнюю зону перегнивателя по трубе подачи осадка в перегниватель.

Вещества, всплывающие на поверхность воды в осветлителе, собираются карманами, из которых направляются в камеру перегнивателя. Для снижения влажности осадка в перегнивателе предусмотрена труба для выпуска иловой воды.

Опыт работы осветлителей с естественной аэрацией и осветлителей-перегнивателей на предприятиях мясной и молочной промышленности показал, что в этих сооружениях достигается более глубокая степень очистки, чем в других типах отстойных сооружений.

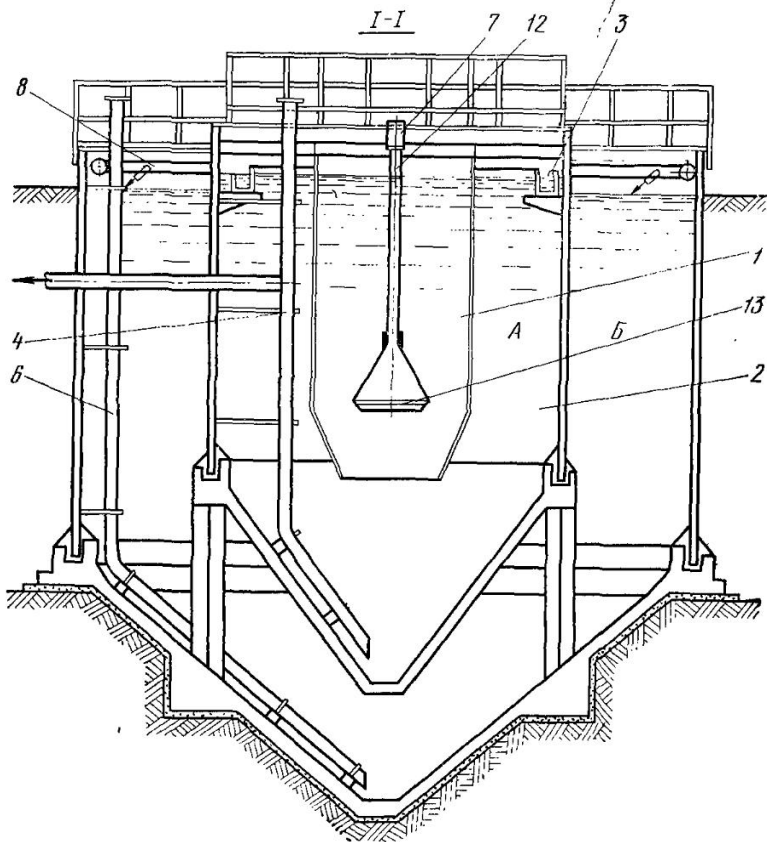
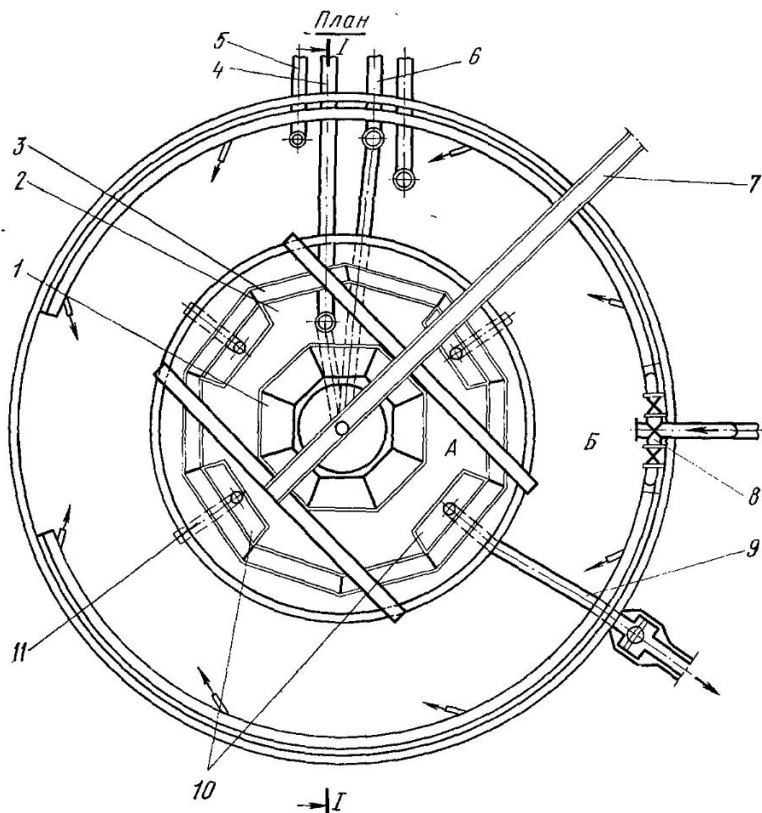


Рис. 38. Конструкция осветлителя-перегнивателя:

А — осветлитель, Б — перегниватель, 1 — камера флокуляции, 2 — отстойная осветлителя, 5 — труба выпуска иловой воды, 6 — труба выпуска осадка из пе-  
9 — отводная труба, 10 — карманы для сбора плавающих веществ; 11 — труба  
ный щит.

Данные, характеризующие работу осветлителей-перегнивателей, приведены в табл. 9.

Расчетная продолжительность отстаивания сточных вод в осветлителях 1,5 ч. Эффект очистки сточных вод мясокомбинатов в осветлителях составляет (см. табл. 9) 75—78% по взвешенным веществам, 58—70% по жирам. Концентрация загрязнений по БПК<sub>полн</sub> снижается на 30—40%.



зона, 3 — сборный лоток осветленной жидкости, 4 — труба выпуска осадка из регнивателя; 7 — подводный лоток; 8 — труба подачи осадка в регниватель для удаления плавающих веществ, 12 — центральная труба, 13 — отражатель

При отстаивании сточных вод молочных заводов в осветлителях эффект очистки равен 35% по взвешенным веществам, 30% по жирам, 24% по БПК<sub>полн</sub>.

Исследования кишетки выпадения взвешенных веществ при отстаивании сточных вод в покое показали, что при продолжительности отстаивания 2 ч концентрация взвешенных веществ снижалась на 60—67% в сточных водах мясокомбината и в среднем на 30% —

Таблица 9. Результаты работы осветлителей-перегнивателей на предприятиях мясной и молочной промышленности

Характеристика сточных вод, осадка и параметры работы осветлителей-перегнивателей	Лужский мясокомбинат	Кадиевский мясокомбинат	Ленинградский мясокомбинат	Ленинградский молочный завод
Исходные сточные воды				
рН	7	7	7	7—8,5
содержание, мг/л взвешенных веществ	820	1200	800	300
жиров	200	300	240	100
БПК <sub>полн</sub> , мг/л	1300	1500	1500	1200
Осветленные сточные воды				
рН	7	7	7	7—8,3
содержание, мг/л взвешенных веществ	195	300	170	195
жиров	80	90	100	70
БПК <sub>полн</sub> , мг/л	850	900	1000	910
Эффект очистки сточных вод, %				
по взвешенным веществам	76	75	78	35
по жирам	60	70	58	30
по БПК <sub>полн</sub>	35	40	33	24
Суточная доза загрузки осадка в перегниватель, %	3,2	2,1—3,3	—	3
Температура брожения осадка, °С	16—18	16—22	—	16—25
Сырой осадок				
влажность, %	95	95,7	—	97—98
зольность, %	12,5	27	—	17—20
Сброженный осадок				
влажность, %	95,5	95,7	—	97—98
зольность, %	35	38—41	—	25—32
Иловая вода из перегнивателя				
рН	7,9	7,6	—	7,5
щелочность, мг-экв/л	14—18	12	—	25
концентрация летучих жирных кислот, мг-экв/л	6—8	11	—	5—8
Величина распада органического вещества осадка, %	18,8—19,3	15,8—19,3	—	20—25

Примечание. На Ленинградском мясокомбинате установлены осветлители с естественной аэрацией.

в сточных водах молочного завода. Таким образом, в осветлителях за счет естественной аэрации жидкости и флокуляции загрязнений сточных вод достигается более высокий эффект очистки, чем при отстаивании в покое.

В осветлители допускается направлять избыточный активный ил и биопленку из вторичных отстойников после аэротенков и биофильтров. При этом влажность осадка, выгружаемого из осветлителей, составляет  $96\%$  для стоков мясокомбината и  $97,5\%$  — для стоков молочных заводов. Прирост активного ила при биологической очистке вод мясокомбинатов  $45\%$ , молочных заводов —  $10-15\%$  от количества снятых в аэротенках загрязнений по БПК<sub>полн</sub>. Количество избыточной биопленки при очистке сточных вод молочных заводов на биофильтрах составляет  $8-10\%$  от снятого БПК<sub>полн</sub>.

При расчете и проектировании осветлителей-перегивателей для очистки сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности следует исходить из следующих параметров [57]:

расчетная продолжительность пребывания сточных вод в осветлителе не менее  $1,5$  ч для стоков мясокомбинатов;  $1$  ч — для стоков молочных заводов;

продолжительность пребывания сточных вод в камере флокуляции не менее  $20$  мин;

восходящая скорость движения воды в отстойной зоне осветлителя  $0,7-0,9$  мм/с для стоков мясокомбинатов и  $0,8-1,5$  мм/с — для стоков молочных заводов;

диаметр нижнего основания камеры флокуляции определяют исходя из средней скорости жидкости в этом сечении, равной  $8-10$  мм/с;

скорость движения сточных вод в центральной трубе  $0,5-0,7$  м/с;

разность уровней жидкости в подводящем лотке и в осветлителе  $0,6$  м;

суточная доза загрузки осадка в перегиватель  $2,68\%$  для стоков мясокомбинатов и  $3\%$  — для стоков молочных заводов;

выпуск осадка из осветлителя  $1-2$  раза в сутки.

Исходными данными для расчета осветлителей-перегивателей являются максимальный часовой расход и суточный расход сточных вод, концентрация взвешенных веществ и БПК<sub>полн</sub> поступающих сточных вод, эффект задержания взвешенных веществ, суточная доза

загрузки осадка в перегниватель, влажность осадка, а также другие параметры, приведенные выше и в СНиП II-32—74.

В случае подачи в осветлитель-перегниватель избыточного активного ила или биопленки из узла последующей биологической очистки необходимо вычислить прирост ила.

Расчет осветлителя-перегнивателя проводят следующим образом.

Потребный объем осветлителя равен

$$W_{\text{осв}} = W_{\text{з.о}} + W_{\text{к.ф}}, \quad (14)$$

где  $W_{\text{осв}}$  — объем осветлителя, м<sup>3</sup>;  $W_{\text{з.о}}$  — объем зоны отстаивания, м<sup>3</sup>;  $W_{\text{к.ф}}$  — объем камеры флокуляции, м<sup>3</sup>.

Объем зоны отстаивания рассчитывают по уравнению

$$W_{\text{з.о}} = F_{\text{з.о}} h, \quad (15)$$

где  $F_{\text{з.о}}$  — площадь зоны отстаивания, м<sup>2</sup>;  $F_{\text{з.о}} = q_{\text{расч}} / v \cdot 3,6$ ; (15 а)  $q_{\text{расч}}$  — расчетный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;  $v$  — восходящая скорость потока в зоне отстаивания, мм/с;  $h$  — высота зоны отстаивания, м;  $h$  принимается равной 4,5 м, исходя из размеров типовых панелей.

Объем камеры флокуляции определяют по формуле

$$W_{\text{к.ф}} = q_{\text{расч}} T_{\text{к.ф}}, \quad (16)$$

где  $T_{\text{к.ф}}$  — продолжительность пребывания сточных вод в камере флокуляции, ч;  $T_{\text{к.ф}} \geq 20$  мин.

В случае подачи в осветлитель избыточного активного ила (или биопленки) объем камеры флокуляции будет равен

$$W_{\text{к.ф}} = (q_{\text{расч}} + q_{\text{ил}}) T_{\text{к.ф}}, \quad (17)$$

где  $q_{\text{ил}}$  — расчетный расход ила, м<sup>3</sup>/ч.

Рабочий объем одного осветлителя (при общем их количестве  $n$ ) составляет

$$W'_{\text{осв}} = (W_{\text{з.о}} + W_{\text{к.ф}}) / n.$$

Диаметр  $D_{\text{осв}}$  (в м) осветлителя рассчитывают по уравнению

$$D_{\text{осв}} = \sqrt{W'_{\text{осв}} \cdot 4 / (h\pi)}. \quad (18)$$

График для подбора количества и диаметра осветлителей в зависимости от расчетного расхода сточных вод

и заданной скорости восходящего потока в зоне отстаивания приведен на рис. 39.

Диаметр камеры флокуляции определяют из равенства

$$W_{к.ф} = \frac{\pi d_{к.ф}^2}{4} h_{ц} + \frac{1}{3} h_{к.ч} \frac{\pi}{4} (d_{к.ф}^2 + d_{к.ф} d_{н.о} + d_{н.о}^2), \quad (19)$$

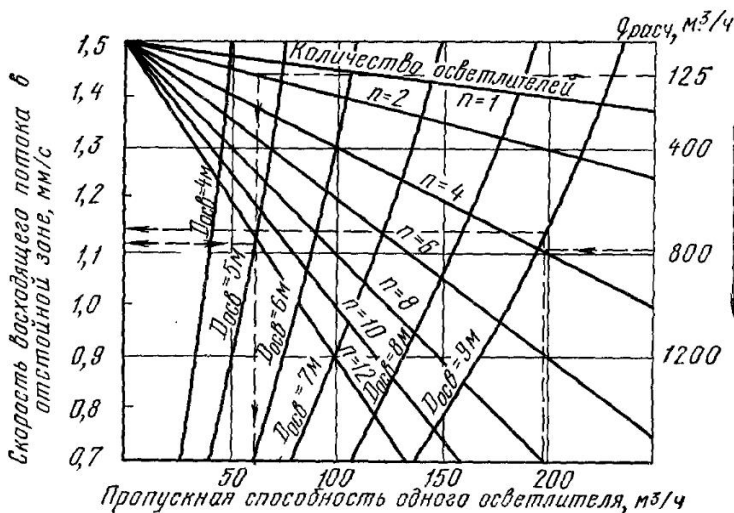


Рис. 39. График для подбора количества и диаметра осветителей.

Примеры подбора. 1. При расчетном расходе сточных вод  $q=125 \text{ м}^3/\text{ч}$  и количестве осветителей диаметром 5 м  $n=2$  пропускная способность одного осветителя 51,2  $\text{м}^3/\text{ч}$  при скорости потока в отстойной зоне  $v=1,12 \text{ мм/с}$ . 2. При  $q=800 \text{ м}^3/\text{ч}$  и количестве осветителей диаметром 9 м  $n=4$  пропускная способность одного осветителя 200  $\text{м}^3/\text{ч}$  при  $v=1,14 \text{ мм/с}$ .

где  $d_{к.ф}$  — диаметр камеры флокуляции, м;  $h_{ц}$ ,  $h_{к.ч}$  — высота цилиндрической и конической частей камеры флокуляции, м;  $h_{ц}=3,5 \text{ м}$ ,  $h_{к.ч}=1 \text{ м}$ ;  $d_{н.о}$  — диаметр нижнего основания конической части, м.

$$d_{н.о} = \sqrt{(q_{расч} + q_{нл})^4 / (n v_{вых} \pi)}, \quad (20)$$

здесь  $v_{вых}$  — скорость выхода сточных вод из камеры флокуляции, мм/с;  $v_{вых}=8-10 \text{ мм/с}$ .

Диаметр центральной трубы вычисляют по скорости нисходящего потока:

$$d_{ц.тр} = \sqrt{q_{расч} \cdot 4 / (n v_{ц.тр} \pi)}, \quad (21)$$

где  $d_{п.тр}$  — диаметр центральной трубы, м;  $v_{п.тр}$  — скорость нисходящего потока жидкости в центральной трубе, м/с;  $v_{п.тр} = 0,5 \div \div 0,7$  м/с.

Требуемый объем перегнивателя определяют по суточной дозе загрузки:

$$W_{пер} = (Q_{ос} + Q_{ил}) 100 / (dn), \quad (22)$$

где  $W_{пер}$  — объем перегнивателя, м<sup>3</sup>;  $Q_{ос}$  — количество сырого осадка, м<sup>3</sup>/сут;  $Q_{ил}$  — количество ила, м<sup>3</sup>/сут;  $d$  — суточная доза загрузки осадка, %.

Количество сырого осадка (по сухому веществу), выпадающего в осветлителе, рассчитывают по уравнению

$$G_{ос} = k_{в.в} \mathcal{E} Q / (100 \cdot 1000 \cdot 1000), \quad (23)$$

где  $G_{ос}$  — количество сырого осадка (по сухому веществу), т/сут;  $\mathcal{E}$  — эффект задержания взвешенных веществ, %;  $Q$  — суточный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут.

Количество избыточного активного ила (или биопленки) по сухому веществу определяют по формуле

$$G_{ил} = (L_a - L_t) Q_{Пр} / (100 \cdot 1000 \cdot 1000), \quad (24)$$

где  $G_{ил}$  — количество избыточного активного ила или биопленки, т/сут;  $L_a, L_t$  — БПК<sub>полн</sub> сточных вод соответственно до и после биологической очистки, мг/л;  $Пр$  — прирост активного ила, %.

Общее количество смеси загружаемого влажного осадка и ила находят по формуле

$$Q_{см} = Q_{ос} + Q_{ил} = (G_{ос} + G_{ил}) 100 / (100 - Вл), \quad (25)$$

где  $Вл$  — влажность смеси осадков, %.

Диаметр перегнивателя в зависимости от диаметра осветлителя и требуемого соотношения рабочих объемов осветлителя и перегнивателя  $W_{ос} / W_{пер}$  подбирают по графику, представленному на рис. 40.

В 1968 г. в институте Союзводоканалпроект были разработаны типовые проекты осветлителей-перегнивателей для очистки сточных вод мясокомбинатов ( типовые проекты 902—2—91, 92, 93), а в 1978 г. новые типовые проекты осветлителей-перегнивателей для сточных вод мясокомбинатов в трех типоразмерах ( типовые проекты 902—2—314, 15, 16). Данные об этих типовых сооружениях приведены в табл. 10.

При переработке типовых проектов в конструкцию осветлителей-перегнивателей были внесены некоторые изменения, в частности отстойная зона осветлителя бы-



ла оборудована четырьмя карманами для сбора всплывающих веществ (вместо одного в прежнем типовом проекте). В перегнивателе предусмотрено специальное

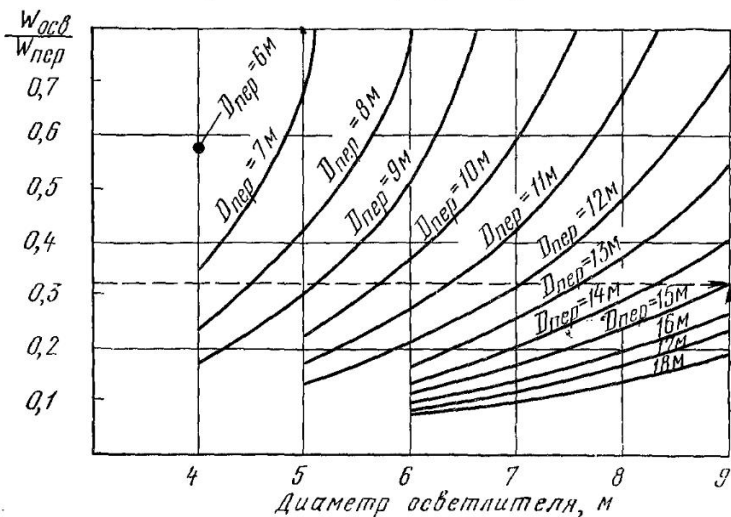


Рис. 40. График для подбора диаметра перегнивателей.

Пример подбора. При диаметре осветлителей  $d=9,0$  м и соотношении потребного объема осветлителя к объему перегнивателя  $W_{осв}/W_{пер}=0,32$ , диаметр перегнивателя составляет 15 м.

Таблица 10. Типоразмеры и пропускная способность осветлителей-перегнивателей для сточных вод мясокомбинатов (типовой проект 902—2—314, 315, 316)

Осветлитель-перегниватель			Осветлитель с естественной аэрацией					Пропускная способность осветлителя-перегнивателя		
диаметр, м	общая высота, м	рабочий объем перегнивателя, м <sup>3</sup>	диаметр, м	общая высота, м	высота зоны осветления, м	площадь зоны осветления, м <sup>2</sup>	объем камеры флокуляции, м <sup>3</sup>	суточная, м <sup>3</sup> /сут	расчетная	
									м <sup>3</sup> /ч	л/с
9	9,5	306	5	7,75	4,5	15,5	17,3	228	41,3	11,5
12	9,5	640	5	7,75	4,5	15,5	17,3	381	50	13,2
15	10,35	1060	6	8,84	4,5	22,5	23,7	615	73	20,2

устройство для выпуска иловой воды с разных уровней. Кроме того, изменены некоторые размеры сооружений с учетом применения типовых панелей (см. рис. 38).

Изменения, внесенные в типовой проект осветлителя-перегнивателя, дают возможность упростить процесс отбора и удаления всплывающих веществ из осветлителя, снизить влажность осадка в перегнивателе вследствие выпуска иловой воды. В результате этого влажность осадка снижается до 96% и соответственно уменьшается рабочий объем перегнивателя.

При работе осветлителя-перегнивателя подачу свежего осадка в перегниватель, перемешивание осадка в нем, подачу сброженного осадка на иловые площадки и перекачку иловой воды, выпускаемой из перегнивателя, осуществляют с помощью насосной станции.

Насосная станция оборудована фекальными насосами производительностью 150—200 м<sup>3</sup>/ч, количество которых зависит от количества осветлителей-перегнивателей. Один рабочий агрегат предназначен для обслуживания 4 осветлителей-перегнивателей.

Данные для подбора типовых осветлителей-перегнивателей для очистных станций мясокомбинатов приведены в табл. 11.

Данные табл. 11 определены при следующих параметрах: расчетные расходы и коэффициенты неравномерности притока сточных вод приняты в соответствии с мощностями типовых мясокомбинатов; продолжительность поступления сточных вод 16 ч (при двухсменной работе предприятий). Концентрация взвешенных веществ в поступающих сточных водах 1400 мг/л, БПК<sub>полн</sub> 1400 мг/л, эффект очистки 75% по взвешенным веществам и 15% по БПК<sub>полн</sub>. Прирост избыточного активного ила — 540 г на 1 м<sup>3</sup> сточных вод (45% от БПК<sub>полн</sub>), а влажность ила, подаваемого в осветлитель, 99,2%. Влажность смеси сырого осадка и ила в перегнивателе с учетом уплотнения ила в осветлителе-перегнивателе и удаления иловой воды принята 96%. Остальные данные для расчета приняты по приведенным выше рекомендациям и СНиП II-32—74.

*Пример расчета осветлителей-перегнивателей для очистки сточных вод молочного завода*

Расход сточных вод 1000 м<sup>3</sup>/сут; завод работает в две смены (16 ч). Коэффициент неравномерности притока сточных вод 2.  $K_{в.в.} = 350$  мг/л, БПК<sub>полн</sub> = 1200 мг/л.

Таблица 11. Данные для подбора типовых осветлителей-перегнивателей для очистки сточных вод мясокомбинатов

Расход сточных вод, м <sup>3</sup> /сут	Суточный коэффициент неравномерности	Расчетный расход (в м <sup>3</sup> /ч) подаваемых в осветлитель			Количество осадка, загружаемого в перегниватель, м <sup>3</sup> /сут			Потребное количество осветлителей-перегнивателей при диаметре осветлителя-перегнивателя, м		
		сточных вод	избыточного активного ила	общий	сырого	избыточного активного ила	общее	9	12	15
400	2,9	72,5	1,7	74,2	10,4	4,1	14,5	2	—	—
700	2,1	91,9	3	94,9	18,2	7,1	26,3	3	2	—
1100	2,1	144,4	4,6	149	28,6	11,1	39,7	5	3	2
1700	1,9	202	7,2	209,2	44,2	17,2	61,4	8	5	3
2000	1,9	237,5	8,4	245,9	52	20,2	72,2	—	5	4
2900	1,9	344,4	12,2	356,6	75,4	29,3	104,7	—	8	5
3900	1,9	463,1	16,5	479,5	101,4	39,4	140,8	—	10	6

Примечание. Зону отстаивания осветлителя рассчитывают на расход сточных вод; камеру флокуляции—на общий расчетный расход воды и избыточного активного ила.

В состав очистной станции входят аэротенки. БПК<sub>полн</sub> очищенной жидкости после аэротенков составляет 15 мг/л.

Определяем расчетный расход сточных вод:

$$q_{расч} = 1000 \cdot 2/16 = 125 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

По расчетному расходу сточных вод, пользуясь графиками (см. рис. 39), принимаем два осветлителя диаметром 5 м. При этом скорость восходящего потока в зоне отстаивания  $v = 1,12$  мм/с. Объем зоны отстаивания каждого осветлителя вычисляем по формулам (15 и 15а).

$$W_{з.о} = 125 \cdot 4,5 / (2 \cdot 1,12 \cdot 3,6) = 70 \text{ м}^3.$$

Объем камеры флокуляции рассчитываем на 20-минутное пребывание в ней сточных вод и избыточного активного ила. Используя формулы (24) и (25), находим расход избыточного ила, исходя из того, что БПК<sub>полн</sub> сточных вод, которые поступают в аэротенк, равна  $1200 \times 0,85 = 1020$  мг/л (с учетом снижения БПК<sub>полн</sub> на 15% в осветлителе), прирост ила — 15% от снятой БПК, а влажность ила — 99,2%.

$$q_{ил} = (L_a - L_t) 0,15 Q \cdot 100 / [t \cdot 1000 \cdot 1000 (100 - W_{л})] =$$

$$= (1020 - 15) \cdot 0,15 \cdot 1000 \cdot 100 / [16 \cdot 1000 \cdot 1000 (100 - 99,2)] \approx 1,2 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Объем камеры флокуляции находим по формуле (16) или (17).

$$W_{к.ф} = (q_{расч} + q_{ил}) 20 / (2 \cdot 60) = (125 + 1,2) 20 / (2 \cdot 60) = 21 \text{ м}^3.$$

Размеры камеры флокуляции: высота цилиндрической части 3,5 м, конической части — 1 м. Диаметр нижнего основания камеры, исходя из скорости выхода сточных вод из камеры флокуляции 9 мм/с, определяем по формуле (20)

$$d_{н.о} = \sqrt{(125 + 1,2) 4 / (2 \cdot 9 \cdot 3,6 \cdot 3,14)} \cong 1,6 \text{ м.}$$

Диаметр камеры флокуляции, определенный из формулы (19),  $d_{к.ф} = 2,6 \text{ м.}$

Проверка правильности выбора осветлителя  
Общий объем осветлителя по формуле (14) составляет  $W_{осв} = 70 + 21 = 91 \text{ м}^3.$

Диаметр осветлителя находим по формуле (18)

$$D_{осв} = \sqrt{(70 + 21) \cdot 4 / (4,5 \cdot 3,14)} = 5 \text{ м.}$$

Продолжительность пребывания сточных вод:  
в отстойной зоне

$$T_{о.з} = W_{з.о} / q_{расч} = 70 / 62,5 = 1,12 \text{ ч;}$$

в осветлителе  $T_{ос} = 1,12 + 0,3 = 1,42 \text{ ч.}$

Диаметр центральной трубы при скорости потока жидкости в ней 0,6 м/с, найденный по формуле (21), равен

$$d_{ц.тр} = \sqrt{(125 + 1,2) \cdot 4 / (2 \cdot 3600 \cdot 3,14 \cdot 0,6)} \cong 0,2 \text{ м.}$$

Количество сырого осадка (по сухому веществу), задерживаемого осветлителем, определяем по формуле (23)

$$G_{ос} = 350 \cdot 35 \cdot 1000 / (100 \cdot 1000 \cdot 1000) = 0,122 \text{ т/сут.}$$

Количество избыточного активного ила по сухому веществу вычисляем по формуле (24)

$$G_{ил} = (1020 - 15) \cdot 15 \cdot 1000 / (100 \cdot 1000 \cdot 1000) = 0,151 \text{ т/сут.}$$

Общий объем осадка и избыточного ила при влажности 97,5% рассчитываем по формуле (25)

$$Q_{см} = (0,122 + 0,151) 100 / (100 - 97,5) = 10,92 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Потребный объем перегнивателей при суточной дозе загрузки 3%, определенный по формуле (22), равен

$$W_{пер} = 10,92 \cdot 100 / 3 = 364 \text{ м}^3.$$

Объем одного перегнивателя  $364 / 2 = 182 \text{ м}^3.$

Соотношение между технологическими объемами осветлителя и перегнивателя равно

$$W_{ос} / W_{пер} = (70 + 21) / 182 = 0,5.$$

При диаметре осветлителя 5 м и отношении  $W_{ос} / W_{пер} = 0,5$ , диаметр перегнивателя (см. рис. 40) составляет 7,6 м.

Рабочий объем осветлителя с учетом толщины его стенок (0,15 м) составляет:

объем цилиндрической части высотой 4,5 м (без учета высоты бортов 0,3 м)

$$W'_{ц.о} = (\pi D_{осв}^2 / 4) 4,5 = (3,14 \cdot 5,3^2 / 4) 4,5 = 99,2 \text{ м}^3;$$

объем конической части

$$W'_{к.о} = \frac{1}{3} (\pi D_{осв}^2 / 4) h_{к.о} = [3,14 \cdot 5,3^2 / (3 \cdot 4)] \cdot 3,25 = 23,9 \text{ м}^3,$$

общий объем

$$W'_{осв} = 99,2 + 23,9 = 123,1 \text{ м}^3.$$

Рабочий объем осветлителя-перегнивателя диаметром 7,6 м составляет

$$W_{о.п} = W_{осв} + W_{пер} = 123,1 + 182 = 305,1 \text{ м}^3.$$

*Пример расчета осветлителей-перегнивателей для очистки сточных вод сыродельного завода*

Расход сточных вод 1000 м<sup>3</sup>/сут; расчетный расход 125 м<sup>3</sup>/ч.  $K_{в.в} = 600$  мг/л, БПК<sub>полн</sub> = 2400 мг/л. Избыточный активный ил подают в осветлитель, прирост ила составляет 10% от снятой БПК<sub>полн</sub>:  $Pr = (2400 \cdot 0,85 - 200) 0,1 = 202$  г/м<sup>3</sup>.

По графику (см. рис. 39) подбираем на расчетный расход сточных вод 125 м<sup>3</sup>/ч два осветлителя диаметром 5 м.

Количество осадка и избыточного активного ила ( $Vл = 97,5\%$ ), направляемых в перегниватель, равно

$$W_{см} = [K_{в.в} \cdot Q / (100 \cdot 1000 \cdot 1000) + Pr Q / (1000 \cdot 1000)] 100 / (100 - Vл) = \\ = [600 \cdot 35 \cdot 1000 / (100 \cdot 1000 \cdot 1000) + \\ + 202 \cdot 1000 / (1000 \cdot 1000)] 100 / (100 - 97,5) = 16,5 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Требуемый объем перегнивателя (при суточной дозе загрузки осадка 3%) составляет

$$W_{пер} = 16,5 \cdot 100 / 3 = 550 \text{ м}^3.$$

Рабочий объем одной камеры перегнивания равен  $550 / 2 = 275$  м<sup>3</sup>.

Отношение объема осветлителя к объему перегнивателя

$$W_{осв} / W_{пер} = (70 + 21) / 275 = 0,33.$$

По графику (см. рис. 40) для  $d_{осв} = 5$  м и

$$W_{осв} / W_{пер} = 0,33 \text{ получаем } D_{пер} = 8,7 \text{ м}.$$

В данном случае можно принять типовые осветлители-перегниватели диаметром 9 м, в которых объем перегнивателей равен 306 м<sup>3</sup>. Тогда фактическая доза загрузки осадка в перегниватель составит

$$d = [16,5 / (2 \cdot 306)] 100 = 2,7\%.$$

*Пример расчета осветлителей-перегивателей для очистки смеси бытовых сточных вод от поселка и сточных вод молочного завода.* Расход бытовых сточных вод 10 000 м<sup>3</sup>/сут, расчетный расход 670 м<sup>3</sup>/ч,  $K_{в.в.} = 216$  мг/л, БПК<sub>полн</sub> = 133 мг/л. Расход сточных вод завода 1000 м<sup>3</sup>/сут, расчетный расход 125 м<sup>3</sup>/ч.  $K_{в.в.} = 350$  мг/л, БПК<sub>полн</sub> = 1200 мг/л. Средняя температура сточных вод 14°С.

Подбираем осветлители по графику, изображенному на рис. 39, исходя из суммарного расчетного расхода сточных вод 795 м<sup>3</sup>/ч.

В данном случае принимаем четыре осветлителя диаметром  $D_{осв} = 9$  м при  $v = 1,12$  мм/с. Можно выбрать пять осветлителей диаметром 8 м при  $v = 1,14$  мм/с или восемь осветлителей диаметром 6 м при  $v = 1,3$  мм/с, возможны и другие варианты.

В осветлителе достигается снижение концентрации загрязнений бытовых сточных вод на 70% по взвешенным веществам и на 15% по БПК<sub>полн</sub> [55]; сточных вод молочных заводов — соответственно на 35 и 15%.

Количество сырого осадка (по сухому веществу), задерживаемого в осветлителе, равно

$$G_{ос} = 216 \cdot 0,7 \cdot 10\,000 / (1000 \cdot 1000) + 350 \cdot 0,35 \cdot 1000 / (1000 \cdot 1000) = 1,6 \text{ т/сут.}$$

Концентрация загрязнений сточных вод после осветлителя по взвешенным веществам

$$[216(1 - 0,7) 10\,000 + 350(1 - 0,35) 1000] / (10\,000 + 1000) = 79,6 \text{ мг/л,}$$

по БПК<sub>полн</sub>

$$(133 \cdot 10\,000 + 1200 \cdot 1000)(1 - 0,15) / (10\,000 + 1000) = 195,5 \text{ мг/л.}$$

Прирост избыточного активного ила в аэротенках при очистке бытовых сточных вод (СНиП II-32—74).

$$Pr_1 = 0,8 \cdot K_{в.в.} + 0,3 L_a = 0,8 \cdot 216(1 - 0,7) + 0,3 \cdot 133(1 - 0,15) = 85,8 \text{ г/м}^3.$$

Прирост избыточного активного ила при очистке сточных вод молочного завода (15% от снятого БПК<sub>полн</sub>)

$$Pr_2 = (1200 \cdot 0,85 - 15) \cdot 0,15 = 150,8 \text{ г/м}^3.$$

Общее количество избыточного ила влажностью 98% при подаче его в лоток перед осветлителем

$$W_{ил} = (85,8 \cdot 10\,000 + 150,8 \cdot 1000) 100 / [(100 - 98) 1000 \cdot 1000] = 50,4 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Количество сырого осадка бытовых сточных вод при влажности 95%

$$W_{ос.б} = 216 \cdot 0,7 \cdot 10\,000 \cdot 100 / [1000 \cdot 1000 (100 - 95)] = 30,2 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Количество сырого осадка стоков молочного завода при влажности 97%

$$W_{ос.м} = 350 \cdot 0,35 \cdot 1000 \cdot 100 / [1000 \cdot 1000 (100 - 97)] = 4,1 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общее количество осадка и избыточного ила

$$W_{см} = 50,4 + 30,2 + 4,1 = 84,7 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Средняя влажность смеси осадка и избыточного ила

$$W_{\text{см}} = (50,4 \cdot 98 + 30,2 \cdot 95 + 4,1 \cdot 97) / (50,4 + 30,2 + 4,1) = 96,9\%$$

Если предусмотрены выпуски иловой воды, то влажность осадка в перегнивателе может быть снижена до 96%. Тогда объем осадка составит

$$W_{\text{см}} = 84,7 (100 - 96,9) / (100 - 96) = 65,6 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Суточную дозу загрузки осадка в перегниватель определяем по СНиП II-32—74 при расчетной температуре сточных вод  $14^\circ\text{C}$  и влажности осадка 95%. Она составляет 2,28%.

Доза загрузки при влажности осадка 96%

$$d = 2,28 \cdot 96 / 95 = 2,3\%$$

Потребный объем перегнивателя

$$W_{\text{пер}} = 65,6 \cdot 100 / 2,3 = 2852 \text{ м}^3.$$

Объем одного перегнивателя  $2852/4 = 713 \text{ м}^3$ .

Определим отношение

$$W_{\text{ос}}/W_{\text{пер}} = (3,14 \cdot 9^2 \cdot 4,5/4) / 713 = 286/713 = 0,401$$

По этому соотношению, пользуясь графиком (см. рис. 40), выбираем диаметр перегнивателя 14 м и диаметр осветлителя 9 м,

$$W_{\text{ос}}/W_{\text{пер}} = 0,4.$$

Принимаем диаметр осветлителей-перегнивателей 14 м, тогда фактическая доза загрузки осадка составит

$$d = [W_{\text{см}} / (W_{\text{ос}}/0,4)] 100 = [65,6 \cdot 0,4 / (286 \cdot 4)] 100 = 2,29\%$$

## ОБРАБОТКА ОСАДКА

При очистке сточных вод мясокомбинатов и молочных заводов осадок образуется в песколовках, в первичных и вторичных отстойниках, в контактных резервуарах узла дезинфекции. При механической очистке средняя влажность осадка 95,4%, при последующей биохимической очистке в аэротенках — 97%. Количество осадка в среднем составляет 1,7% от расхода сточных вод.

Осадок из песколовки, содержащий в основном минеральные вещества, принято не смешивать с другими осадками, а направлять непосредственно на песковые площадки для обезвоживания. При очистке сточных вод мясокомбинатов осадок из песколовки целесообразно подавать на иловые площадки совместно с другими осадками или на специально выделенные иловые площадки.

Это обусловлено тем, что он, кроме песка, содержит еще в среднем 15% и остатков каныги и других органических веществ. Осадок органического происхождения из отстойников и контактных резервуаров сбраживают в осветлителях-перегнивателях и обезвоживают, как правило, на иловых площадках. Осадки сточных вод молочных заводов обезвоживают на иловых площадках с естественным основанием или на иловых площадках-уплотнителях. Для осадков сточных вод мясокомбинатов наиболее целесообразно применять иловые площадки-уплотнители. Расчет иловых площадок производят согласно СНиП и другим источникам [21, 55, 60, 76].

Площадки-уплотнители (рис. 41) позволяют механизировать процесс уборки подсушенного осадка. Для этой

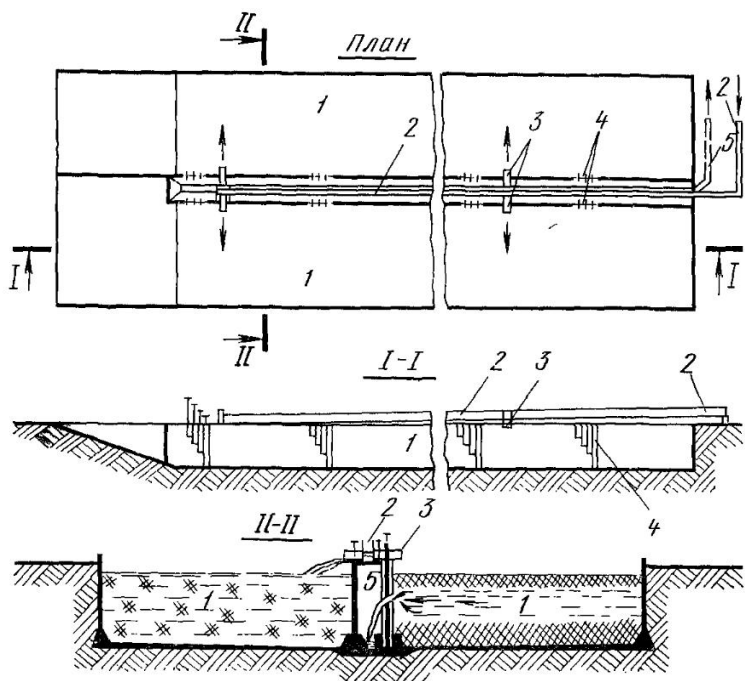


Рис. 41. Высоконагружаемые иловые площадки-уплотнители;

1 — резервуар иловой площадки, 2 — лоток для напуска осадка на площадку, 3 — выпуски (с шиберами) осадка на площадку, 4 — система шиберов для удаления иловой жидкости с различной глубины; 5 — лоток для отвода иловой жидкости в насосную станцию.



цели применяют экскаватор Э-352, оборудованный обратной лопатой или грейферным ковшом. Глубина площадок 2 м, ширина карты 9 м, длина 36—66 м.

Как показали исследования ЛИСИ, несброженный осадок сточных вод мясокомбинатов хорошо отдает воду. Это объясняется тем, что в осадке содержится некоторое количество остатков кормов, которые представляя собой своеобразный фильтр, армируют осадок. Нагрузка на иловые площадки-уплотнители в среднем составляла 14 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> в год. Влажность подсушенного осадка в зависимости от погодных условий колебалась от 75 до 80%. Зимой замерзшую корку осадка дробили металлическим шаром массой 800 кг, затем осадок грузили на самосвалы и вывозили. Таким образом выгрузку осадка с площадок проводили круглогодично.

Иловая жидкость, сливаемая с площадок, была весьма загрязнена органическими и минеральными веществами (взвешенных веществ — 1000 мг/л, БПК<sub>полн</sub> — 1500, общего азота — 30 мг/л). Количество иловой жидкости составляло 30—50% от объема обезвоживаемого осадка. Ввиду загрязненности иловой жидкости ее следует перекачивать в голову очистных сооружений. Сооружения необходимо рассчитывать с учетом дополнительного загрязнения от этой жидкости.

Обезвоженный осадок содержал (по сухому веществу) азота общего 2,9%, фосфорного ангидрида 0,92, окиси калия 0,3%, и его успешно использовали в качестве сельскохозяйственного удобрения.

## Глава 5. БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

### ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НА ПОЛЯХ ФИЛЬТРАЦИИ

При очистке сточных вод предприятий молочной промышленности на полях фильтрации следует не допускать их перегрузки загрязнениями. Перегрузка полей фильтрации может привести к неполному окислению загрязнений и развитию анаэробных процессов молочнокислого брожения, вызывающих закисание почвы. Восстановить поля после их временной перегрузки можно путем известкования почвы или снятия поверхностного слоя грунта.

Сточные воды перед подачей на поля фильтрации необходимо тщательно очищать от взвешенных веществ и жиров. Обычно для этой цели применяют отстаивание.

Как правило, нагрузку на поля фильтрации определяют, исходя из опыта их эксплуатации в аналогичных климатических и гидрогеологических условиях. Для ориентировочных расчетов нагрузка сточных вод молочных заводов (кроме сыродельных) на поля фильтрации приведена в табл. 12. Нагрузка сточных вод сыродельных заводов несколько меньше из-за большей концентрации в них органических загрязнений.

Таблица 12. Нагрузка сточных вод предприятий молочной промышленности на поля фильтрации

Грунт	Среднегодовая температура воздуха, °С	Нагрузка (в м <sup>3</sup> на 1 га в сутки) при залегании грунтовых вод на глубине, м		
		1,5	2	3
Легкие суглинки	0—3,5	8,5	9,3	10,2
	Более 3,5 до 6	11	11,9	12,7
	Более 6 до 11	11,9	12,7	14,4
	Более 11	13,6	14,4	17
	0—3,5	13,6	14,4	17
Супеси	Более 3,5 до 6	15,3	17	20,7
	Более 6 до 11	17	18,7	22,1
	Более 11	20,4	22,1	25,5
	0—3,5	20,4	23,8	30,5
Пески	Более 3,5 до 6	25,5	29,6	38,2
	Более 6 до 11	27,2	32,2	40
	Более 11	30,5	35,6	42,5

Примечание. Нагрузки указаны для районов со среднегодовым количеством атмосферных осадков 300—500 мм.

Поля фильтрации можно также использовать и для доочистки сточных вод после их биологической очистки (например, в аэротенках, биофильтрах или других сооружениях). Однако данные об использовании полей фильтрации для доочистки сточных вод, имеющиеся в литературе, весьма незначительны, что не позволяет их применять для расчета этих сооружений.

Поля фильтрации как сооружения для биохимической очистки сточных вод мясокомбинатов не нашли широкого применения.

Кафедрой канализации ЛИСИ исследована работа двух станций для очистки сточных вод мясокомбинатов. На этих станциях биохимическую очистку сточных вод осуществляли на полях фильтрации.

На одной из обследованных станций сточные воды после локальной очистки в навозоуловителях и песколовке—жироловке смешивались со сточными водами двух машиноремонтных предприятий и подвергались механической очистке на решетках, песколовках и двухъярусных отстойниках. После механической очистки сточные воды направлялись на поля фильтрации. Площадь полей фильтрации, состоявших из 4 карт, равнялась 3,7 га. Распределительная система была выполнена из железобетонных лотков. Дренажной (осушительной) системы не предусмотрено. Среднегодовая температура воздуха  $7,5^{\circ}\text{C}$ , грунты песчаные, уровень грунтовых вод лежит на 30 м ниже поверхности. Фактическая нагрузка сточных вод на поля  $195\text{ м}^3$  на 1 га в сутки. Поверхность карт зарастала травой. Осенью поля перепашивали. Сточные воды фильтровались в грунт полностью, не создавая заболоченных участков. На полях накапливался осадок, который один раз в год сгребали бульдозером и использовали как удобрение.

На другой станции сточные воды мясокомбината направляли на поля фильтрации после локальной, а затем механической очистки в осветлителях-перегнивателях. Число карт 4, общая их площадь 0,9 га, грунты песчаные на глубину 8—9 м. Дренажной системы не было. Среднегодовая температура воздуха  $4,2^{\circ}\text{C}$ , годовое количество атмосферных осадков 565 мм. Фактическая нагрузка  $540\text{ м}^3$  на 1 га в сутки. При такой перегрузке карты полей фильтрации заиливались и заболочивались. Вода почти не фильтровалась и загнивала.

Таким образом, при отсутствии перегрузок, нормальной эксплуатации и благоприятных климатических и грунтовых условиях поля фильтрации можно применять для биохимической очистки сточных вод мясокомбинатов.

#### ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРУДАХ

Кафедра канализации ЛИСИ исследовала возможность очистки сточных вод мясокомбинатов в биологических прудах. Сточные воды мясокомбинатов после ло-

кальной и последующей механической очистки общего стока могут быть очищены в биологических прудах до качества, соответствующего полной биологической очистке, т. е. до концентрации взвешенных веществ 12—20 мг/л и БПК<sub>полн</sub> 15—20 мг/л.

В результате проведенных исследований была определена оптимальная схема биологических прудов и разработан метод их расчета, учитывающий особенности состава сточных вод мясокомбината и степень предварительной очистки [6, 16].

Технологические схемы лабораторных биологических прудов приведены на рис. 42. Исследовали работу прудов глубиной 0,4 и 5 м (глубокие пруды).

В процессе работы биологических прудов наблюдалось развитие одноклеточных зеленых водорослей *Chlorella*, причем наибольшее их количество было в третьей ступени при искусственной аэрации. Водоросли путем фотосинтеза обогащали воду кислородом и одновременно значительно повышали эффективность изъятия биогенных элементов из сточной воды. В то же время наличие большого количества водорослей в очищенной воде вызывало так называемое вторичное загрязнение. При этом ХПК воды увеличивалась на 15—30%. Некоторые исследователи считают, что искусственная аэрация и перемешивание воды подавляют развитие водорослей. Наши наблюдения показали, что в аэрируемых прудах водоросли развивались интенсивно.

В целях сокращения времени, затрачиваемого на химические анализы, были выведены зависимости для пересчета ХПК в БПК<sub>полн</sub>: для очищенной воды после прудов с аэрацией  $\text{БПК}_{\text{полн}} = 0,22 \text{ ХПК} - 12,8$ ; для очищенной воды после прудов без аэрации  $\text{БПК}_{\text{полн}} = 0,16 \text{ ХПК} - 0,5$ . Эти зависимости можно использовать в практике эксплуатации очистных сооружений.

Результаты очистки сточных вод в биологических прудах (средние данные) приведены в табл. 13 и 14.

Из данных табл. 13 и 14 видно, что повышение температуры воды, искусственная аэрация, а также перемешивание способствуют интенсификации процесса очистки. Кроме того, более высокая степень предварительной очистки сточных вод позволяет достигнуть более глубокой очистки в биологических прудах при прочих равных условиях.

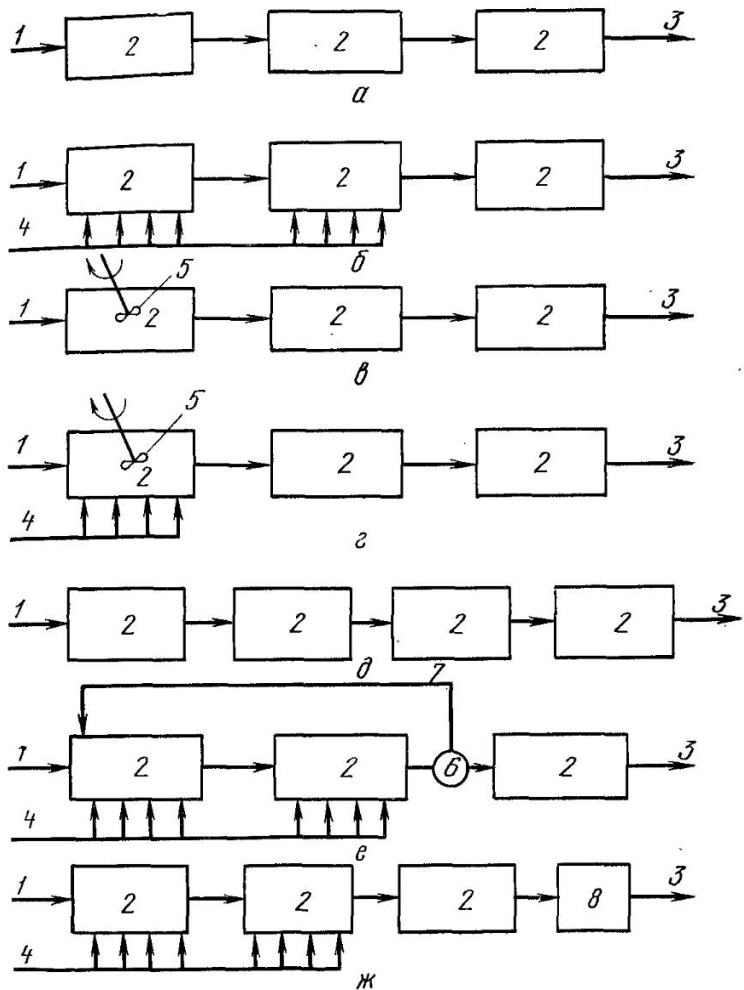


Рис. 42. Схема лабораторных биологических прудов:

*a* — трехступенчатый пруд без искусственной аэрации, *б* — трехступенчатый пруд с искусственной аэрацией в первой и второй ступенях, *в* — трехступенчатый пруд с механическим перемешиванием воды в первой ступени, *г* — трехступенчатый пруд с искусственной аэрацией и механическим перемешиванием в первой ступени, *д* — четырехступенчатый пруд без искусственной аэрации, *е* — трехступенчатый пруд с искусственной аэрацией и рециркуляцией ила, *ж* — четырехступенчатый пруд с искусственной аэрацией в первой и второй ступенях и с разведением мoinн или дафний в четвертой ступени; 1 — труба для подачи сточной воды, 2 — ступени прудов, 3 — труба для выпуска очищенной воды, 4 — трубопровод для подачи воздуха, 5 — механическая мешалка; 6 — отстойник, 7 — коммуникация циркуляции ила, 8 — пруд для разведения мoinн или дафний.

Таблица 13. Результаты работы лабораторных прудов

Биологические пруды (технологические схемы)	Способ предваритель- ной очистки сточных вод	Температура воды, °С	Исходная сточная жидкость			Очищенная вода					
			БПК <sub>полн.</sub> мг/л	различные вещества, мг/л	БПК <sub>полн.</sub> мг/л	раскисленные вещества, мг/л	раскисляющий кислород, мг/л	общий азот, мг/л	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/л	микробное число, тыс. клеток в 1 мл	копи-индекс, млн. клеток в 1 мл
Трехступенчатый пруд без искусственной аэрации, t = 5.3 = = 15 сут.	После ЭФК-У	27	398,9	28,3	22,3	9,3	0,29	37,8	2,6	10	6,6
			450,4	54	18,5	26,6	1,21	41,2	44,7	86,8	92,9
Трехступенчатый пруд с искусственной аэрацией, t = 5.3 = = 15 сут	То же	27	398,9	28,3	7,8	12,4	7,1	5,25	2,3	5,2	2,3
			450	54	98	57,5	92	51	93,1	97,9	99,9
Трехступенчатый пруд без искусственной аэрации, t = 5.3 = = 15 сут	После пен- ной сепара- ции	20	707,7	119	16	66,5	6,2	12,6	1,8	5,2	0,01
			96,4	—	96,4	—	60,2	81,5	81,4	99,3	99,9
Трехступенчатый пруд без искусственной аэрации с мешалкой в первой ступени, t = 5.3 = = 15 сут	После освет- лителей с естественной аэрацией	27	565	281	31,3	16	0,5	46	18,8	41	23
			96	—	95,5	86,5	5,7	61,1	55,8	99,23	95,4

Трехступенчатый пруд с искусственной аэрацией с мешалкой в первой ступени, $t = 5 \cdot 3 = 15$ сут	27	565	281	$\frac{11,6}{98}$	$\frac{54,7}{80,5}$	10,1	$\frac{18,2}{63,8}$	$\frac{4,3}{80,0}$	$\frac{9,4}{99,4}$	$\frac{0,05}{99,9}$
Трехступенчатый пруд с искусственной аэрацией и рециркуляцией ила, $t = 5 \cdot 3 = 15$ сут	20	694,4	151,6	$\frac{26,1}{96,3}$	$\frac{58,5}{61,4}$	8,9	$\frac{56,4}{59,2}$	$\frac{8,1}{52,3}$	$\frac{13,1}{97,9}$	$\frac{3}{97}$
Четырехступенчатый пруд без искусственной аэрации, $t = 5 \cdot 4 = 20$ сут	27	773,2	149	$\frac{29,8}{96,2}$	$\frac{47}{68,9}$	78	$\frac{32,6}{66,8}$	$\frac{15,0}{44,5}$	$\frac{40}{98}$	$\frac{15}{98}$
Трехступенчатый пруд без искусственной аэрации, $t = 5 \cdot 3 = 15$ сут	20	694,5	151,6	$\frac{27,6}{96}$	$\frac{40,6}{73,2}$	1,84	$\frac{76,6}{44,6}$	$\frac{10}{41,1}$	$\frac{17,7}{97,1}$	$\frac{2}{98}$
Трехступенчатый пруд без искусственной аэрации, $t = 5 \cdot 3 = 15$ сут	27	773,2	149	$\frac{21,9}{97}$	$\frac{27}{82}$	1,5	$\frac{33,6}{65,9}$	$\frac{26,4}{10,8}$	$\frac{20}{98,7}$	$\frac{10}{98,6}$
Трехступенчатый пруд без искусственной аэрации, $t = 5 \cdot 3 = 15$ сут	30	800,5	194	$\frac{23,3}{97,4}$	$\frac{21}{89,1}$	0,98	$\frac{17,8}{84,9}$	$\frac{25,8}{26,9}$	$\frac{40}{99}$	$\frac{20}{99,4}$
Трехступенчатый пруд с искусственной аэрацией, $t = 5 \cdot 3 = 15$ сут	5	933,1	262	$\frac{89,6}{90}$	$\frac{75,5}{37}$	0	—	—	—	—
Трехступенчатый пруд с искусственной аэрацией, $t = 5 \cdot 3 = 15$ сут	15	632,8	229	$\frac{48,4}{92}$	$\frac{83,9}{38,3}$	0	—	—	—	—
Трехступенчатый пруд с искусственной аэрацией, $t = 5 \cdot 3 = 15$ сут	27	1526,7	332	$\frac{72,1}{95}$	$\frac{88,5}{24}$	0,23	—	—	—	—
Трехступенчатый пруд с искусственной аэрацией, $t = 5 \cdot 3 = 15$ сут	27	583,7	198	$\frac{21,7}{96}$	$\frac{87,9}{96}$	—	—	—	—	—

165 *Примечание.* В числителе приведены концентрации загрязнений, в знаменателе — эффект очистки (в %).

Таблица 14. Эффективность удаления водорослей в прудах в результате разведения моин

Место отбора проб	ХПК, мг/л	Растворенный кислород, мг/л	Прозрачность, см	Количество водорослей, клеток в 1 л
На входе в пруд	182,2	5,05	2	$4032 \cdot 10^6$
На выходе из пруда	50,7	1,5	10,5	$300 \cdot 10^6$

В процессе очистки в биологических прудах сточные воды обеззараживаются. Бактериальная загрязненность снижается на 86,8—99,4% по микробному числу и 91,2—99,9% по коли-индексу. Кроме того, уменьшается количество биогенных веществ — солей азота и фосфора. Концентрация общего азота снижается до 5,25—76,6 мг/л, или на 92—41%,  $P_2O_5$  — соответственно до 17—26,4 мг/л, или на 82,4—10,8%. Остаточные концентрации биогенных элементов были наиболее низкими в прудах с искусственной аэрацией, с высокой температурой воды и меньшей степенью загрязненности исходного стока.

Наиболее эффективной оказалась схема четырехступенчатого пруда, в котором три ступени рассчитаны на пахождение в них сточной воды в течение 15 сут, а четвертая — в течение одних суток. В двух первых ступенях предусмотрена искусственная аэрация, в четвертой разводятся пизшие ракообразные дафнии или моины, для которых одноклеточные водоросли служат пищей.

При температуре воды ниже 25° С следует культивировать дафнии, при более высокой — моины.

Из данных табл. 14 видно, что за одни сутки в присутствии моин количество водорослей уменьшилось в 13 раз, за счет этого ХПК снизилась на 72,1% (с 182 до 50 мг/л), прозрачность увеличилась с 2 до 10,5 см. Некоторое снижение содержания растворенного кислорода не является в данном случае решающим фактором. Это происходит, по-видимому, в результате уменьшения количества водорослей, что обуславливает снижение эффективности продуцирования кислорода в процессе фотосинтеза.

Попадание некоторого количества моин или дафний в водоем с очищенной водой не нанесет вреда водоему, поскольку они являются пищей для рыб.



Эффективность работы глубоких прудов ( $h=5$  м) без искусственной аэрации ниже эффективности работы мелких прудов ( $h=0,4$  м) на 1—10%. Эффективность работы мелких и глубоких прудов с искусственной аэрацией была практически одинакова.

На дне биологических прудов со временем накапливается осадок. Для определения его количества было проведено специальное исследование, средние результаты которого представлены в табл. 15.

Таблица 15. Накопление осадка в биологических прудах (мг беззольного вещества на 1 л объема пруда)

Период накопления осадка	Порядковый номер ступени прудов					
	с аэрацией			без аэрации		
	1	2	3	1	2	3
Год	330	2000	576	320	1040	470
Пять суток	4,52	27,4	7,9	4,4	14,2	0,43

Слой осадка за один год в самом неблагоприятном случае (вторая ступень пруда) равнялся 0,009 м. При вычислении слоя осадка приняли зольность 30%, объемную массу 1,15 т/м<sup>3</sup> и среднюю влажность 90%. В прудах осадок образуется в основном в результате отмирания водорослей и лишь частично за счет взвешенных веществ, поступающих с исходными сточными водами. Беззольное вещество осадка представляет собой полуразложившееся органическое вещество.

При очистке сточных вод в биологических прудах большое значение имеет фотосинтез, осуществляемый водорослями. В результате фотосинтеза, с одной стороны, образуются новые органические вещества, которые увеличивают общее их содержание в воде. С другой стороны, в процессе фотосинтеза продуцируется кислород, потребляемый бактериями для окисления органических веществ. Водоросли способны непосредственно усваивать, т. е. извлекать из воды, органические загрязнения, увеличивая тем самым эффект очистки. Повышение содержания загрязнений из-за развития водорослей частично уравнивается в результате их деструкции. Для

значительного уменьшения количества водорослей, оставшегося в очищенной воде, рекомендуется дополнительно устраивать небольшой пруд, в котором культивируют мойны или дафнии.

В прудах с искусственной аэрацией в качестве аэраторов целесообразно применять механические аэраторы, которые не только обеспечивают насыщение воды кислородом воздуха, но и осуществляют перемешивание содержимого прудов, что интенсифицирует процессы очистки.

Существует несколько методов расчета биологических прудов. Однако они не учитывают в достаточной степени специфичность сточных вод мясокомбинатов [14, 20, 47, 83, 84, 85].

Нами за основу был взят метод расчета, учитывающий кинетику изъятия загрязнений из сточных вод и влияние на этот процесс структуры потока жидкости в пруду [20, 82].

Основное расчетное уравнение в упрощенном виде можно записать следующим образом:

$$C_t/C_0 = 4ae^{\frac{1-a}{2d}} / (1+a)^2; \quad (26)$$

$$a = \sqrt{1 + 4ktd}, \quad (27)$$

где  $C_0$  и  $C_t$  — концентрации загрязнений соответственно в исходной и очищенной жидкостях, мг/л ХПК;  $e$  — основание натуральных логарифмов;  $k$  — коэффициент скорости изъятия загрязнений, сут<sup>-1</sup>;  $t$  — продолжительность пребывания воды в пруду, сут;  $d$  — безразмерный параметр;  $d = D_L/uL$ ;  $D_L$  — эффективный коэффициент продольного перемешивания потока;  $u$  — линейная скорость потока, м/с;  $L$  — длина пруда, м.

По опытным данным [59], для аэрируемых прудов  $d=0,84$ , для неаэрируемых  $d=0,14$ .

Коэффициент скорости изъятия загрязнений  $k$  был различным для каждой ступени пруда и зависел от технологических схем (см. рис. 42) [6, 16]. Конкретные значения коэффициента скорости изъятия загрязнений определяют по уравнению

$$k_i = \delta \ln (C_i/C_{i-1}), \quad (28)$$

где  $k_i$  — коэффициент скорости изъятия загрязнений для определенной ступени и технологической схемы биологических прудов, сут<sup>-1</sup>;  $\delta$  — числовой коэффициент (табл. 16);  $C_i$ ,  $C_{i-1}$  — концентрации загрязнений в поступающей и выходящей из каждой ступени прудов сточной воде, мг/л ХПК.

Зависимость коэффициента  $k$  от температуры сточной воды определяется уравнением Фелпса [21] с поправкой, выведенной по результатам эксперимента:

$$k_T = \beta k_{20} \theta^{T-20}, \quad (29)$$

Таблица 16. Значения коэффициента  $\delta$  для различных технологических схем биологических прудов

Исходная сточная вода	Без аэрации			
	I ступень	II ступень	III ступень	IV ступень
После ЭФК-У, $T = 27^\circ\text{C}$	-0,24	-0,22	-0,238	—
После ОЕА, $T = 27^\circ\text{C}$	-0,242	-0,24	-0,224	-0,222
После ОЕА, $T = 20^\circ\text{C}$	-0,192	-0,188	-0,18	-0,18
После ОЕА (глубокие пруды), $T = 27^\circ\text{C}$	-0,236	-0,232	-0,23	—
После пенной сепарации, $T = 20^\circ\text{C}$	-0,24	-0,217	-0,209	—

Продолжение табл. 16

Исходная сточная вода	С аэрацией		
	I ступень	II ступень	III ступень
После ЭФК-У, $T = 27^\circ\text{C}$	-0,34	-0,247	-0,22
После ОЕА, $T = 27^\circ\text{C}$	-0,357	-0,249	-0,224
После ОЕА, $T = 20^\circ\text{C}$	-0,24	-0,2	-0,18
После ОЕА (глубокие пруды), $T = 27^\circ\text{C}$	-0,313	-0,244	-0,224
После пенной сепарации, $T = 20^\circ\text{C}$	—	—	—

Примечание. ОЕА — осветлитель с естественной аэрацией.

где  $k_T$  — коэффициент скорости изъятия загрязнений при температуре  $T$ , сут<sup>-1</sup>;  $\beta$  — средний коэффициент поправки;  $\beta=0,913$ ;  $k_{20}$  — коэффициент скорости изъятия загрязнений при  $20^\circ\text{C}$ , сут<sup>-1</sup>;  $\theta$  — эмпирический коэффициент; по Стриттеру  $\theta=1,047$ .

Таким образом,  $k$  изменяется во времени, зависит от технологических схем биологических прудов и от температуры сточной воды. Следовательно, процесс изъятия загрязнений из сточной воды в биологических прудах протекает с нестационарной кинетикой.

Расчет биологических прудов производят в следующем порядке. В зависимости от местных и климатических условий выбирают технологическую схему прудов.

Затем по требуемому снижению ХПК на каждой ступени прудов (для сточной жидкости после ЭФК-У эффект снижения ХПК в среднем составил 75% для первой ступени и по 15% — для второй и третьей ступеней) по уравнению (28) и данным, приведенным в табл. 16, с учетом уравнения (29) определяют коэффициенты скорости изъятия загрязнений для каждой ступени. Согласно найден-

ным значениям  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  по формулам (26) и (27) рассчитывают продолжительность  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  пребывания жидкости в каждой ступени биологического пруда. Четвертая ступень служит для ликвидации водорослей в очищенной воде. Для этого в нем в зависимости от температуры воды разводят дафний или моины. Четвертую ступень биологического пруда можно рассчитать на пребывание воды в течение одного суток. Эффективность снижения ХПК в IV ступени приблизительно 72%.

Аэраторы в аэрируемых секциях рассчитывают по методикам, приведенным в главе 7.

## ДООЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРУДАХ

В качестве сооружений для доочистки сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности (после их полной биологической очистки в аэротенках или биофильтрах) получили распространение биологические пруды. Это обусловлено относительно небольшими расходами сточных вод предприятий отрасли, а также значительным снижением производительности этих предприятий зимой. Для доочистки сточных вод применяют пруды с естественной и искусственной аэрацией.

В пруду доочистки загрязнения изымаются аэробными микроорганизмами, которые поступают в них с очищенной жидкостью из вторичных отстойников (после аэротенков и биологических фильтров), а также развиваются непосредственно в самих прудах. Важную роль выполняет высшая водная растительность (водоросли).

Кислород, необходимый для окисления органических загрязнений, в пруды с естественной аэрацией поступает через их открытую поверхность вследствие атмосферной реаэрации. Кроме того, кислород образуется в результате фотосинтеза.

Пруды с естественной аэрацией характеризуются низкими скоростями процесса очистки сточных вод. Частично это объясняется неудовлетворительно организованной структурой потока в них. Значительная площадь прудов, малая глубина (0,4—0,6 м), ветровые течения создают непроточные зоны, местами повышенную струйность потока. Все это уменьшает фактическую продолжительность пребывания сточных вод в прудах, а это в свою очередь снижает эффект очистки. Скорость биохимического процесса изъятия и окисления органических загрязнений в прудах с естественной аэрацией лимити-

руется низкими скоростями атмосферной реаэрации и процессов массообмена.

В прудах с искусственной аэрацией в результате подачи необходимого количества воздуха при интенсивном перемешивании жидкости скорость биохимического процесса в 5—7 раз больше, чем скорость биохимического процесса в прудах с естественной аэрацией. Кроме того, повышается степень использования полезного объема аэрируемых прудов.

Искусственная аэрация позволяет устраивать пруды глубиной 3—5 м, в то время как естественная аэрация лимитирует глубину прудов до 1 м во избежание образования анаэробных придонных зон [25, 47, 49, 59].

Биологические пруды как с естественной, так и с искусственной аэрацией могут быть одноступенчатыми и многоступенчатыми. Применение многоступенчатых прудов позволяет улучшить структуру потока жидкости, уменьшить объем непроточных зон, исключить возможность проскока неочищенной сточной воды через сооружение и таким образом повысить эффективность и производительность прудов. Технологические схемы работы одноступенчатых и многоступенчатых прудов с естественной и искусственной аэрацией приведены на рис. 43.

В прудах с естественной аэрацией для улучшения кислородного режима может быть предусмотрена рециркуляция очищенной воды (рис. 43, I а) или устройство водосливов-аэраторов перед и после каждой ступени пруда. Производительность аэрируемых прудов можно увеличить рециркуляцией активного ила (рис. 43, I б), что обеспечивает более высокую концентрацию биомассы. В этом случае после прудов необходимо устанавливать отстойники для отделения активного ила.

Многоступенчатые биологические пруды могут быть устроены со смешанным типом аэрации (рис. 43, II в). Например, первую ступень биологических прудов, где осуществляется основное изъятие загрязнений, делают с искусственной аэрацией, вторую ступень — с естественной аэрацией.

Аэрацию прудов осуществляют с помощью пневматической или механической систем, устраиваемых аналогично системам аэрации аэротенков. Ввиду возможных колебаний уровня воды в прудах механические аэраторы размещают на понтонах [25].

Структура потока жидкости в прудах с естественной аэрацией определяется их конфигурацией в плане, геометрическими размерами, конструкцией впускных и выпускных устройств. Кроме того, структура потока жидкости в прудах зависит от ветровых воздействий, солнеч-

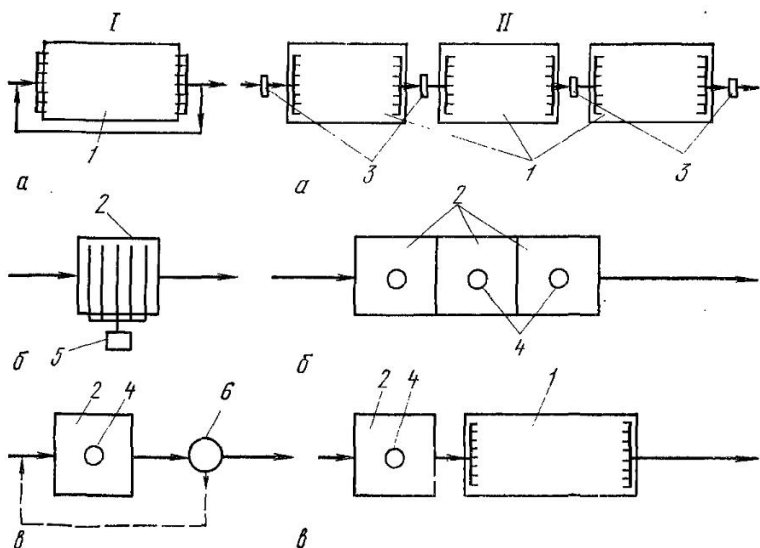


Рис. 43. Технологические схемы работы биологических прудов:

*I* — одноступенчатые пруды, *а* — с естественной аэрацией и рециркуляцией воды, *б* — с искусственной пневматической аэрацией, *в* — с искусственной механической аэрацией и рециркуляцией активного ила; *II* — многоступенчатые пруды, *а* — с естественной аэрацией, *б* — с искусственной аэрацией, *в* — смешанный тип, *1* — биологический пруд с естественной аэрацией, *2* — биологический пруд с искусственной аэрацией, *3* — водосливы — аэраторы, *4* — механический аэратор, *5* — воздуходувная станция; *6* — вторичный отстойник.

ной радиации, наличия водорослей и других факторов. На структуру потока жидкости в прудах с искусственной аэрацией в основном влияют количество и расположение аэраторов, их перемешивающие способности. Кривые распределения продолжительности пребывания сточных вод в одноступенчатых прудах с естественной и искусственной аэрацией показаны на рис. 44. Характер этих кривых показывает, что режим движения жидкости в прудах с естественной аэрацией приближается к режиму идеального вытеснения, в прудах с искусственной аэрацией — к режиму идеального смешения.

В прудах с естественной аэрацией значительный объем могут занимать застойные зоны и циркуляционные потоки. Для уменьшения объема застойных зон пруды оборудуют устройствами для равномерного распределения и сбора воды, выполненными в виде дырчатых трубопроводов и расположенными по всей ширине прудов.

Пруды с искусственной аэрацией можно устраивать со сосредоточенным выпуском и отводом сточных вод, так как благодаря искусственной аэрации в них происходит интенсивное перемешивание жидкости аэраторами.

При определении полного объема прудов необходимо учитывать их нерабочий объем, занимаемый застойными зонами и циркуляционными потоками. Для биологических прудов с естественной аэрацией, име-

ющих сильно изрезанные берега (например, в случае использования под пруды естественных понижений рельефа местности, балок, оврагов), этот объем составляет 10—50% от общего объема пруда; для прудов с ровными берегами и рассредоточенным выпуском и отводом жидкости — 10—20%. В прудах с искусственной аэрацией этот объем обычно не превышает 10%.

Неаэрируемые биологические пруды доочистки рассчитывают следующим образом [25, 49].

Рабочий объем прудов определяют по уравнению

$$W_p = Qt, \quad (30)$$

$$t = (1/k_1) \lg(L_a/L_t), \quad (31)$$

где  $W_p$  — рабочий объем прудов, м<sup>3</sup>;  $Q$  — расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;  $t$  — продолжительность пребывания сточных вод в прудах, сут;  $k_1$  — коэффициент скорости процесса, сут<sup>-1</sup>;  $L_a$ ,  $L_t$  — БПК<sub>полн</sub> поступающих и очищенных сточных вод, г/м<sup>3</sup>.

Первая ступень прудов является отстойником и не рассматривается как собственно биологический пруд. Объем первой ступени принимают равным суточному

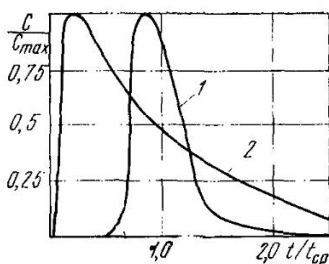


Рис. 44. Кривые распределения продолжительности пребывания сточных вод в биологических прудах с естественной (1) и искусственной аэрацией (2).

расходу сточных вод; эффект снижения концентраций загрязнения по БПК<sub>полн</sub> за счет удаления взвешенных веществ в первой ступени составляет 10—15%.

При расчете собственно биологических прудов следует учитывать, что при доочистке сточных вод в этих сооружениях БПК<sub>полн</sub> нельзя снизить до нуля, так как в прудах протекают внутренние биологические процессы, сопровождающиеся выделением в воду продуктов жизнедеятельности водных организмов и разложением отмирающих форм. Обычно БПК<sub>полн</sub> воды даже для водоемов, практически не загрязненных, не бывает ниже 2—3 мг/л, а во время цветения составляет 5—6 мг/л. Поэтому для расчета последней ступени прудов формулу (31) представляют в виде

$$\approx 1/k_1 \lg [(L_a - L_r)/(L_b - L_r)], \quad (32)$$

где  $L_a$  — БПК<sub>полн</sub> сточных вод на входе в последнюю ступень прудов, мг/л;  $L_r$  — БПК<sub>полн</sub>, обусловленная внутриводоемными процессами, мг/л;  $L_r = 3 \div 4$  мг/л;  $L_b$  — БПК<sub>полн</sub> воды, выходящей из последней ступени прудов, мг/л;  $L_b = 5 \div 7$  мг/л.

При устройстве биологических прудов в три и более ступени вторую и другие промежуточные ступени рассчитывают по формуле (31).

Для учета непроточных и водоворотных зон при определении полного объема биологических прудов вводят коэффициент запаса.

Объем прудов с учетом этих зон определяют по формуле

$$W = \alpha Qt,$$

где  $\alpha$  — коэффициент запаса; для прудов с сильно изрезанными берегами  $\alpha = 1,67 \div 2$ , а для прудов с ровными берегами  $\alpha = 1,11 \div 1,25$ .

Очевидно, что при устройстве одноступенчатых прудов объем непроточных зон будет больше, чем их объем в многоступенчатых прудах.

Поэтому для одноступенчатых прудов принимают большее значение коэффициента запаса, а для прудов с числом ступеней более трех — меньшее. Рекомендуется принимать не менее двух ступеней собственно биологических прудов. Расчеты показывают, что в этом случае при одинаковой степени очистки сточных вод продолжительность их пребывания в многоступенчатых прудах меньше, чем в одноступенчатых.



Биологические пруды с естественной аэрацией можно применять для круглогодичной или сезонной работы. Зимой скорость окисления загрязнений снижается, и это обстоятельство следует учитывать в расчетах. При этом следует иметь в виду, что необходимую степень очистки рассчитывают по расходу воды водосма 95%-ной обеспеченности независимо от времени года, в течение которого он наблюдается. При сезонной работе биологических прудов необходимо учитывать сезонность в выборе расчетного расхода воды в водоеме. В связи с этим для расчета разбавления следует принимать расход воды в водосме критическим для данного времени года (например, 95% обеспеченности зимой и пр.).

Значение коэффициента скорости процесса очистки для сточных вод после полной биологической очистки можно принимать  $0,04-0,07 \text{ сут}^{-1}$  при температуре воды  $T=20^\circ \text{C}$ .

При другой расчетной температуре

$$k_{1(T)} = k_{1(20)} 1,047^{(T-20)}.$$

Потребную площадь прудов (активную площадь), через которую осуществляется атмосферная реаэрация, определяют по формуле

$$F_a = C_p Q (L_a - L_t) / (C_p - C) r_1,$$

где  $F_a$  — потребная площадь пруда,  $\text{м}^2$ ;  $C_p$  — предельная растворимость кислорода при данных условиях,  $\text{мг/л}$ ;  $C$  — содержание кислорода в пруде,  $\text{мг/л}$ ; принимается не менее  $1-2 \text{ мг/л}$ ;  $r_1$  — удельная скорость реаэрации при полном дефиците кислорода,  $\text{г/м}^2$  в сутки;  $r_1=2,5 \text{ г/м}^2$  в сутки.

Общая площадь прудов с учетом неаэрируемых и слабоаэрируемых (непроточных) зон составляет  $F = F_a a$ .

Рабочая глубина воды в прудах с естественной аэрацией принимается равной не более 1 м.

Многоступенчатые биологические пруды доочистки с искусственной аэрацией [49], имеющие одинаковые объемы ступеней, рассчитывают по формуле

$$L_t = L_a \beta^n + [(1 - \beta^n) / (1 - \beta)] L_T, \quad (33)$$

где  $\beta = 1 / (1 + 2,3kW/Q)$ ,

$n$  — количество ступеней биологического пруда;  $W$  — объем ступени,  $\text{м}^3$ ;  $k$  — коэффициент скорости процесса, принимается в 5—7 раз больше, чем для прудов с естественной аэрацией.

Для расчета одноступенчатых прудов формула (33) имеет вид

$$L_t = L_n \beta + L_r. \quad (34)$$

Формулу (34) можно применять для расчета многоступенчатых прудов с разными объемами ступеней. В этом случае расчет ведут последовательно для каждой ступени, учитывая снижения концентрации загрязнений в пруду предыдущей ступени, коэффициент скорости процесса в ней.

Объем прудов, определенный в результате расчета, следует увеличить на 10—11% для учета непроточных и водоворотных зон.

Аэрационное оборудование прудов рассчитывают по методике, изложенной в главе 7, причем необходимо иметь в виду, что вода, поступающая в пруды и выходящая из них, содержит определенное количество растворенного кислорода. В тех случаях, когда требуется обеспечить заданную концентрацию кислорода в очищенной жидкости, аэрационное оборудование прудов рассчитывают с учетом этой концентрации.

При использовании пневматической аэрации потребный расход воздуха составляет

$$D = [z(L_a - L_t) + (C - C_0)] / [k_1 k_2 n_1 n_2 (C_p - C)], \quad (35)$$

где  $D$  — потребный расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $z$  — удельный расход кислорода воздуха; при доочистке  $z = 1,5 \div 2$  мг/мг снятой БПК<sub>полн</sub>;  $C$ ,  $C_0$  — соответственно концентрация кислорода в жидкости, выходящей и поступающей из пруда (или ступени), мг/л;  $k_1$  — коэффициент, учитывающий тип аэратора;  $k_2$  — коэффициент, зависящий от глубины погружения аэратора;  $n_1$  — коэффициент, учитывающий влияние температуры;  $n_2$  — коэффициент, учитывающий качество воды.

Остальные параметры, входящие в формулу (35), принимают такими же, как и при расчете аэрационного оборудования аэротенков. Во всех ступенях биологических прудов концентрация растворенного кислорода должна быть не менее 2—3 мг/л. Аэраторы устраивают из дырчатых труб, расположенных, как правило, параллельно движению основного потока жидкости. Расстояние между трубами принимают равным удвоенной глубине пруда.

Расход воздуха для каждой ступени пруда определяют по формуле (35), а общий расход воздуха (в м<sup>3</sup>/сут) по формуле

$$Q_{\text{возд}} = Q \sum_1^n D.$$

При использовании механической аэрации потребное количество аэраторов для каждой ступени определяют по уравнению

$$m = \{[z(L_a - L_t) + (C - C_0)] Q\} / [n_1 n_2 \Pi (C_p - C) / C],$$

где  $m$  — потребное количество аэраторов;  $\Pi$  — производительность механического аэратора по кислороду, г/сут; принимается в зависимости от типа аэратора.

Для предотвращения размывания грунта под аэраторами (в случае слабых грунтов) дно прудов следует укреплять.

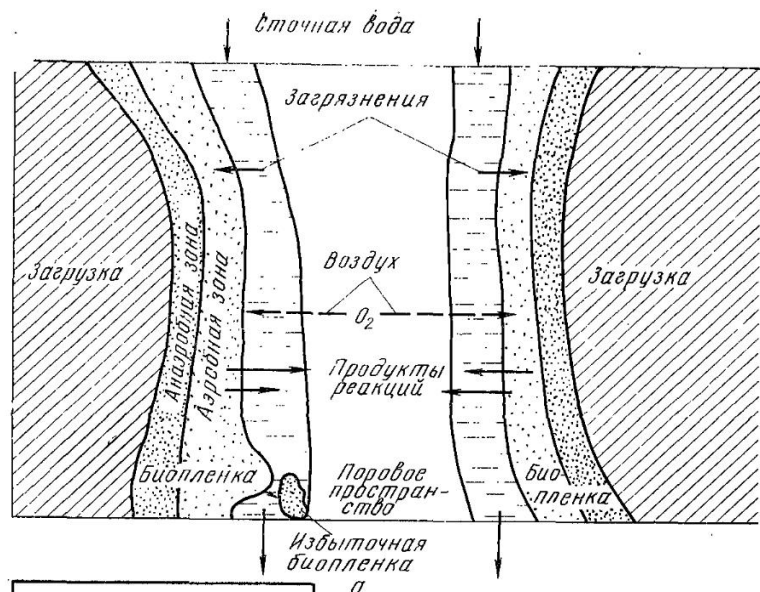
При доочистке сточных вод в биологических прудах значительно снижается количество бактериальных загрязнений (по кишечной палочке). Это обусловлено развитием водорослей, продукты метаболизма которых обладают бактерицидным действием по отношению к патогенным микроорганизмам. Но несмотря на это, необходимо предусматривать возможность хлорирования воды на выходе из биологических прудов на тот случай, если пруды выйдут из строя, а также при работе их зимой.

Биологические пруды следует размещать в местах со слабофильтрующими грунтами (глины, суглинки), на землях, непригодных для сельскохозяйственного использования, с подветренной стороны к жилой застройке. Направление движения воды в них должно быть перпендикулярно господствующему направлению ветра, что создает условия для дополнительного перемешивания воды в прудах и, следовательно, более полного использования объема их за счет сокращения непроточных зон.

Рекомендуется устраивать не менее двух ступеней прудов, расположенных параллельно, что уменьшает возможность образования волн и позволяет отключать отдельные пруды для очистки или ремонта. Наиболее целесообразная форма прудов в плане — прямоугольная с отношением длины к ширине от 2:1 до 3:1. Ограждающие дамбы выполняют земляными с шириной по

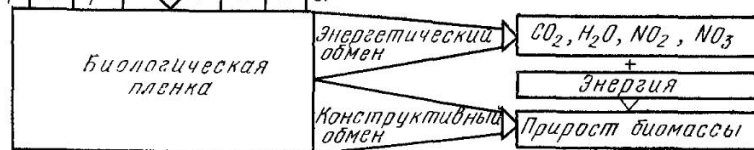






Органические вещества  
Биогенные элементы  
N, P, Ca, Mg, K и др.  
Кислород

Ф е р м е н т ы



б

Рис. 45. Схемы массообменных процессов, протекающих при очистке сточных вод на биологических фильтрах (а), и окислительных процессов, происходящих в биопленке (б).

счет разности его концентраций на границе раздела фаз жидкость — воздух (максимальная концентрация загрязнений) и жидкость — биопленка (минимальная концентрация), так и вследствие перемешивания жидкости при ее протоке через загрузку биологического фильтра.

При этом скорость турбулентной диффузии может намного превышать скорость молекулярной диффузии.

Кислород воздуха, необходимый для протекания биологического процесса, поступает к биопленке из порового пространства загрузки биологического фильтра.

Перенос и фиксирование (сорбция) органических веществ на поверхности клетки или в околоклеточном пространстве сопровождаются гидролизом сложных соединений под действием различных ферментов, а также в результате диффузии веществ через проницаемую мембрану клетки.

В ходе внутриклеточных процессов происходит окисление органических веществ (энергетический обмен) и синтез нового материала клетки (конструктивный обмен). Процесс окисления сопровождается выделением энергии, процесс синтеза идет с ее потреблением (рис. 45, б).

Продукты распада органических загрязнений выносятся из биопленки в слой жидкости и отводятся с потоком жидкости (растворенные вещества) и с потоком воздуха (газообразные). Одновременно потоком жидкости вымывается избыточная (прирастающая) биопленка, которая выносится из биологического фильтра вместе с очищенной водой. Для отделения избыточной биопленки очищенные сточные воды после биологических фильтров отстаивают во вторичных отстойниках.

Характер протекания процесса очистки сточных вод на биологическом фильтре показан на рис. 46. Данные этого графика получены при работе биологического фильтра на контакте, т. е. в условиях, когда выходящая из загрузки биологического фильтра жидкость вновь подавалась на сооружение.

Как видно из рис. 46, концентрация органических загрязнений  $L_{II}$  сначала быстро снижается при продолжительности процесса от  $t_0$  до  $t_1$ , что свидетельствует о высоких скоростях изъятия загрязнений на этом участке. Одновременно резко увеличивается количество биопленки (кривая 2) по сравнению с начальным  $G_{II}$ , причем скорость роста микроорганизмов биопленки по мере уменьшения концентрации загрязнений в жидкости постепенно снижается. К моменту времени  $t_1$  количество биопленки становится стабильным, так как недостаток питания тормозит дальнейший рост клеток. При-

рост биомассы в этот момент времени максимальный.

При дальнейшем увеличении продолжительности процесса очистки сточных вод в биологическом фильтре концентрация органических загрязнений продолжает снижаться (кривая 1), но скорость на участках  $t_1 - t_2$  и  $t_2 - t_3$  значительно ниже, чем в начале процесса. Вви-

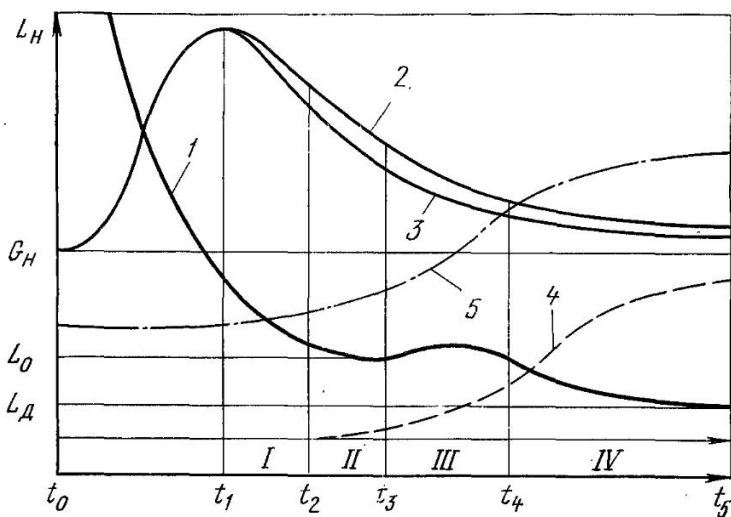


Рис. 46. Протекание процесса очистки сточных вод на биологических фильтрах (на контакте):

1 — концентрация органических загрязнений, 2 — общая масса биопленки, закрепленной на загрузке и циркулирующей, 3 — масса биопленки, закрепленной на загрузке биологического фильтра, 4 — концентрация нитритов и нитратов, 5 — зольность биомассы.

ду низкой остаточной концентрации загрязнений в жидкости, отсутствия достаточного питания для жизнедеятельности микроорганизмов биопленки на этих участках начинается процесс отмирания (самоокисления) биомассы. Часть биопленки смывается с загрузки биологического фильтра и поступает в очищаемую жидкость. Вследствие распада биомассы ее общее количество уменьшается (кривая 2), также уменьшается количество биопленки, закрепленной на загрузке (кривая 3), зольность биомассы повышается (кривая 5).

Участок I (см. рис. 46) при продолжительности процесса очистки сточных вод от  $t_1$  до  $t_2$  характеризует



режим работы биологических фильтров при неполной биологической очистке. При работе в этом режиме концентрация загрязнений по БПК снижается до 100—30 мг/л, наблюдается большой прирост биомассы, процесс идет без нитрификации.

При продолжительности процесса очистки от  $t_2$  до  $t_3$  (участок II) биологические фильтры работают в режиме полной биологической очистки; БПК жидкости снижается до  $L_0=15\div 25$  мг/л, в очищенной жидкости появляются нитриты и нитраты (кривая 4). Количество биомассы как закрепленной на загрузке биологического фильтра, так и выносимой с очищенной жидкостью, снижается вследствие процессов самоокисления.

Увеличение продолжительности процесса от  $t_3$  до  $t_4$  сопровождается дальнейшим распадом и, следовательно, уменьшением количества биомассы в биологическом фильтре (кривые 2 и 3), зольность ее повышается. Этот участок III характеризует режим стабилизации биомассы, аналогичный режиму продолженной аэрации при очистке сточных вод с активным илом. При работе биологических фильтров в этом режиме можно получить наименьший прирост биопленки, высокую степень минерализации выносимой из биологического фильтра избыточной биопленки, что позволяет облегчить дальнейшую ее обработку. Стабилизированная избыточная биомасса, выносимая из биологических фильтров, работающих в этом режиме, не требует дополнительного сбраживания и может быть сразу направлена на иловые площадки для подсушивания.

Концентрация загрязнений сточных вод на участке III не только не снижается по сравнению с концентрацией загрязнений на участке II, но и может даже несколько увеличиваться (кривая 1) за счет вторичного загрязнения очищенной жидкости продуктами распада биомассы. В конце участка III при продолжительности процесса  $t_4$  в биологическом фильтре развиваются микроорганизмы, адаптированные к остаточным трудноокисляемым загрязнениям сточных вод, что обуславливает дальнейшее снижение концентрации загрязнений.

Участок IV характеризует работу биологических фильтров в режиме доочистки сточных вод до величины остаточных загрязнений по БПК  $L_d=15\div 5$  мг/л. В этом режиме прирост биомассы крайне незначительный, золь-

ность избыточной биомассы высокая, процесс нитрификации протекает интенсивно.

Рассмотренный ход процесса очистки сточных вод на биологических фильтрах на контакте иллюстрирует возможность работы этих сооружений в различных режимах и в проточных условиях. Режим работы биологических фильтров, принятый на основании местных условий и требуемого качества очищенных сточных вод, обуславливает выбор типа и конструкции этих сооружений, технологических параметров их работы, схемы всей очистной станции.

Основные технологические параметры, определяющие режим работы биологических фильтров, — нагрузка по органическим загрязнениям, окислительная мощность, гидравлическая нагрузка на биологический фильтр, средняя продолжительность протока сточных вод через биологический фильтр, коэффициент рециркуляции, расход подаваемого воздуха.

Нагрузка по органическим загрязнениям измеряется количеством органических загрязнений, подаваемых вместе со сточными водами на биологический фильтр в единицу времени, и является основным показателем, определяющим режим и условия биологического процесса (см. рис. 46). Обычно пользуются удельной нагрузкой по БПК<sub>полн</sub>, отнесенной к 1 м<sup>3</sup> объема биологического фильтра:

$$N = L_a Q / W,$$

где  $N$  — удельная нагрузка по БПК<sub>полн</sub>, г/(сут·м<sup>3</sup>);  $L_a$  — БПК<sub>полн</sub> исходных сточных вод, г/м<sup>3</sup>;  $Q$  — расход сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;  $W$  — объем биологического фильтра, м<sup>3</sup>.

Для сравнения режимов работы биологических фильтров удельную нагрузку правильнее определять на единицу площади поверхности биопленки или площади поверхности фракций загрузки:

$$N_1 = L_a Q / f_z,$$

где  $N_1$  — удельная нагрузка, г/(сут·м<sup>2</sup>);  $f_z$  — площадь поверхности загрузки, м<sup>2</sup>.

Окислительную мощность, или производительность биологического фильтра по количеству изъятых органических загрязнений в процессе очистки сточных вод, выражают в граммах БПК<sub>полн</sub> на 1 м<sup>3</sup> загрузки в сутки:

$$OM = (L_a - L_t) Q / W,$$

где  $OM$  — окислительная мощность,  $г/(сут \cdot м^3)$ ;  $L_t$  — БПК<sub>полн</sub> очищенных сточных вод,  $г/м^3$ .

Гидравлическая нагрузка — количество сточных вод, поступающих на биологический фильтр, отнесенное к  $1 м^2$  площади сооружения в плане:

$$q = Q/F,$$

где  $q$  — гидравлическая нагрузка,  $м^3/(м^2 \cdot сут)$ ;  $F$  — площадь биологического фильтра,  $м^2$ .

Средняя продолжительность протока сточных вод через биологический фильтр  $t_{ср}$  зависит от гидравлической нагрузки, высоты биологического фильтра, способа подачи сточных вод на поверхность загрузки, типа загрузки и распределения в ней биошленки. Величина  $t_{ср}$  является показателем продолжительности процесса очистки сточных вод в биологическом фильтре. При повышении гидравлической нагрузки увеличивается скорость движения жидкости через биологический фильтр и уменьшается продолжительность протока; с увеличением высоты биологического фильтра увеличивается продолжительность пребывания сточных вод в загрузке. Загрузка, а также закрепленная на ней биошленка, оказывая сопротивление движению протекающей жидкости, тем самым определяют путь, по которому движутся элементы потока жидкости, а следовательно, влияют на продолжительность протока.

Коэффициент рециркуляции — отношение расхода рециркулируемой очищенной жидкости к расходу исходных сточных вод, поступающих на биологический фильтр,  $n = Q_p/Q$ , где  $Q_p$  — расход рециркулируемой жидкости,  $м^3/сут$ .

Рециркуляция, т. е. повторный пропуск части очищенной жидкости через биологический фильтр, позволяет увеличить продолжительность процесса очистки, снизить начальную концентрацию загрязнений исходных сточных вод и повысить гидравлическую нагрузку, обеспечивающую промывку загрузки сооружения в процессе его работы. Коэффициент рециркуляции принимают в зависимости от предельно допустимой концентрации загрязнений по БПК<sub>полн</sub> смеси исходных и рециркулируемых сточных вод, которую можно направить на биологический фильтр без опасений заливания пор загрузки

В результате прироста биопленки. Коэффициент рециркуляции определяют по формуле

$$n = (L_a - L_{см}) / (L_{см} - L_l),$$

где  $L_{см}$  — БПК<sub>полн</sub> смеси исходных и рециркулируемых сточных вод, г/м<sup>3</sup>.

Количество кислорода, требуемое для окисления органических загрязнений сточных вод микроорганизмами биопленки, должно обеспечиваться подачей в тело биологического фильтра соответствующего количества воздуха. Недостаток кислорода замедляет скорость биологического процесса. Однако влияние количества подаваемого воздуха на скорость процесса очистки сказывается только до тех пор, пока процесс не будет полностью обеспечен требуемым количеством кислорода. Если достаточный воздухообмен в поровом пространстве загрузки биологических фильтров не обеспечивается естественной вентиляцией, то предусматривают принудительную подачу воздуха.

Наиболее важным конструктивным элементом биологического фильтра является загрузка. Тип и характеристика загрузки существенно влияют на протекание процесса очистки сточных вод.

Загрузка биофильтра характеризуется следующими основными параметрами: высотой слоя, удельной площадью поверхности, пористостью и плотностью загрузки. Высота слоя загрузки, или рабочая высота биологического фильтра, определяет наравне с другими параметрами продолжительность пребывания сточных вод в биологическом фильтре.

От удельной площади поверхности загрузки зависит и общая площадь поверхности закрепленной на ней биопленки, а следовательно, и площадь, через которую осуществляется перенос органических загрязнений из жидкости, обтекающей загрузку, к бактериальным клеткам. Как правило, процесс массопереноса является фактором, лимитирующим скорость изъятия загрязнений, и потому от площади поверхности загрузки в значительной мере зависит окислительная мощность биологического фильтра.

Следует отметить, что для процесса очистки сточных вод важным является площадь поверхности биопленки, а не общее количество биомассы в загрузке. При на-

коплении биомассы увеличивается толщина биопленки, а активно работающим остается по-прежнему только наружный аэробный слой. Внутри, у поверхности загрузки, образуется анаэробная зона (см. рис. 45, а), которая почти не участвует в процессе изъятия и окисления загрязнений. Увеличение количества биомассы уменьшает объем порового пространства загрузки, затрудняет воздухообмен в биологическом фильтре, а также снабжение микроорганизмов кислородом воздуха. Пористость загрузки биологических фильтров должна быть такой, чтобы при установившемся режиме работы сооружения (когда количество биопленки в загрузке остается постоянным и ее прирост соответствует выносу) объем свободных пор был достаточен для снабжения биопленки кислородом воздуха.

Загрузку, применяемую для биологических фильтров, условно можно разделить на два вида: объемную и плоскостную. В качестве объемной загрузки используют щебень, гравий прочных горных пород, кокс, керамзит, пеностекло и другие материалы, характеризующиеся определенной крупностью фракций, механической прочностью и стойкостью к разрушению [55]. Такой материал имеет пористость 40—50%, плотность 500—1500 кг/м<sup>3</sup>, удельную поверхность в зависимости от размера фракций загрузки 30—120 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

В качестве плоскостной загрузки применяют листовый материал (пластмассу, асбестоцемент и др.), мягкие рулонные материалы (пластмассовую пленку, синтетические ткани), а также засыпные элементы (кольца, отрезки труб и др.). Загрузку из листовых материалов выполняют в виде различных блоков и кассет, которые укладывают в тело биологического фильтра, мягкие рулонные материалы закрепляют на каркасах или свободно подвешивают.

Пористость плоскостной загрузки из листовых материалов составляет 80—97%, из рулонных материалов 94—99, из засыпных элементов 70—90%. Удельная поверхность листовой и рулонной загрузки 80—130 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, засыпной 70—100 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, плотность листовой загрузки 40—100 кг/м<sup>3</sup>, рулонной — 5—60 кг/м<sup>3</sup>, засыпной — 100—600 кг/м<sup>3</sup> [78].

Применение плоскостной загрузки позволяет упростить конструкцию биологического фильтра, снизить

транспортные и строительно-монтажные расходы. Отдельные виды этой загрузки (например пластмассовая перфорированная пленка) дешевле, чем объемная загрузка из естественных пород [78].

## КОНСТРУКЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

В зависимости от технологических параметров и вида загрузки различают биологические фильтры, работающие в режиме неполной и полной биологической очистки, при высоких и низких нагрузках по органическим загрязнениям и гидравлических нагрузках, без рециркуляции и с рециркуляцией очищенной жидкости, с естественной и принудительной вентиляцией, биологические фильтры с объемной и плоскостной загрузкой.

Главными параметрами, характеризующими тип биологического фильтра, являются нагрузка по органическим загрязнениям и его производительность. Биологические фильтры разделяются на капельные (низкопроизводительные) и высоконагружаемые (высокопроизводительные).

Для капельных биологических фильтров характерны низкая нагрузка по загрязнениям, небольшая гидравлическая нагрузка, длительный контакт загрязнений с биопленкой, низкие скорости биохимического процесса. При этих условиях в биологических фильтрах осуществляется полная биологическая очистка сточных вод с высокой степенью нитрификации и незначительным приростом биомассы. Поэтому в капельных биологических фильтрах можно применять загрузку с относительно невысокой пористостью. Работа таких биологических фильтров осуществляется с естественной вентиляцией загрузки. Высота капельных биологических фильтров обычно составляет 1—2 м. Объемная загрузка имеет крупность фракций 25—40 мм.

В высоконагружаемых биологических фильтрах нагрузка по органическим загрязнениям и скорость процесса значительно выше, чем в капельных. Это вызывает необходимость повышения гидравлической нагрузки, применения загрузки с более высокой пористостью, увеличения высоты биологического фильтра, а также интенсификации воздухообмена в загрузке путем принудительной вентиляции. Крупность фракций объемной за-

Таблица 17. Классификация биологических фильтров по производительности и виду загрузочного материала

Биологический фильтр	Загрузочный материал	Характеристика загрузки			Нагрузка (в г БПК <sub>полн</sub> доли в сутки на 1 м <sup>2</sup> поверхности загрузочного материала)	
		пористость, %	развитость поверхности	удельная поверхность, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	низкая	средняя
Капельный Высоконагружаемый с объемной загрузкой	Щебень, гравий и др., крупность 25—40 мм	40—45	Высокая	30—120	2—4,5	—
	Тот же, крупность 40—70 мм	40—50	Средняя	50—80	5—8	30—50
	Тот же, крупность 40—100 мм	45—55	Низкая	30—50	—	30—50
с плоскостной за- грузкой	Жесткий листовой мате- риал в виде вертикальных рядов, решеток	90—97	Средняя	60—80	2—8	30—50
	Гофрированный, перфори- рованный, жесткий и гиб- кий материалы в виде блоков или рулонов	90—99	Высокая	90—120	2—8	30—50
	Засыпные элементы из колец, отрезков труб	70—90	То же	70—100	2—8	10—20

Примечание. При низкой нагрузке на биологические фильтры обеспечивается полная биологическая очистка сточных вод с высокой степенью нитрификации, при средней — полная биологическая очистка со слабой степенью нитрификации, при высокой — неполная биологическая очистка.

грузки высоконагружаемых биологических фильтров от 40—70 до 100 мм. Повышенная гидравлическая нагрузка за счет рециркуляции позволяет обеспечить вынос интенсивно прирастающей (избыточной) биопленки и предотвратить заиливание загрузки. Увеличением высоты фильтра (2—4 м и более), а также введенном рециркуляции достигается требуемая продолжительность пребывания сточных вод в загрузке при более высоких ско-

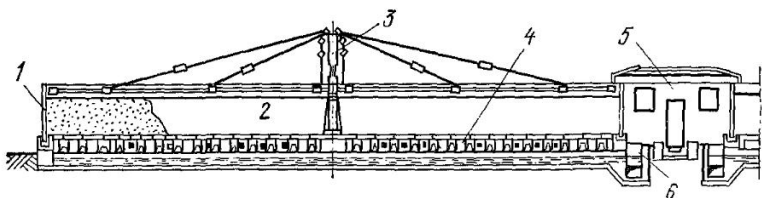


Рис. 47. Конструкция высоконагружаемых биологических фильтров:

1 — корпус, 2 — загрузка, 3 — реактивный ороситель, 4 — междонное пространство, 5 — вентиляционная камера, 6 — лоток очищенной жидкости.

ростях движения жидкости. Высоконагружаемые биологические фильтры могут работать в режимах неполной и полной биологической очистки с начальной стадией протекания процесса нитрификации. Классификация биологических фильтров приведена в табл. 17.

Конструкция типовых высоконагружаемых биологических фильтров (аэрофильтров) с объемной загрузкой из натуральных материалов представлена на рис. 47. Биологические фильтры представляют собой в плане круглые или прямоугольные резервуары, стены которых выполняют из сборного или монолитного железобетона.

Загрузка биологического фильтра расположена на дренажном днище из колосниковых железобетонных плит. Сплошное монолитное днище оборудовано лотками для сбора и отвода очищенной воды. Междонное пространство высотой не менее 0,6 м служит для распределения воздуха в загрузке биологического фильтра, промывки днища и лотков.

В стенах биологических фильтров на уровне междонного пространства устраивают окна, через которые поступает воздух при естественной вентиляции. Окна оборудуют устройствами, позволяющими наглухо их за-



крывать при работе биологических фильтров с искусственной вентиляцией.

На отводных трубопроводах биологических фильтров устраивают гидрозатворы глубиной 200 мм, препятствующие выходу принудительно подаваемого воздуха с очищенной жидкостью.

Загрузку биологических фильтров выполняют из щебня, гальки прочных горных пород крупностью 40—70 мм, однородной по всей высоте. Нижний поддерживающий слой загрузки высотой 0,2 м делают из материала крупностью 70—100 мм.

Сточные воды по поверхности круглых в плане биологических фильтров распределяются, как правило, реактивными оросителями. Количество и диаметр распределительных дырчатых труб оросителя принимают, исходя из начальной скорости движения жидкости 0,5—1 м/с, диаметр отверстий — не менее 10 мм, скорость истечения жидкости из отверстий — не менее 0,5 м/с. Трубы оросителя располагают на 0,2 м выше поверхности загрузки, потребный напор у оросителя не менее 0,5 м.

Прямоугольные в плане биологические фильтры для распределения сточных вод по поверхности загрузки оборудуют чаще всего спринклерными разбрызгивателями. Диаметр отверстий разбрызгивателей принимают 18—32 мм, свободный напор у них — 1,5—0,5 м. Капельные биологические фильтры работают с периодическим поступлением сточных вод. Для этой цели их снабжают дозирующими баками с сифонным устройством [21, 60].

В разработанных конструкциях биологических фильтров с плоскостной загрузкой применяют листовую пластмассу (полиэтилен, полихлорвинил и др.) различного профиля, асбестоцементные листы, собранные в блоки. Конструкция биологических фильтров с пластмассовой блочной загрузкой показана на рис. 48.

Биологические фильтры круглой в плане формы оборудованы реактивным оросителем. Блоки загрузки изготовляют нескольких типов и укладывают определенным образом, чтобы заполнить весь объем сооружения. Стенки биологических фильтров могут быть выполнены из пластмассовых или асбестоцементных листов по металлическому каркасу, либо из железобетона [78].

Биологические фильтры с пластмассовой загрузкой

работают с естественной вентиляцией и располагаются, как правило, в отапливаемых зданиях.

Недостатками пластмассовой блочной загрузки являются трудоемкость ее изготовления, сложность укладки блоков в биологический фильтр, высокая стоимость.

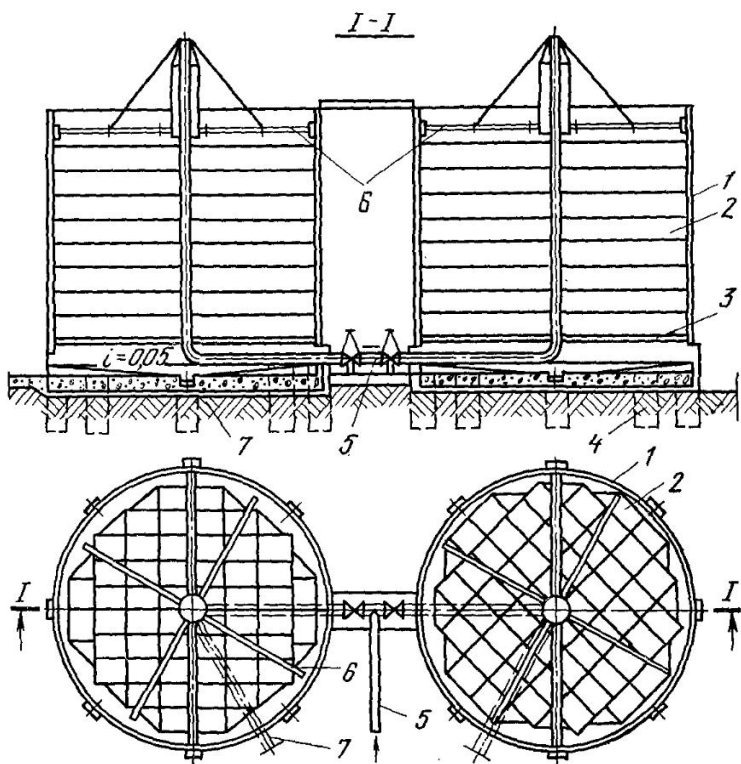


Рис. 48. Конструкция биологических фильтров с пластмассовой блочной загрузкой:

1 — корпус, 2 — пластмассовая блочная загрузка из гофрированных листов, 3 — дренажное днище, 4 — опоры, 5 — подводный трубопровод, 6 — реактивный ороситель, 7 — отводящие лотки.

Тем не менее она может найти применение при реконструкции существующих очистных станций с биологическими фильтрами на предприятиях мясной и молочной промышленности. Для увеличения производительности биологических фильтров (например, капельных) в слу-

чае реконструкции можно заменить загрузку из естественных материалов на пластмассовые блоки.

Недостатки биологических фильтров с пластмассовой блочной загрузкой в значительной степени можно уменьшить, применяя пленочные материалы. Стоимость загрузки из пленочных материалов не превышает стоимости объемной загрузки из естественных материалов. При выполнении загрузки в виде свободно навешенных полотнищ из таких пленок упрощается и конструкция биологических фильтров, что в свою очередь снижает их стоимость.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

Технологическую схему работы биологических фильтров выбирают в зависимости от состава и концентрации загрязнений исходных сточных вод, требуемой степени их очистки, конструктивных особенностей сооружений и параметров их работы. Биологические фильтры могут работать по одноступенчатой и двухступенчатой схеме, без рециркуляции и с рециркуляцией очищенной воды, с естественной и искусственной вентиляцией. Основные схемы работы одноступенчатых и двухступенчатых биофильтров приведены на рис. 49 и 50.

Одноступенчатые биологические фильтры без рециркуляции очищенной воды (рис. 49,а) применяют для обработки сточных вод, предварительно подвергнутых тщательной очистке, например методом коагуляции, или разбавленных чистой водой. В данной схеме можно использовать капельные биологические фильтры, работающие с естественной вентиляцией.

Одноступенчатые биологические фильтры с рециркуляцией воды применяют при высокой начальной концентрации загрязнений сточных вод. Наиболее распространенной является технологическая схема, применяемая при работе высоконагружаемых биологических фильтров с объемной загрузкой (рис. 49,б). Она предусматривает рециркуляцию очищенных сточных вод, забираемых после вторичных отстойников. Биологические фильтры работают с высокой нагрузкой по органическим загрязнениям и высокой гидравлической нагрузкой.

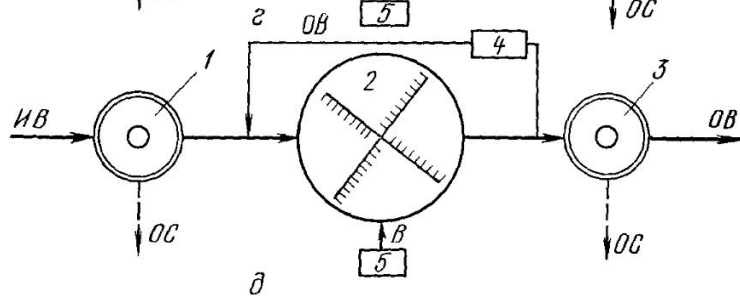
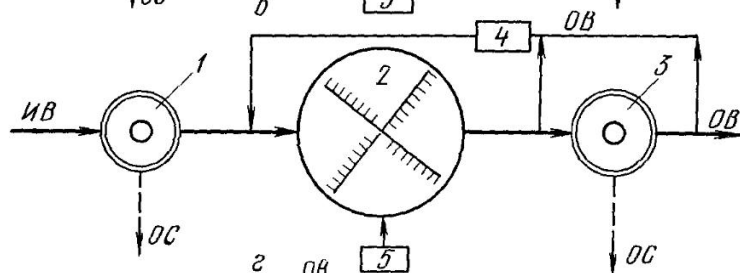
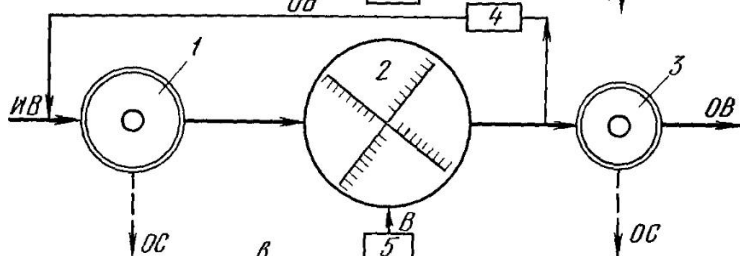
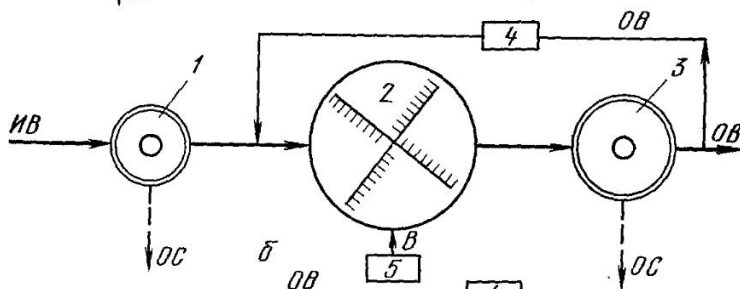
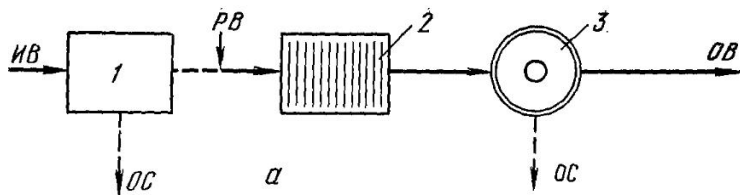


Рис. 49. Технологические схемы одноступенчатых биологических фильтров:

1 — первичный отстойник, 2 — биологический фильтр, 3 — вторичный отстойник, 4 — насосная станция, 5 — вентилятор, ИВ — исходные сточные воды, ОВ — очищенные сточные воды, РВ — разбавляющая вода, В — воздух, ОС — осадок.

Предусмотрена искусственная вентиляция загрузки. Объем вторичных отстойников должен быть соответственно увеличен для осветления рециркулируемой жидкости.

Схема, показанная на рис. 49,в, предусматривает отстаивание рециркулируемой жидкости в первичных отстойниках. Ее применяют при тех же условиях, что и предыдущую, но при использовании этой схемы необходимо увеличить объем первичных отстойников.

В схеме, приведенной на рис. 49,г, работа биологического фильтра осуществляется с рециркуляцией смеси очищенной жидкости, отбираемой до и после вторичного отстойника. Применение этой схемы по сравнению с использованием схемы, изображенной на рис. 49,б, позволяет снизить объем вторичных отстойников, но требует в биологическом фильтре загрузки более высокой пористости.

По схеме, показанной на рис. 49,д, биологические фильтры работают с рециркуляцией очищенной жидкости без ее отстаивания, что дает возможность уменьшить объем отстойников. Эту схему можно применять для биологических фильтров с плоскостной загрузкой высокой пористости во избежание заиливания их избыточной биопленкой, которая содержится в рециркулируемой жидкости. При этом несколько повышается и производительность биологического фильтра в результате участия в процессе активных микроорганизмов рециркулируемой избыточной биомассы.

Кафедра канализации ЛИСИ исследовала работу высоконагружаемых биологических фильтров на сточных водах молочных заводов в полупроизводственных и производственных условиях [72, 74, 75]. Общий вид биологических фильтров на Ленинградском молочном заводе представлен на рис. 51.

Высоконагружаемые биологические фильтры были загружены гранитным щебнем с крупностью фракций 40—70 мм. Они имели высоту 3 и 4 м, работали с ре-

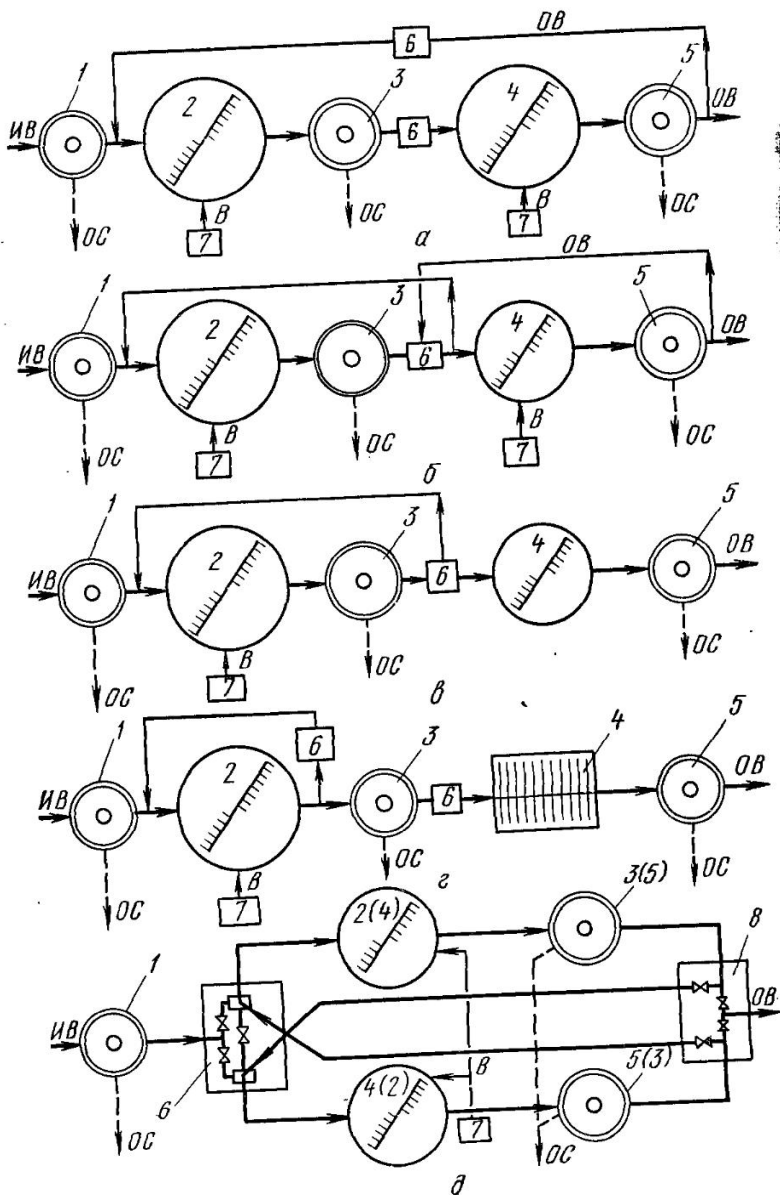


Рис. 50. Технологические схемы двухступенчатых биологических фильтров:

1 — первичный отстойник, 2 — биологический фильтр первой ступени, 3 — вторичный отстойник, 4 — биологический фильтр второй ступени, 5 — третичный отстойник, 6 — насосная станция, 7 — вентилятор, 8 — камера переключения. Условные обозначения на рисунке те же, что и на рис. 49.

циркуляцией очищенной воды по схеме, показанной на рис. 49,б.

Результаты исследований одноступенчатых биологических фильтров в различных режимах представлены в табл. 18. На сооружения подавали сточные воды после механической очистки в осветлителях с естественной аэрацией (IV—VIII режим) и неосветленные сточные воды (I—III режим). Варьируемыми параметрами были гидравлическая нагрузка на биологический фильтр, расход исходной и рециркулируемой воды.

В результате исследований было установлено, что при низкой гидравлической нагрузке (режим I), а также при высоких нагрузках по органическим загрязнениям (режим не указан) и в тех случаях, когда БПК смеси исходной и рециркулируемой воды, подаваемой на биологический фильтр, превышала 200 мг/л, в верхнем слое

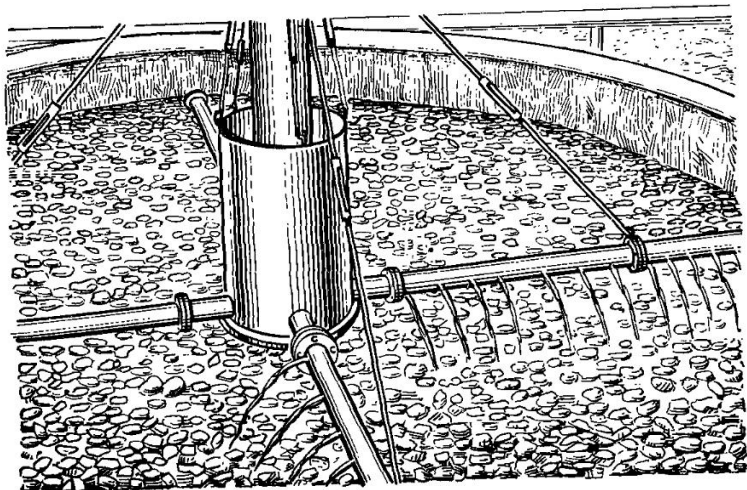


Рис. 51. Общий вид высоконагружаемых биологических фильтров молочного завода.

Таблица 18. Результаты работы одноступенчатых высоконагружаемых биологических фильтров на сточных водах молочных заводов

Показатели	Режим работы биологических фильтров							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Высота загрузки, м	3	3	3	4	4	3	3	3
Гидравлическая нагрузка, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$	13,3	20	20	20,4	61,5	30	20,4	25
Коэффициент рециркуляции	5,7	7,3	6,4	4,6	3,6	3,4	4,8	6
Окислительная мощность, г БПК <sub>полн</sub> /( $\text{м}^3 \cdot \text{сут}$ )	839	683	1164	617	1883	653	477	663
Расход воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$ сточных вод	26,4	17,3	7	7,4	Естественная вентиляция			
<i>Исходные сточные воды</i>								
температура, °C	20	21	20	16	17	18	16	13
pH	5,8	4,6	5,5	8	6,2	6,4	7,8	9,4
содержание взвешенных веществ, мг/л	431	193	451	190	128,2	158,7	123,2	185
БПК <sub>полн</sub> , мг/л	1280	860	1265	689	598	302	416	580
<i>Очищенные сточные воды</i>								
pH	7,15	7	7,7	8,11	7,6	7,9	8,7	8,1
содержание взвешенных веществ, мг/л	16,9	24,6	32,2	12,5	24,1	12,8	14,3	19,7
БПК <sub>полн</sub> , мг/л	15,4	14,6	24,8	11,6	28,6	14,8	11,3	21,5
содержание, мг/л								
нитритов	0,05	0,15	0,22	0,08	0,17	0,13	0,43	0,79
нитратов	0,1	0,18	0,18	5,3	0	3	5,32	3,1

загрузки интенсивно развивались колонии пизших грибов и создавалась опасность его заиливания. При повышении гидравлической нагрузки за счет увеличения коэффициента рециркуляции и снижения БПК смеси развитие грибов прекращалось. Следовательно, для предотвращения заиливания верхнего слоя загрузки концентрация загрязнений сточных вод по БПК<sub>полн</sub> не должна превышать 200 мг/л. Поэтому исходные сточные воды молочных заводов надо разбавлять счищенной жидкостью (с БПК<sub>полн</sub> = 1200 мг/л) не менее, чем в 6 раз, а гидравлическую нагрузку принимать не менее 20  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ .

Данные табл. 18 позволяют судить о допустимой нагрузке на одноступенчатые биологические фильтры по органическим загрязнениям. Так, предельно допустимую



нагрузку, при которой обеспечивается полная биологическая очистка, принимают исходя из окислительной мощности, которая для биологических фильтров высотой 3 м составляет 800—1000 г БПК<sub>полн</sub>/(м<sup>3</sup>·сут) (режим II—III), а для биологических фильтров высотой 4 м — 1000—1200 г/(м<sup>3</sup>·сут). При увеличении окислительной мощности сверх указанных значений БПК<sub>полн</sub> очищенной воды превышает 25 мг/л, исчезают нитриты и нитраты (режимы III, V).

В период исследований работы биологических фильтров на разных режимах резко колебался рН исходных сточных вод (от 4,6 до 9,4). Это обусловлено поступлением со сточными водами сыворотки и отработавших моющих растворов. Поступление кислых и щелочных сточных вод влияло на состав биопленки, в частности приводило к интенсивному развитию нитчатых бактерий. Однако ухудшения работы биологических фильтров при этом не наблюдалось. Предварительная нейтрализация исходного стока до рН 7 не повышала эффекта очистки. Также не наблюдалось ухудшений в работе биологического фильтра при подаче неосветленных сточных вод (режим I—III) с концентрацией взвешенных веществ до 450 мг/л. При этом вынос избыточной биопленки увеличивался на 2—3% по сравнению с очисткой осветленных сточных вод. Вышесотеченные обстоятельства позволяют судить о надежности и стабильности процесса биологической очистки сточных вод молочных заводов на высоконагружаемых биологических фильтрах в условиях резкого изменения состава исходного стока. Средний прирост биопленки составлял 7—8% от количества снятых загрязнений по БПК<sub>полн</sub>, влажность осадка — 97—98%.

Показателями, характеризующими процесс очистки сточных вод на биологических фильтрах, являются количество и видовой состав населяющих их микроорганизмов. Эти показатели зависят от состава и концентрации загрязнений сточных вод, режима работы, величины нагрузки и ряда других факторов.

В процессе очистки сточных вод на одноступенчатых биологических фильтрах концентрация загрязнений в жидкости, проходящей через слой загрузки, изменяется по высоте загрузки. Поэтому биопленка распределяется неравномерно. Наблюдается также и зонное распределе-

ние (стратификация) определенных видов микроорганизмов по высоте биологического фильтра.

В верхних слоях загрузки, куда поступает жидкость с высокой концентрацией загрязнений, имеют место обильный прирост биопленки и преимущественное развитие микроорганизмов, потребляющих легкодоступные растворенные органические вещества. Биоценоз верхних слоев загрузки в основном представлен зоолейными скоплениями бактерий, нитчатыми бактериями, грибами; из простейших преобладают бесцветные мелкие инфузории.

В средних и нижних слоях загрузки, куда поступает жидкость, уже очищенная в верхних слоях, количество биопленки уменьшается и одновременно увеличивается разнообразие встречающихся форм микроорганизмов. Появляются крупные инфузории (*Oxytricha*, *Stylonichia*), развиваются коловратки и круглые черви.

Распределение биомассы и различных видов микроорганизмов по высоте загрузки обусловлено технологическими и конструктивными параметрами биологического фильтра. При невысоких нагрузках по загрязнениям и низкой гидравлической нагрузке в условиях полной завершенности процесса очистки сточных вод в биологическом фильтре наблюдается достаточно четкая стратификация микроорганизмов по высоте сооружения. В случае высоких нагрузок (по расходу воды и количеству вносимых загрязнений), неполной очистки сточных вод зонное распределение форм выражено слабо.

В частности, при очистке сточных вод молокоперерабатывающих предприятий на биологических фильтрах наблюдается бурное развитие нитчатых бактерий и грибов в верхнем слое загрузки. Это обусловлено высокой концентрацией легко окисляемых загрязнений, например лактозы, в этих стоках. Обильный прирост биомассы при недостаточной гидравлической нагрузке на биологический фильтр в этом случае может привести к заиливанию верхнего слоя загрузочного материала.

Повышение гидравлической нагрузки на биологический фильтр и введение рециркуляции очищенной жидкости обеспечивают вымывание избытка биомассы из верхнего слоя загрузки в нижележащие слои, предотвращая тем самым его заиливание. При этом объем биомассы, а также количество нитчатых бактерий и гри-

бов распределяются по высоте загрузки относительно равномерно. Данные о количестве микроорганизмов, содержащихся в жидкости, которая отбиралась из различных слоев загрузки одноступенчатого высоконагружаемого биологического фильтра при очистке сточных вод молочного завода, приведены в табл. 19 [9].

Таблица 19. Количество микроорганизмов в 1 мл сточных вод, протекающих через биологический фильтр

Уровень отбора проб жидкости (от поверхности загрузки), м	Всего		Грибы	Молочно-кислые бактерии	Аммонифицирующие	Денитрифицирующие
	аэробов	анаэробов				

*Поступающие сточные воды*

0	$26,6 \cdot 10^6$	$0,08 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^3$	$211 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^5$	$0,6 \cdot 10^4$
0,5	$15,2 \cdot 10^6$	$0,12 \cdot 10^6$	$5,5 \cdot 10^3$	$17 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^5$	$11 \cdot 10^4$
1	$11 \cdot 10^6$	$0,06 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^3$	$11 \cdot 10^3$	$11 \cdot 10^5$	$11 \cdot 10^4$
2	$11,9 \cdot 10^6$	$0,1 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^3$	$42 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^4$

*Очищенные сточные воды*

3	$21 \cdot 10^6$	$0,01 \cdot 10^6$	—	$12 \cdot 10^3$	$0,6 \cdot 10^5$	$0,06 \cdot 10^4$
---	-----------------	-------------------	---	-----------------	------------------	-------------------

Как видно из табл. 19, максимальное количество грибов в жидкости, протекающей через высоконагружаемый биологический фильтр, наблюдалось в верхнем слое загрузки высотой 1 м, однако количество их оставалось значительным и на глубине до 2 м. Содержание молочнокислых, маслянокислых бактерий и других анаэробных микроорганизмов снижалось по мере очистки сточных вод.

Аммонифицирующие бактерии, осуществляющие распад белка, развиваются в основном в верхнем и среднем слое. Такая же закономерность наблюдается в отношении группы денитрифицирующих бактерий, многие представители которых участвуют в анаэробном разложении белка. Относительное содержание нитрифицирующих бактерий повышалось по мере очистки сточных вод. Содержание кишечной палочки снижалось в биологическом фильтре на 92—93%.

Существенное значение при работе биологических фильтров имеют организмы, питающиеся бактериями и другими микроорганизмами, частичками биопленки, взвешенными веществами. Они способствуют более полному потреблению органических веществ, снижению прироста и выноса биопленки. Наиболее характерно для нижних слоев загрузки биологического фильтра развитие круглых червей (*Nematoda*). Кроме того, в теле биологического фильтра присутствуют различные рачки, личинки мух (*Psychoda*, *Podyga*) и другие членистоногие. Их развитие обычно связано с сезонными изменениями населения биологического фильтра, которые происходят весной и осенью. В это время почти полностью исчезают свободноплавающие инфузории, коловратки и появляется большое количество мух (*Psychoda*).

Двухступенчатые биологические фильтры (см. рис. 50) применяют при неблагоприятных местных условиях и необходимости улучшения качества очищенных сточных вод. Основной их недостаток по сравнению с одноступенчатыми биологическими фильтрами — более высокие эксплуатационные затраты, обусловленные повторной перекачкой жидкости на вторую ступень сооружения.

Технологическая схема (см. рис. 50, а) предусматривает работу биологического фильтра с рециркуляцией очищенной жидкости, забираемой после третичного отстойника и подаваемой в лоток перед биологическим фильтром первой ступени. Первая ступень двухступенчатых биологических фильтров работает в режиме неполной биологической очистки при высоких на нее нагрузках по загрязнению. В случае применения в качестве первой ступени биологических фильтров с объемной загрузкой требуются высокая степень рециркуляции и повышенная гидравлическая нагрузка, чтобы обеспечить вынос избыточной биопленки, прирост которой в этих условиях работы сооружения значителен. Первая ступень биологического фильтра может быть принята с плоскостной загрузкой, имеющей высокую пористость, и тогда гидравлическая нагрузка и коэффициент рециркуляции снижаются. Вторая ступень биологического фильтра работает обычно в режиме низких нагрузок с невысокой окислительной мощностью, поэтому прирост биопленки

в ней значительно меньше, чем в первой ступени. Это позволяет применять в качестве загрузки биологического фильтра второй ступени материал с меньшей пористостью и большей удельной поверхностью. Недостаток рассматриваемой схемы в том, что ввиду «сквозной» рециркуляции очищенной жидкости через обе ступени биологического фильтра необходимо увеличивать объемы второй ступени сооружения и третичного отстойника.

Указанный недостаток частично устраняется при работе двухступенчатых биологических фильтров по схеме, изображенной на рис. 50, б. По этой схеме на циркуляцию направляется очищенная вода как после вторичного, так и после третичного отстойников. Поэтому объемы второй ступени биологического фильтра и отстойника будут меньше, чем их объемы при работе биологических фильтров по схеме, показанной на рис. 50, а. В схемах, изображенных на рис. 50, в и г, рециркуляция осуществляется только на первой ступени биологического фильтра, что позволяет значительно уменьшить объемы второй ступени. В первом случае (см. рис. 50, в) рециркулируемая жидкость отстаивается во вторичном отстойнике, во втором (см. рис. 50, г) подается на биологический фильтр без отстаивания.

Биологические фильтры первой ступени в вышеописанных схемах, и особенно в схеме, показанной на рис. 50, г, должны иметь загрузку высокой пористости, а второй ступени — низкой пористости (например, капельные биологические фильтры).

Работу двухступенчатых высоконагружаемых биологических фильтров [75] исследовали при их эксплуатации по схеме с рециркуляцией очищенной жидкости, забираемой после второй ступени фильтра (см. рис. 50, а). Высота обеих ступеней биологического фильтра была 3 м, крупность загрузки 40—70 мм. Результаты исследований представлены в табл. 20.

На биологические фильтры подавали исходные сточные воды молочного завода без предварительного отстаивания. Вентиляция первой ступени была как естественной, так и принудительной, второй — естественной. Как видно из табл. 20, окислительная мощность двухступенчатых биологических фильтров в период исследований составляла 718—1515 г БПК<sub>полн</sub> в сутки на 1 м<sup>3</sup> общего объема загрузки обеих ступеней. При этом окисли-

Таблица 20. Результаты работы двухступенчатых высоконагружаемых биологических фильтров

Показатели	Режим работы биологических фильтров						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Гидравлическая нагрузка, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$	30,4	44,6	44,6	40,6	40,6	40,6	40,6
Коэффициент рециркуляции	6,5	6,85	13,6	19	12,3	9	7
Окислительная мощность, г БПК <sub>полн</sub> /( $\text{м}^3 \cdot \text{сут}$ ) общая	932	1515	718	780	750	903	1477
Расход воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$ сточных вод							
первая ступень	Естественная вентиляция		13,7	10	10	15	15
вторая ступень	Естественная вентиляция						
Состав исходных сточных вод							
температура сточных вод, °С	18	20	17	20	18	23	22,5
рН	5,7	6,1	7	7	7	7	7
содержание взвешенных веществ, мг/л	295,4	445,4	262	683,3	493,3	314	523
БПК <sub>полн</sub> , мг/л	1393	1620	1430	1547	1492	1350	1763
Состав очищенных сточных вод							
после первой ступени							
рН	6,86	6,86	7,02	7,08	6,87	7,3	7,2
содержание взвешенных веществ, мг/л	62,5	64,7	28,5	18,4	27,7	13,7	69
БПК <sub>полн</sub> , мг/л	40,8	49,4	27,8	19,6	30,2	31,5	45,1
Содержание, мг/л							
нитритов	0,08	Следы	0,04	1,08	0	0,3	0,23
нитратов	0,03	0	Следы	0,04	0	0,05	0,05
после второй ступени							
рН	7,18	7,2	7,14	7	7,2	7,4	7,48
содержание взвешенных веществ, мг/л	53	40	22,9	15	20	13,2	15,2
БПК <sub>полн</sub> , мг/л	17,2	24,3	16,3	10,2	15,4	16	20
Содержание, мг/л							
нитритов	0,45	0,14	0,05	0,08	0,02	0,03	0,09
нитратов	1,7	0,2	0,25	1,3	0,25	0,05	1,3

тельная мощность первой ступени в 6—7 раз выше, чем окислительная мощность второй ступени. Нагрузка по БПК<sub>полн</sub> на 1 м<sup>2</sup> площади в плане первой ступени биологического фильтра достигала 10 200 г в сутки (II режим). В этих условиях для предотвращения заиливания верхнего слоя первой ступени принята повышенная гидравлическая нагрузка.

Установлено, что величина гидравлической нагрузки для обеспечения выноса прирастающей биопленки должна составлять для первой ступени двухступенчатого биологического фильтра около 40 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·сут). Степень разбавления исходных сточных вод рециркулируемой очищенной жидкостью следует принимать, исходя из БПК<sub>полн</sub> смеси 200 мг/л, а окислительную мощность двухступенчатых биологических фильтров высотой 3 м — 1200 г/м<sup>3</sup> в сутки. Результаты проведенных исследований (см. табл. 20) показывают также, что одноступенчатые биологические фильтры могут работать с окислительной мощностью 2000—2500 г БПК<sub>полн</sub>/(м<sup>3</sup>·сут), осуществляя неполную биологическую очистку сточных вод молочных заводов до БПК<sub>полн</sub> = 30÷50 мг/л.

Вынос избыточной биопленки из двухступенчатых биологических фильтров составлял 8% от количества снятых загрязнений по БПК<sub>полн</sub>, причем после первой ступени биологического фильтра избыточной пленки было примерно в 2—3 раза больше, чем после второй ступени.

Как видно из табл. 20, эффект очистки сточных вод на двухступенчатых биологических фильтрах и качество очищенной воды выше, чем при очистке сточных вод на одноступенчатых биологических фильтрах при одинаковых нагрузках по загрязнению на 1 м<sup>3</sup> общего объема тех и других сооружений.

Видовой состав микроорганизмов двухступенчатых биологических фильтров резко различается по ступеням. Если на первой ступени он практически такой же, как и в одноступенчатых биологических фильтрах, то на второй ступени из простейших преимущественно развиваются инфузории (*Vorticella*) и коловратки.

Данные о распределении биомассы и основных групп микроорганизмов по слоям загрузки двухступенчатого биологического фильтра при очистке сточных вод молочных заводов приведены в табл. 21.

Таблица 21. Распределение биопленки и основных групп микроорганизмов по высоте загрузки биологического фильтра

Уровень от поверхности загрузки, м	Масса биопленки, кг на 1 м <sup>2</sup> загрузки	Количество микроорганизмов в 1 кг биопленки			
		всего	аммонифицирующих	грибов	жирорастворяющих
<i>Первая ступень</i>					
0,5	10,6	34 · 10 <sup>9</sup>	27,5 · 10 <sup>6</sup>	38,7 · 10 <sup>6</sup>	121 · 10 <sup>6</sup>
1	7,43	8,5 · 10 <sup>9</sup>	4,7 · 10 <sup>9</sup>	23,2 · 10 <sup>6</sup>	8,8 · 10 <sup>6</sup>
2	7,82	9,2 · 10 <sup>9</sup>	2 · 10 <sup>9</sup>	27 · 10 <sup>6</sup>	0,01 · 10 <sup>6</sup>
<i>Вторая ступень</i>					
1	5,08	4,5 · 10 <sup>9</sup>	2,5 · 10 <sup>9</sup>	21,9 · 10 <sup>6</sup>	0,25 · 10 <sup>6</sup>
2	3,66	0,4 · 10 <sup>9</sup>	0,23 · 10 <sup>9</sup>	0,5 · 10 <sup>6</sup>	0,02 · 10 <sup>6</sup>

Из табл. 21 видно, что на второй ступени биологического фильтра общее количество биопленки и число микроорганизмов в единице ее массы резко снижаются.

Для уменьшения кратности рециркуляции и предотвращения при этом заиливания загрузки в случае высокой начальной концентрации поступающих сточных вод применяют схему работы двухступенчатых биологических фильтров с перемежающимся орошением (рис. 50, д).

Принцип работы биологических фильтров по этой схеме заключается в периодической перемене ступеней сооружения. Сточная жидкость подается на биологический фильтр 2, который является в это время первой ступенью, проходит отстойник 3 и затем перекачивается на биологический фильтр 4, работающий как вторая ступень.

Через определенный интервал времени переключают подачу исходных сточных вод на биологический фильтр 4, который при этом становится первой ступенью, а биологический фильтр 2 — второй ступенью. При перемене ступеней на биологический фильтр, который ранее работал как первая ступень, начинают поступать очищенные сточные воды. Резкое снижение концентрации загрязнений вызывает интенсивный вынос избыточной биопленки, накопившейся в биологическом фильтре за время его работы в качестве первой ступени. Конст-



рукция биологических фильтров одинаковая, так как они поочередно работают в качестве первой и второй ступени.

Основной момент в работе двухступенчатых биофильтров по данной схеме (см. рис. 50, д) — установление оптимального интервала между переменами ступеней биологического фильтра.

При перемене ступеней через значительный период их работы наблюдается ухудшение качества очищенной воды как после первой, так и после второй ступени (рис. 52). Причина этого явления заключается в резком изменении условий для установившегося (различного для первой и второй ступеней) биоценоза биологических фильтров в момент перемены ступеней. Затем постепенно микроорганизмы адаптируются к новым условиям и работа биологических фильтров стабилизируется. Продолжительность периода выравнивания процесса очистки в этом случае довольно значительна. В режимах, приведенных на рис. 52, качество очищенной

воды устанавливалось постоянным только на 20-е сутки после перемены ступеней. Вместе с тем было замечено, что в начальный период после переключения ступеней биологических фильтров вынос биопленки резко повышался. Следовательно, применение перемежающегося орошения может препятствовать заиливанию загрузки.

Для нахождения оптимального периода между переменной ступеней, а также параметров работы биологических фильтров проводили исследования с переменной ступеней через 10, 7, 5 и 3 сут. При интервалах от 10 до 5 сут стабильной степени очистки за период между переменами ступеней не наблюдалось. При интервале 3 сут качество очищенной воды практически оставалось постоянным. Таким образом, оптимальным периодом между переменной ступеней являются 3 сут. Сокращение пе-

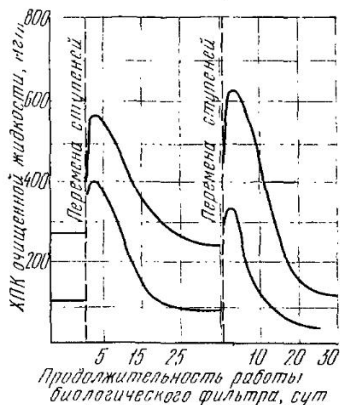


Рис. 52. Влияние перемены ступеней двухступенчатых биологических фильтров с перемежающимся орошением на качество очистки сточных вод.

риода между переменной ступеней не дает положительного эффекта, так как в этом случае не обеспечивается достаточная промывка первой ступени биологического фильтра. Результаты исследований двухступенчатых биологических фильтров с переменной ступеней через 3 сут на разных режимах приведены в табл. 22. Как видно из табл. 22, при использовании перемежающегося орошения

Таблица 22. Результаты работы двухступенчатых высоконагружаемых биологических фильтров с перемежающимся орошением

Показатели	Режим работы биологических фильтров при перемене ступеней через трие суток			
	I	II	III	IV
Гидравлическая нагрузка, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$	30,4	30,4	20,3	20,3
Коэффициент рециркуляции	4	5	4	3
Окислительная мощность, $\text{г}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$	1820	1368	1025	711
Расход воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$ сточных вод				
первая ступень	20	20	20	30
вторая ступень		Естественная вентиляция		
<i>Исходные сточные воды</i>				
температура, °С	24	15	11	13
pH	6,3	5,3	5,5	6,2
содержание взвешенных веществ, мг/л	417	518	241	376
БПК <sub>полн</sub> , мг/л	1820	1650	1550	861
<i>Очищенные сточные воды</i>				
после первой ступени				
содержание взвешенных веществ, мг/л	75,2	120	42,3	38,3
БПК <sub>полн</sub> , мг/л	52,6	63,1	72,6	42,4
содержание нитритов, мг/л	0	0,05	0,02	0,02
после второй ступени				
содержание взвешенных веществ, мг/л	48,2	61,8	30,2	20
БПК <sub>полн</sub> , мг/л	27,6	32,8	33,6	21,2
содержание нитритов, мг/л	0,2	0,18	0,03	0,05
Количество выносимой биопленки, $\text{г}/\text{м}^3$				
после первой ступени	63,3	52,5	50,1	43,3
после второй ступени	51,2	60,8	41,5	39,4

Примечание. Высота загрузки I и II ступени 3 м.

с интервалом между переменной ступеней 3 сут, можно снизить гидравлическую нагрузку на двухступенчатый биологический фильтр [до  $20 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ ], а также коэффициент рециркуляции. БПК<sub>полн</sub> смеси должна быть не более 400 мг/л. В этом случае расход рециркулируемой жидкости снижается примерно в 2 раза по сравнению с расходом рециркулируемой жидкости в обычном двухступенчатом биологическом фильтре. Окислительная мощность принимается в пределах 1000—1200 г/( $\text{м}^3 \cdot \text{сут}$ ).

При исследовании работы двухступенчатых биофильтров с перемежающимся орошением на сточных водах молочного завода было установлено, что через сутки после смены ступеней в верхнем слое первой ступени количество нитчатых бактерий несколько увеличилось; количество простейших и червей на первой и второй ступенях биологического фильтра было примерно одинаковым. В нижних слоях второй ступени повышалось содержание различных групп бактерий и грибов, увеличивалось количество биомассы, что свидетельствовало о выносе микроорганизмов из верхних слоев загрузки вследствие снижения концентрации поступающих загрязнений при перемесе ступеней. На третьи сутки после перемены ступеней на первой ступени заметно преобладали нитчатые бактерии и грибы, а количество червей было больше на второй ступени. Зооглеи, водоросли, инфузории и коловратки встречались в одинаковом количестве на обеих ступенях. Количество биомассы и содержание грибов на второй ступени значительно снизилось.

Установлено, что смена ступеней биологического фильтра влияет на распределение бактерий по ступеням уже через сутки, а заметное снижение количества грибов и биомассы на второй ступени (т. е. промывка этой ступени) наступает через трое суток, что подтверждает целесообразность трехсуточного периода между переменной ступеней. При более длительном перерыве распределение микроорганизмов по ступеням было таким же, как и в случае работы обычных двухступенчатых биологических фильтров (имело место обильное развитие нитчатых бактерий и грибов в верхнем слое первой ступени).

## РАСЧЕТ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

Биологические фильтры, применяемые для очистки производственных сточных вод, обычно рассчитывают по окислительной мощности. Рабочий объем биологического фильтра определяют по формуле

$$W = (L_a - L_t) Q / OM,$$

где  $W$  — рабочий объем биологического фильтра,  $\text{м}^3$ ;  $OM$  — окислительная мощность, г/( $\text{м}^3 \cdot \text{сут}$ ).

Окислительная мощность биологических фильтров зависит от состава и концентрации загрязнений поступающих сточных вод, режима работы сооружения, темпера-

туры жидкости и наружного воздуха, вида загрузочного материала, высоты слоя загрузки, технологической схемы работы сооружения и других факторов. При расчете величину окислительной мощности принимают на основании опыта работы биологических фильтров в аналогичных условиях и назначают дифференцированно в зависимости от указанных выше основных факторов.

Основные недостатки этого метода расчета — отсутствие закономерности между переменными факторами, влияющими на процесс очистки, и необходимость в обширном экспериментальном материале о работе биологических фильтров на определенном виде сточных вод при различных условиях и параметрах биологического фильтра.

Кафедрой канализации ЛИСИ разработан метод расчета биологических фильтров по математическим моделям с учетом структуры потока жидкости в сооружении и кинетики биохимического процесса. Этот метод позволяет принимать в расчет влияние конструктивных параметров биологического фильтра, которые определяют гидродинамическую характеристику сооружения, а следовательно, и условия процесса массопереноса, а также влияние состава, концентрации загрязнений сточных вод, температурных и других условий на ход процесса очистки в биологическом фильтре. Таким образом, его можно применять для расчета различных типов биологических фильтров с известными гидродинамическими свойствами при очистке любых видов сточных вод, для которых установлена кинетика изъятия загрязнений на данных сооружениях.

Гидродинамические свойства биологических фильтров характеризуются режимом протекания жидкости через загрузку, степенью перемешивания потока, а следовательно, определяют продолжительность пребывания сточных вод в сооружении (продолжительность биологической очистки), условия процессов массообмена и теплообмена в теле фильтра.

Движение потока жидкости через загрузку биологического фильтра может быть капельным, струйным или пленочным. В любом случае отдельные элементы потока, встречая сопротивление загрузки, перемещаются относительно друг друга как в продольном, так и в поперечном направлении и проходят слой загрузки.

Режим движения жидкости в теле биологического фильтра зависит от технологических и конструктивных параметров сооружения (высоты и вида загрузки, гидравлической нагрузки, способа распределения жидкости по поверхности загрузки и пр.).

Структуру потока жидкости, протекающей через сооружение, можно характеризовать экспериментальными кривыми распределения частиц жидкости по продолжительности их пребывания в сооружении. Их получают путем введения консервативного вещества (трассера) в поток жидкости на входе и регистрации изменения по времени концентрации этого вещества (отклик) на выходе из сооружения. Сравнивая полученные кривые с кривыми отклика идеализированных моделей аппаратов, можно выбрать способ математического описания структуры потоков исследуемого сооружения.

Кривые распределения концентрации консервативного вещества на выходе из сооружения при импульсном его вводе для высоконагружаемых биологических фильтров с объемной загрузкой из щебня крупностью 40—70 мм приведены на рис. 53 [71]. Как видно из рис. 53, вид кривых отклика зависит от гидравлической нагрузки на

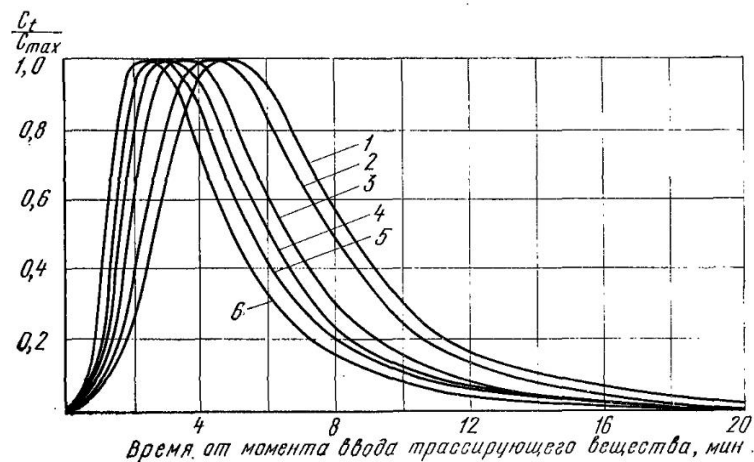


Рис. 53. Гидродинамические характеристики высоконагружаемых биологических фильтров с объемной загрузкой:

1 — 18,8 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · сут), 2 — 27,4 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · сут), 3 — 33,3 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · сут), 4 — 44,4 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · сут), 5 — 51,2 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · сут), 6 — 60 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> · сут).

биологический фильтр и высоты загрузки. Для идентификации кривые отклика характеризуются центральными моментами распределения различного порядка. Центральным моментом первого порядка  $t_{cp}$  определяет среднюю продолжительность протока сточных вод через сооружение; момент второго порядка  $\sigma^2$  (квадратичная дисперсия распределения) свидетельствует о степени турбулизации потока жидкости. Дисперсия распределения, выражаемая обычно в безразмерном виде  $\sigma^2 = \sigma_1^2/t_{cp}^2$ ,

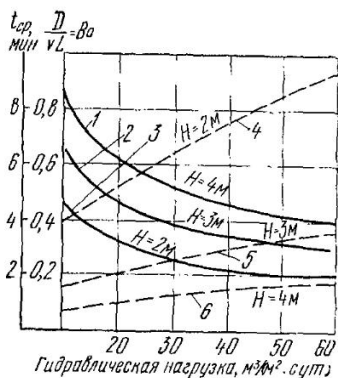


Рис. 54. Зависимость  $t_{cp}$  и  $\frac{D}{vL}$  от гидравлической нагрузки и высоты высоконагружаемого биологического фильтра: 1, 2, 3 — средняя продолжительность пребывания жидкости в слое загрузки различной высоты, 4, 5, 6 —  $\frac{D}{vL}$  при разной высоте слоя загрузки.

связана с диффузионным критерием Боденштейна  $Bo = D/vL$ , который характеризует интенсивность перемешивания потока жидкости в сооружении.

$$\sigma^2 = 2D/vL - 2(D/vL)^2(1 - e^{-vL/D}),$$

где  $\sigma^2$  — дисперсия распределения;  $D$  — коэффициент турбулентной диффузии, м²/с;  $v$  — средняя скорость потока, м/с;  $L$  — длина пути движения потока, м.

Зависимость средней продолжительности протока  $t_{cp}$  и критерия  $Bo$  от гидравлической нагрузки и рабочей высоты для высоконагружаемых биологических фильтров (рис. 54) выражается следующим образом:

$$t_{cp} = 5,03Hq^{-0,412};$$

(36)

$$Bo = AH^{2,38}q^{-0,568},$$

где  $H$  — рабочая высота, м;  $q$  — гидравлическая нагрузка, м³/(м²·сут);  $A$  — коэффициент, м³/м³ в сутки ( $A=2,02$  м³/м³ в сутки).

Исследования показали, что для математического описания структуры потока жидкости, протекающей через загрузку высоконагружаемых биологических фильтров, можно использовать ячеечную модель, характерный параметр которой  $m$  (условное число ячеек) связан с  $Bo$  следующим равенством:

$$m \cong 0,5Bo = 0,5AH^{2,38}q^{-0,568}. \quad (37)$$

На рис. 55 представлены кривые отклика для биологических фильтров с пластмассовой загрузкой в виде

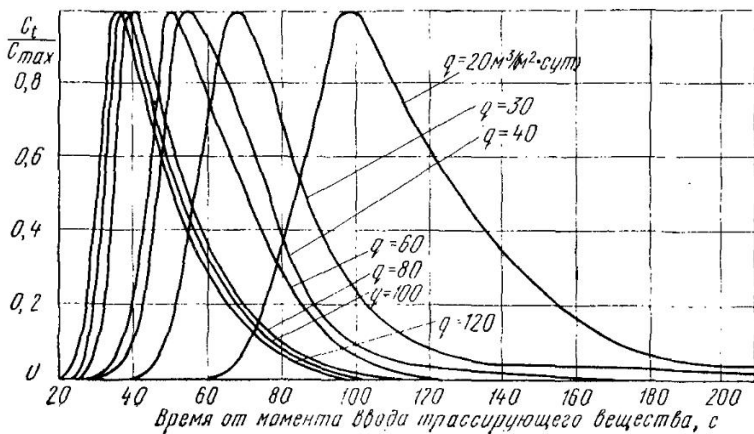


Рис. 55. Гидродинамические характеристики биологических фильтров с пластмассовой загрузкой.

вертикальных рядов винипластовой пленки. Высота биофильтра 3 м, расстояние между рядами пленки 50 мм [61].

В результате обработки этих кривых получены зависимости средней продолжительности протока и критерия  $Bo$  от гидравлической нагрузки (рис. 56). Установлено, что для математического описания структуры потока в этих сооружениях также можно использовать ячеечную модель. Сравнивая гидродинамические характеристики биологических фильтров с объемной (см. рис. 53) и плоскостной загрузкой (см. рис. 55), видим, что при одинаковых гидравлических нагрузках продолжительность пребывания сточных вод в биологическом фильтре с

пластмассовой вертикальной загрузкой меньше, чем продолжительность пребывания в биологических фильтрах с объемной загрузкой. Вместе с тем структура потока жидкости, протекающей через биологический фильтр с пластмассовой вертикальной загрузкой, улучшается при повышении гидравлической нагрузки до  $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ , уменьшается критерий  $Vo$ , т. е. снижается степень перемешивания потока. Это обусловлено тем, что в силу неравномерности распределения жидкости при невысоких гидравлических нагрузках [до  $20 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ ] поток сточных вод в биологических фильтрах с пластмассовой вертикальной загрузкой движется по плоскостям загрузки отдельными струйками. Струйки, сливаясь и вновь разделяясь, проходят слой загрузки по разным траекториям и перемешиваются. При повышении гидравлической нагрузки до  $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$  поток жидкости распределяется более

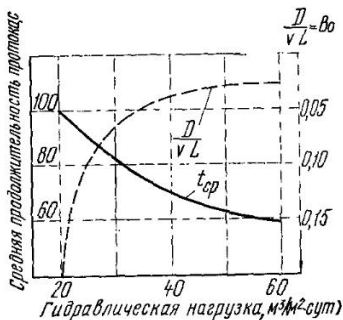


Рис. 56. Зависимость  $t_{cp}$  и  $\frac{D}{vL}$  от гидравлической нагрузки для биологических фильтров с пластмассовой загрузкой.

равномерно по плоскостям загрузки, режим движения приближается к пленочному и степень перемешивания уменьшается.

Материальный баланс по органическим загрязнениям при работе биологического фильтра можно представить следующим образом:

$$QL_{п} = QL_{в} + W_{ж}v_{н} + W_{ж}v_{н},$$

где  $Q$  — расход жидкости, проходящей через фильтр,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $L_{п}$ ,  $L_{в}$  — концентрации загрязнений в поступающей и выходящей жидкости,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $W_{ж}$  — объем жидкости, находящейся в загрузке, в момент времени  $t$ ,  $\text{м}^3$ ;  $v_{н}$  — скорость изъятия загрязнений,  $\text{г}/\text{мин}$ ;  $v_{н}$  — скорость накопления загрязнений в элементарном объеме жидкости,  $\text{г}/\text{мин}$ .

При установившемся режиме работы биологического фильтра накопления загрязнений не происходит и  $v_{н} = 0$ .

Скорость изъятия загрязнений  $v_{н}$  зависит от режима работы фильтра и при определенной или изменяющейся



в небольшом диапазоне нагрузке может быть выражена уравнением 1-го порядка

$$v_{\text{н}} = dL/dt = kL,$$

где  $k$  — коэффициент скорости изъятия загрязнений, мин<sup>-1</sup>.

Принимая, как было показано ранее, ячеечную модель для описания структуры потока жидкости, протекающей через биологический фильтр, и учитывая, что  $W_{\text{ж}}/Q = t_{\text{ср}}$ , получим формулу для расчета биологических фильтров

$$L_{\text{ц}}/L_t = (1 + kt_{\text{ср}}/m)^m. \quad (38)$$

В этой формуле коэффициент  $k$  определяет кинетику процесса изъятия органических загрязнений в биологическом фильтре и зависит от режима работы сооружения (определяемого нагрузкой), температуры среды, скорости подвода загрязнений и кислорода воздуха, отвода продуктов биохимических реакций и других факторов. Коэффициент  $k$  можно определить по любому виду загрязнений; используют обычно показатели ХПК и БПК<sub>полн</sub>.

Среднюю продолжительность протока  $t_{\text{ср}}$  и условное число ячеек для высоконагружаемых биологических фильтров с объемной загрузкой определяют по уравнениям (36) и (37).

По формуле (38), используя данные исследований работы высоконагружаемых биологических фильтров при очистке сточных вод молочных заводов (см. табл. 18 и 20), были определены фактические значения коэффициента  $k$  при различных режимах и схемах работы этих сооружений (рис. 57). Коэффициенты скорости изъятия загрязнений  $k$ , вычисленные как по БПК<sub>полн</sub>, так и по ХПК, зависят от температуры сточных вод, причем эта зависимость для одноступенчатых и первой ступени двухступенчатых биологических фильтров имеет один характер, а для второй ступени двухступенчатых биологических фильтров — другой. Это свидетельствует о том, что скорость биохимического процесса на одноступенчатых и первой ступени двухступенчатых биологических фильтров практически одинакова в диапазоне испытанных высоких нагрузок. На второй ступени, работа которой осуществляется в режиме с низкими нагрузками, эта скорость значительно уменьшается.

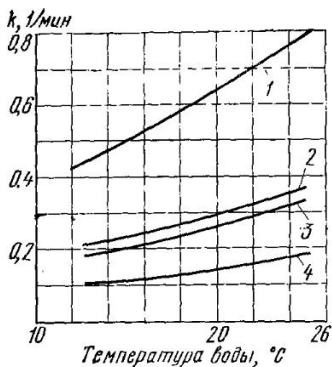


Рис. 57. Зависимость коэффициента скорости от температуры при очистке сточных вод молочных заводов на биологических фильтрах:

1 — первая ступень биологического фильтра по БПК<sub>полн</sub>; 2 — то же по ХПК; 3 — вторая ступень биологического фильтра по БПК<sub>полн</sub>; 4 — то же по ХПК.

где  $k_{20}$  — константа скорости при  $T=20^\circ\text{C}$ ,  $\text{мин}^{-1}$ .

В окончательном виде формулу для расчета высоконагружаемых биологических фильтров с учетом уравнений гидродинамики сооружения и кинетики биохимического процесса можно представить в виде

$$L_{II}/L_I = [1 + k_{20} \cdot 1,047 \cdot q^{0,156} / 0,201 H^{1,38}]^{1,01} H^{2,38} / q^{0,568} \quad (39)$$

Величины коэффициента скорости изъятия загрязнений  $k_{20}$  составляют:

для одноступенчатых биологических фильтров и первой ступени двухступенчатых

по ХПК —  $(k_X^I)_{20} = 0,291 \text{ мин}^{-1}$ ;

по БПК<sub>полн</sub> —  $(k_B^I)_{20} = 0,625 \text{ мин}^{-1}$ ;

для второй ступени двухступенчатых биологических фильтров

по ХПК —  $(k_X^{II})_{20} = 0,145 \text{ мин}^{-1}$ ;

Сказанное выше подтверждается и микробиологическими исследованиями (см. с. 145), которыми установлено отсутствие четкой стратификации видов микроорганизмов по высоте одноступенчатых биологических фильтров и первой ступени двухступенчатых. В то же время обнаруживалось заметное различие физиологических групп микроорганизмов, населяющих первую и вторую ступени биологических фильтров.

Анализ данных (см. рис. 57) показывает, что зависимость коэффициента скорости  $k$  от температуры с достаточной точностью описывается уравнением

$$k = k_{20} \cdot 1,047^{(T-20)},$$

по  $BPK_{\text{полн}} - (k_B^{II})_{20} = 0,263 \text{ мин}^{-1}$ .

Формулу (39) можно применять для расчета одноступенчатых, двухступенчатых биологических фильтров, в том числе и с перемежающимся орошением (при перемене ступеней через 3 сут) при очистке сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности [72]. При проектировании высоконагружаемых биологических фильтров следует принимать высоту 2—4 м, объемную загрузку из фракций размером 40—70 мм, гидравлическую нагрузку 20—40  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ .

Работа биологических фильтров должна осуществляться с рециркуляцией очищенной жидкости. Коэффициент рециркуляции определяют исходя из  $BPK_{\text{полн}}$  смеси исходных и очищенных сточных вод, поступающих на биологические фильтры, которая составляет для одноступенчатых и двухступенчатых не более 200 мг/л, для двухступенчатых с перемежающимся орошением — не более 400 мг/л. Период между сменой ступеней биологических фильтров с перемежающимся орошением 3 сут.

Количество избыточной биопленки — 8—10% от количества снятых загрязнений по  $BPK_{\text{полн}}$ . Влажность осадка вторичных отстойников 97—98%. Расход воздуха 12  $\text{м}^3$  на 1  $\text{м}^3$  сточных вод, вентиляция естественная или искусственная.

Для упрощения расчетов по формуле (39) составлена табл. 23.

*Пример 1.* Расход сточных вод молочного завода — 500  $\text{м}^3$  в сутки,  $BPK_{\text{полн}}$  исходных сточных вод  $L_n = 1200$  мг/л; допустимая  $BPK_{\text{полн}}$  очищенной жидкости 25 мг/л. Среднезимняя температура сточных вод 18°С. Рассчитать одноступенчатые высоконагружаемые биологические фильтры с загрузкой из естественных материалов.

Биологические фильтры должны работать с рециркуляцией очищенной жидкости, обеспечивая разбавление исходного стока до  $L_{\text{см}} = 200$  мг/л. Тогда требуемая степень снижения концентрации загрязнений в биологическом фильтре составит

$$L_{\text{см}}/L_t = 200/25 = 8.$$

Задаемся величиной гидравлической нагрузки  $q = 20 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{сут})$ . Расчет ведем по табл. 23, из которой видно, что при расчетной температуре сточных вод 18°С и  $q = 20 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$  отношение  $L_n/L_t = 12,85$  при  $H = 4$  м и  $L_n/L_t = 5,68$  при  $H = 3$  м.

Можно принять следующие варианты.

I вариант.  $q = 20 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ ;  $H = 4$  м;  $L_n/L_t = 12,85$ ; при этих параметрах биологического фильтра  $BPK_{\text{полн}}$  очищенной жидкости составит

Таблица 23. Данные для расчета высоконагружаемых фильтров

Биологические фильтры и их высота	БПК <sub>пост</sub> /БПК <sub>оч</sub> ( $L_{II}/L_I$ ) при температуре сточных вод и гидравлической нагрузке [в м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·сут)]					
	T=10° C			T=14° C		
	q=20	q=30	q=40	q=20	q=30	q=40
Одноступенчатые и первая ступень двухступенчатых биологических фильтров вы- сотой, м						
2	2,13	1,87	1,73	2,33	2,01	1,84
3	3,73	3	2,62	4,37	3,46	2,98
4	6,65	4,88	4,04	8,73	6,12	4,93
Вторая ступень двухступен- чатых биологических филь- тров высотой, м						
2	1,48	1,39	1,36	1,58	1,46	1,4
3	1,9	1,71	1,61	2,12	1,88	1,75
4	2,43	2,11	1,94	2,86	2,42	2,18

Продолжение табл. 23

Биологические фильтры и их высота	БПК <sub>пост</sub> /БПК <sub>оч</sub> ( $L_{II}/L_I$ ) при температуре сточных вод и гидравлической нагрузке [в м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·сут)]					
	T=18° C			T=22° C		
	q=20	q=30	q=40	q=20	q=30	q=40
Одноступенчатые и первая ступень двухступенчатых биологических фильтров вы- сотой, м						
2	2,63	2,22	2,01	2,95	2,44	2,18
3	5,68	4,24	3,54	7,23	5,16	4,21
4	12,85	8,42	6,51	18,93	11,58	8,59
Вторая ступень двухступен- чатых биологических филь- тров высотой, м						
2	1,69	1,55	1,47	1,83	1,65	1,56
3	2,41	2,09	1,92	2,78	2,36	2,13
4	3,45	2,83	2,5	4,27	3,38	2,93

$$L_t = 200/12,85 = 15,5 \text{ мг/л.}$$

Коэффициент рециркуляции

$$n = (1200 - 200)/(200 - 15,5) = 5,4.$$

Потребная площадь биологического фильтра

$$F = Q(n + 1)/q = 500(5,4 + 1)/20 = 160 \text{ м}^2.$$

Объем биологических фильтров

$$W = FH = 160 \cdot 4 = 640 \text{ м}^3.$$

II вариант.  $q = 20 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ . Высоту биологического фильтра определяем интерполированием по требуемой величине  $L_{II}/L_t = 8$ ,  $H = 3,4 \text{ м}$ . При этих параметрах будет обеспечиваться БПК<sub>полн</sub> очищенной жидкости, равное 25 мг/л.

Коэффициент рециркуляции

$$n = (1200 - 200)/(200 - 25) = 5,7.$$

Потребная площадь

$$F = 500(5,7 + 1)/20 = 167,5 \text{ м}^2.$$

Объем фильтров  $W = 167,5 \times 3,4 = 569,5 \text{ м}^3$ .

*Пример 2.* Рассчитать двухступенчатые биологические фильтры при тех же исходных данных, что и в примере 1. БПК<sub>полн</sub> очищенной жидкости 15 мг/л.

Примем, что на первой ступени достигается снижение БПК<sub>полн</sub> до 30 мг/л. Биологические фильтры первой ступени должны работать с рециркуляцией, БПК<sub>полн</sub> смеси сточных вод, поступающих на фильтр, 200 мг/л.

Требуемая степень снижения концентрации загрязнений

$$L_{см}/L_t' = 200/30 = 6,67.$$

Принимая гидравлическую нагрузку, равную  $40 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$ , при расчетной температуре сточных вод  $18^\circ \text{C}$  по табл. 23 находим ближайшее значение  $L_{см}/L_t' = 6,51$ ; при этом высота биологического фильтра равна 4 м. Тогда величина БПК<sub>полн</sub> очищенной жидкости после первой ступени составит

$$L_t' = 200/6,51 = 30,72 \text{ мг/л.}$$

Необходимая степень снижения БПК<sub>полн</sub> на второй ступени равна

$$L_t'/L_t = 30,72/15 = 2,05.$$

По табл. 23 находим ближайшее к расчетному значение  $L_{II}/L_t$  для второй ступени. При гидравлической нагрузке  $30 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$  и высоте биологического фильтра 3 м эта величина составляет 2,09. Таким образом, при принятых параметрах биологического фильтра БПК<sub>полн</sub> очищенной жидкости после второй ступени будет равна

$$L_t = 30,72/2,09 = 14,7 \text{ мг/л.}$$

Работа биологических фильтров может быть осуществлена по различным технологическим схемам с рециркуляцией очищенной жидкости (см. рис. 50).

I вариант. Работа биологического фильтра с рециркуляцией очищенной жидкости после второй ступени (см. рис. 50, а). При этой схеме коэффициент рециркуляции составляет

$$n = (1200 - 200)/(200 - 14,7) = 5,4.$$

Требуемая площадь биологического фильтра первой ступени

$$F_I = Q(n + 1)/q = 500(5,4 + 1)/40 = 80 \text{ м}^2.$$

Объем биологических фильтров первой ступени  $W_I = 80 \cdot 4 = 320 \text{ м}^3$ .

Площадь биологических фильтров второй ступени

$$F_{II} = 500(5,4 + 1)/30 = 106,7 \text{ м}^2.$$

Объем загрузки второй ступени

$$W_{II} = 106,7 \cdot 3 = 320 \text{ м}^3.$$

II вариант. Работа биологических фильтров по схеме, изображенной на рис. 50, б, с рециркуляцией очищенной жидкости после первой ступени. В этом случае коэффициент рециркуляции составит

$$n = (1200 - 200)/(200 - 30,72) = 5,91.$$

Площадь биологических фильтров:  
первой ступени

$$F_I = 500(5,91 + 1)/40 = 86,38 \text{ м}^2,$$

второй ступени

$$F_{II} = 500/30 = 16,7 \text{ м}^2.$$

Объем биологических фильтров:  
первой ступени

$$W_I = 86,38 \cdot 4 = 345,52 \text{ м}^3,$$

второй ступени

$$W_{II} = 16,7 \cdot 3 = 50,1 \text{ м}^3.$$

*Пример 3.* Рассчитать двухступенчатые биологические фильтры с перемежающимся орошением. Исходные данные те же, что в примере 2.

При использовании двухступенчатых биологических фильтров с перемежающимся орошением с переменной ступеней через 3 сут. предельно допустимая концентрация загрязнений по БПК<sub>полн</sub> в жидкости, подаваемой на биологический фильтр, составляет 400 мг/л.

Высота и площадь ступеней биологического фильтра должны быть одинаковыми, так как они работают поочередно в качестве первой и второй ступеней. Общая степень снижения концентрации загрязнений на обеих ступенях составляет  $L_n/L_t = 400/15 = 26,67$ .

Из табл. 23 выбираем значение  $L_n/L_t$ , ближайшее к расчетному. При температуре сточных вод  $18^\circ\text{C}$ , гидравлической нагрузке  $30 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$  и высоте биологических фильтров 4 м на первой ступени  $L_n/L_t^I = 8,42$ , на второй  $L_n/L_t^{II} = 2,83$ . Общее снижение концентрации загрязнений по БПК на обеих ступенях  $L_n/L_t = 8,42 \cdot 2,83 = 23,83$ .

Для того чтобы при указанных параметрах биологических фильтров достичь  $L_t = 15 \text{ мг/л}$ , БПК<sub>полн</sub> смеси исходных и рециркулируемых очищенных сточных вод, направляемых на биологический фильтр, должна быть равной  $L_n = 23,83 \cdot 15 = 357,45 \text{ мг/л}$ .

Коэффициент рециркуляции составляет при работе биофильтров по схеме, приведенной на рис. 50, а,  $n = (1200 - 357,45)/(357,45 - 15) = 2,48$ .

Общая площадь биологических фильтров первой и второй ступеней

$$F = 2 \cdot 500 (2,46 + 1)/30 = 2 \cdot 57,7 \text{ м}^2.$$

Объем биологических фильтров составляет  $W = 2 \cdot 57,7 \cdot 4 = 2 \cdot 231 \text{ м}^3$ .

Таким образом, объем двухступенчатого биологического фильтра с перемежающимся орошением ( $W = 462 \text{ м}^3$ ) получился на 28% меньше, чем объем двухступенчатого биологического фильтра (пример 2, вариант 1,  $W = 640 \text{ м}^3$ ), при одинаковых условиях и равной степени очистки.

Двухступенчатые биологические фильтры с перемежающимся орошением могут работать по схеме с рециркуляцией очищенной воды, забираемой после первой ступени биологического фильтра (см. рис. 50, в). В этом случае потребный объем биологических фильтров значительно снизится.

Потребный расход воздуха, который должен поступать в биологический фильтр, составляет

$$D = L_a/21,$$

где  $D$  — потребный расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $L_a$  — БПК<sub>полн</sub> сточных вод, подаваемых на биологический фильтр.

В процессе эксплуатации биологических фильтров необходимо знать, когда следует осуществлять принудительную подачу воздуха в загрузку и когда биологические фильтры могут работать с естественной вентиляцией.

Принудительной вентиляцией биологических фильтров обеспечивается постоянная продувка загрузки воздухом в необходимом для протекания биохимического процесса объеме. Однако искусственная вентиляция требует значительных эксплуатационных затрат и, кроме

того, может способствовать охлаждению жидкости зимой [60].

При естественной вентиляции биологических фильтров, как указывается многими исследователями, в загрузке устанавливается определенный температурно-влажностный режим, который регулирует скорость воздушного потока через сооружение, благоприятно сказывается на его работе.

Естественная вентиляция биологических фильтров обуславливается разностью удельного веса воздуха внутри и снаружи сооружения. Эта разность определяется неодинаковыми влагосодержанием, температурой и составом воздуха, находящегося внутри биологического фильтра, и наружного. Гравитационное давление, вызванное перепадом удельных весов воздуха, тратится на преодоление местного сопротивления при входе воздуха в вентиляционные окна и сопротивление загрузки при его движении через биологический фильтр, что выражается следующим уравнением:

$$H \cdot \Delta\gamma = \xi_{вх} (v_{вх}^2 / 2g) \gamma_{н} + \xi_{загр} (v_{вых}^2 / 2g) \gamma_{вых}, \quad (40)$$

где  $H$  — высота загрузки, м;  $\Delta\gamma$  — разность между удельным весом выходящего  $\gamma_{вых}$  и наружного  $\gamma_{н}$  воздуха,  $\text{Н/м}^3$ ;  $\xi_{вх}$ ;  $\xi_{загр}$  — коэффициент сопротивления соответственно входа (вентиляционные окна) и загрузки;  $v_{вх}$ ;  $v_{вых}$  — скорость движения воздуха соответственно на входе и выходе, м/с.

Скорость движения воздуха составляет:  
на входе

$$v_{вх} = Q_v / f, \quad (41)$$

на выходе из биологического фильтра

$$v_{вых} = Q_v / F\rho, \quad (42)$$

где  $Q_v$  — расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $f$  — площадь поверхности вентиляционных окон,  $\text{м}^2$ ;  $F$  — площадь биологического фильтра,  $\text{м}^2$ ;  $\rho$  — пористость загрузки, доли единицы.

Было установлено, что основным побудителем естественной вентиляции является разность температур воздуха внутри и снаружи биологического фильтра. Температура воздуха, находящегося в загрузке, при контакте его со сточной жидкостью изменяется пропорционально температуре жидкости. При температуре сточных вод более высокой, чем температура наружного воздуха, в биологическом фильтре устанавливается восходящее движение



воздушного потока, при обратном соотношении температур наблюдается нисходящее движение воздуха. При отсутствии перепада температур движение воздуха в загрузке становится неустойчивым и вентиляция может прекратиться.

Учитывая сказанное выше, уравнение (40) с учетом (41) и (42) можно представить в виде

$$H(T_B^B - T_B^H)/T_B^B = (Q_B^2/2g)_j [\xi_{вх}/f^2 + \xi_{зarp}/(Fp)^2], \quad (43)$$

где  $T_B^H, T_B^B$  — соответственно температура воздуха наружного и выходящего из биологического фильтра, °К.

Общую закономерность изменения температуры воздуха при прохождении через загрузку можно выразить уравнениями теплопередачи и теплового баланса

$$dT/dt = k_1(\theta - T_t), \quad (44)$$

$$M_{ж}(T_{ж}^H - \theta) C_{ж} \approx M_{в}(\theta - T_{в}^H) C_{в}, \quad (45)$$

где  $t = FHp/Q_{в}$  — продолжительность прохождения воздуха через загрузку, с;  $k_{1*}$  — коэффициент скорости теплового потока,  $c^{-1}$ ;  $\theta$  — равновесная температура, К;  $T_{ж}^H$  — начальная температура жидкости, К;  $T_{в}^H, T_t$  — температура воздуха начальная и через время  $t$ , К;  $M_{ж}; M_{в}$  — массы жидкости и воздуха, участвующие в массообмене, кг;  $C_{ж}; C_{в}$  — теплоемкость воды и воздуха, Дж/(кг·К).

Совместное решение (44) и (45) позволяет получить:

$$k_1 = (1/t) \ln [(T_{ж}^H - T_{в}^H)/(T_{ж}^H - T_{в}^B)]. \quad (46)$$

Чтобы исключить из уравнения (43) неизвестную температуру выходящего из биологического фильтра воздуха, решаем его совместно с уравнением (46). В результате получим уравнение, связывающее расход воздуха при естественной вентиляции биологических фильтров с температурами поступающих сточных вод и наружного воздуха:

$$T_{ж}^H/T_{в}^H = \frac{\{2gH(e^{k_1 t} - 1) \pm Q_B^2[\xi_{вх}/f^2 + \xi_{зarp}/(Fp)^2]\}}{\{2gH(e^{k_1 t} - 1) \mp Q_B^2(e^{k_1 t} - 1)[\xi_{вх}/f^2 + \xi_{зarp}/(Fp)^2]\}}. \quad (47)$$

Данное уравнение позволяет определить интенсивность воздухообмена в зависимости от перепада температур сточных вод и наружного воздуха для любых типов и конструкций биологических фильтров. Коэффици-

енты  $k_1$ ;  $\xi_{вх}$  и  $\xi_{загр}$  формулы (47) определяют экспериментально. По нашим исследованиям, для высоконагружаемых биологических фильтров с объемной загрузкой (крупностью 40—70 мм и пористостью 45%)  $k_1 = 0,00258, c^{-1}$ ;  $\xi_{вх} = 0,3$ ;  $\xi_{загр} = 2160$ .

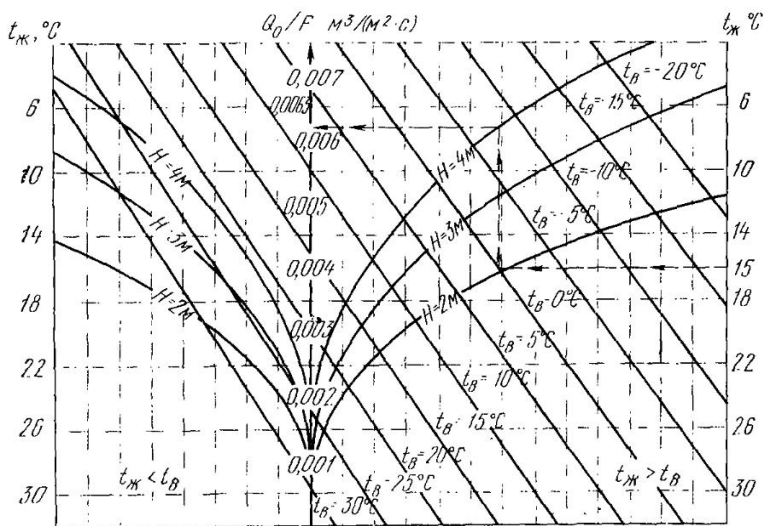


Рис. 58. График для определения расхода воздуха при естественной вентиляции высоконагружаемых биологических фильтров.

Примечание. Если температура сточных вод  $t_{ж}$  выше, чем температура наружного воздуха  $t_{в}$ , то расход воздуха определяют по правой части графика, при  $t_{ж} < t_{в}$  — по левой части графика.

Пример пользования графиком. При температуре сточных вод  $t_{ж} = 15^\circ C$ , температуре наружного воздуха  $t_{в} = 0^\circ C$  и высоте биологического фильтра 4 м удельный расход воздуха при естественной вентиляции равен  $0,0063 \text{ м}^3/\text{с}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади поверхности биологического фильтра в пласте.

Подставляя эти коэффициенты в формулу (47), получаем уравнение для указанных типов биологических фильтров

$$T_{ж}^H / T_{в}^H = \frac{[3,2 \cdot 10^{-4} H (e^{k_1 t} - 1) \pm (Q_{в}/F)^2]}{\{[3,2 \cdot 10^{-4} H \mp (Q_{в}/F)^2 (e^{k_1 t} - 1)]\}} \quad (48)^*$$

\* Перемена знака (плюс или минус) в формулах 47 и 48 принимается в зависимости от соотношения  $T_{ж}^H > T_{в}^H$  или  $T_{ж}^H < T_{в}^H$ .

По формуле (48) составлена номограмма для определения расхода воздуха при естественной вентиляции высоконагружаемых биологических фильтров (рис. 58) [64].

## БИОФИЛЬТРЫ-СТАБИЛИЗАТОРЫ ✓

Биофильтры-стабилизаторы, разработанные кафедрой канализации ЛИСИ, представляют собой модификацию биологических фильтров с плоскостной загрузкой. При исследовании кислородного режима работы биологических фильтров [64] было отмечено, что при протекании сточных вод через загрузку в силу высоких массообменных свойств биологических фильтров очищенная жидкость насыщается растворенным кислородом. Концентрация кислорода в воде, выходящей из тела биологического фильтра, очень высокая и иногда приближается к предельной (равновесной) концентрации. Одновременно установлено, что избыточная биопленка, выносимая с загрузки, потребляет растворенный кислород во вторичном отстойнике на окисление остаточных загрязнений сточных вод и минерализацию избыточной биомассы. Очевидно, что, используя активные свойства избыточной биопленки, выносимой из загрузки, и значительное количество растворенного кислорода в очищенной жидкости, можно путем неоднократного повторного возврата избыточной биопленки на фильтр вместе с рециркулирующей жидкостью увеличить производительность биологического фильтра, а также обеспечить стабилизацию избыточной биомассы. Такая работа биологического фильтра возможна, разумеется, лишь при достаточной пористости загрузочного материала, с тем чтобы избежать его заиливания.

Биофильтр-стабилизатор (рис. 59) состоит из биологического фильтра с пластмассовой загрузкой и расположенного под ним стабилизатора [73]. Стабилизатор имеет отстойную зону, размещенную по его периферии.

Загрузочный материал биофильтра — перфорированная винилпластовая рулонная пленка, навешиваемая вертикальными полотнами через 50 мм. Загрузка имеет следующие характеристики: пористость 98%, удельную поверхность 66 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Подобная загрузка способна выдержать практически любую нагрузку по органическим

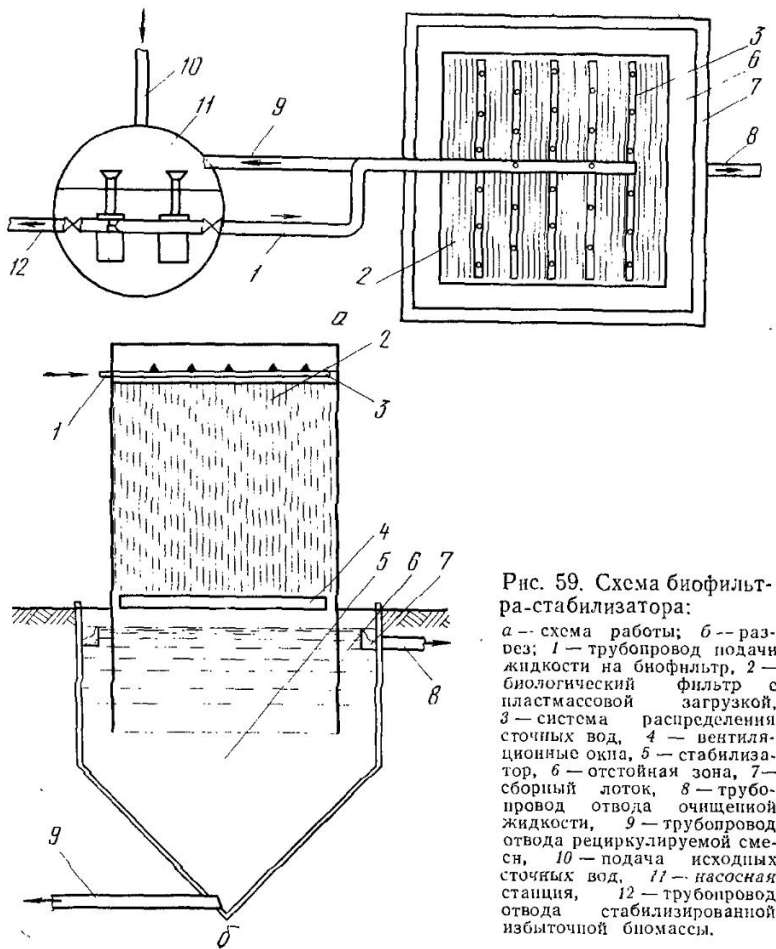


Рис. 59. Схема биофилт-  
ра-стабилизатора:

*а* — схема работы; *б* — раз-  
рез; 1 — трубопровод подачи  
жидкости на биофилтр, 2 —  
биологический филтр с  
пластмассовой загрузкой,  
3 — система распределения  
сточных вод, 4 — венти-  
ляционные окна, 5 — стабилизатор,  
6 — отстойная зона, 7 —  
сборный лоток, 8 — трубо-  
провод отвода очищенной  
жидкости, 9 — трубопровод  
отвода рециркулируемой сме-  
си, 10 — подача исходных  
сточных вод, 11 — насосная  
станция, 12 — трубопровод  
отвода стабилизированной  
избыточной биомассы.

загрязнениям без опасности заиливания, позволяет значительно повысить производительность биологического фильтра и осуществлять его работу с естественной вентиляцией. На биологический филтр вместе с рециркулируемой жидкостью повторно подается избыточная биопленка, что обуславливает повышение окислительной мощности сооружения за счет ее включения в процесс изъятия загрязнений. Таким образом, биохимическая очистка сточных вод в этих сооружениях осуществляется

как закрепленной на загрузке биопленкой, так и циркулирующей избыточной биопленки.

Установка работает следующим образом (рис. 59, б). Исходные сточные воды поступают в приемный резервуар насосной станции, куда направляется также и рециркулируемая жидкость из нижней части стабилизатора вместе с избыточной биопленкой. Насосом эта смесь подается на распределительное устройство биологического фильтра.

При прохождении сточных вод через загрузку очищенная жидкость насыщается кислородом. Этот кислород расходуется в стабилизаторе на окисление (минерализацию) избыточной биопленки и доочистку сточных вод.

Потребное количество растворенного кислорода регулируют, изменяя степень рециркуляции жидкости и интенсивность орошения загрузки. Циркулирующая жидкость вместе с избыточной биопленкой вновь забирается из нижней части стабилизатора и возвращается насосом на биологический фильтр. Очищенная сточная вода осветляется в отстойной зоне стабилизатора и отводится из сооружения.

В биофильтре-стабилизаторе производится окисление загрязнений сточных вод, находящихся во взвешенном, коллоидном и растворенном состояниях, а также минерализация прирастающей биомассы. Таким образом, при использовании этих сооружений не требуется устройство первичных и вторичных отстойников, а также сооружений для сбрасывания осадка.

Биофильтр-стабилизатор обслуживается одним насосом (дополнительно устанавливают один резервный насос), работу этого сооружения можно легко автоматизировать (автоматический пуск резервного агрегата).

Работа биофильтра-стабилизатора была испытана в течение трех лет на сточных водах молочного завода в различных режимах.

Окислительная мощность биофильтра составляла 1000—3300 г БПК<sub>полн</sub>/(м<sup>3</sup>·сут), эффект очистки — 97—98,5%, БПК<sub>полн</sub> очищенной жидкости — 13—28 мг/л.

Установка работала на режиме полного окисления избыточной биомассы при концентрации биопленки в стабилизаторе 1—1,5 г/л. Концентрация растворенного кислорода в жидкости, стекающей с загрузки, 5,5—

7,2 мг/л. Продолжительность стабилизации биомассы 6—15 сут.

Таким образом, как показали результаты испытаний, проведенных в производственных условиях, окислительная мощность биофильтра-стабилизатора была значительно выше, чем окислительная мощность высоконагружаемых биологических фильтров обычной конструкции. Одновременно в стабилизаторе обеспечивалась минерализация избыточной биомассы.

Проведенные испытания позволяют рекомендовать следующие расчетные параметры биофильтров-стабилизаторов.

Окислительная мощность биофильтров 1000 г БПК<sub>полн</sub>/(м<sup>3</sup>·сут), высота загрузки 2—4 м. Загрузка биофильтра выполняется в виде вертикальных рядов винипластовой перфорированной пленки, расстояние между рядами 50 мм. Коэффициент рециркуляции определяют из условий обеспечения кислородом процесса минерализации избыточной биомассы в стабилизаторе в зависимости от ее прироста. Количество кислорода, снимаемого с 1 м<sup>3</sup> сточных вод при однократном пропуске через биологический фильтр, 4—6 г/м<sup>3</sup>.

Продолжительность стабилизации биомассы 10 сут, ее концентрация в стабилизаторе 1—2 г/л.

Отстойная зона стабилизатора рассчитывается на 1,5-часовое пребывание очищенных сточных вод.

По рекомендациям кафедры канализации ЛИСИ, ленинградским Водоканалпроектом разработан экспериментальный проект биофильтров-стабилизаторов производительностью 400 м<sup>3</sup>/сут для очистки сточных вод молочных заводов. Проектом предусмотрено устройство двух секций биофильтров-стабилизаторов, размещенных в отапливаемом здании совместно с насосной станцией и вспомогательными помещениями (рис. 60).

Биологический фильтр представляет собой каркасную железобетонную конструкцию, обтянутую пластмассовой пленкой. В верхней его части установлены решетки из винипластовых труб, на которые навешиваются полотна винипластовой плесочной загрузки. Над решетками расположена спринклерная система для распределения сточных вод по поверхности фильтра. Размеры каждой секции биологического фильтра в плане 7,8 × 7,8 м, высота 3,4 м.

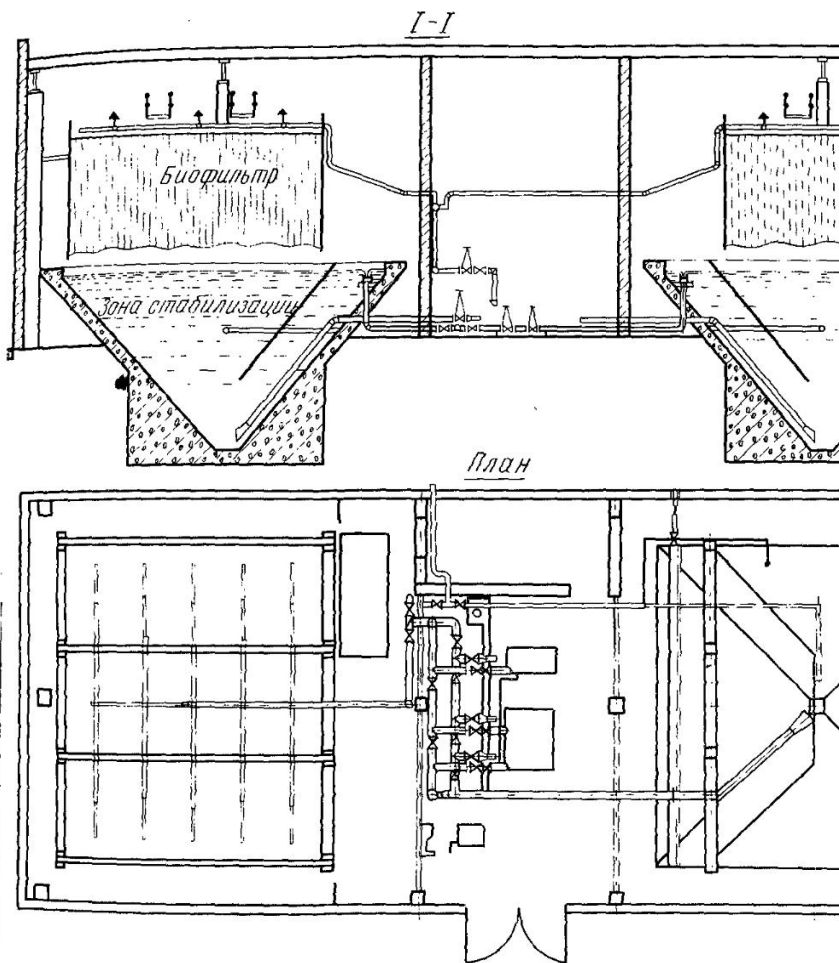


Рис. 60. Биофильтр-стабилизатор производительностью 400 м<sup>3</sup> в сутки для очистки сточных вод молочного завода.

Стабилизаторы, расположенные под биологическими фильтрами, выполнены в виде усеченной пирамиды с углами наклона дна 50°. Отстойная зона отделена от стабилизатора наклонной перегородкой. Объем фильтра определен, исходя из окислительной мощности загрузки

1000 г БПК<sub>полн</sub>/(м<sup>3</sup>·сут). Продолжительность стабилизации избыточной биомассы 10 сут, продолжительность отстаивания очищенной жидкости 2 ч. Избыточная стабилизированная биомасса удаляется из нижней части стабилизатора с помощью насоса и направляется для подсушивания на иловые площадки. Насосная станция рециркуляции размещена между секциями биофильтров-стабилизаторов и оборудована двумя насосами марки ФГ 144/10,5.

В здании, кроме насосной станции, размещены комнаты для обслуживающего персонала, помещение щитов КИП и сигнализации, вентиляторная камера, бытовые помещения.

## Глава 7. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ

### СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ

Необходимыми условиями работы аэротенка являются достаточно интенсивное перемешивание жидкости с микроорганизмами, непрерывное обеспечение процесса растворенным кислородом, установившийся режим подачи органических загрязнений на единицу массы микроорганизмов и надлежащий температурный режим. Перемешивание жидкости и растворение кислорода обеспечивают аэраторы различного типа. Ассоциации микроорганизмов обычно развиваются в сточных водах самопроизвольно и поддерживаются в пухлом составе вследствие соблюдения величины нагрузки на микроорганизмы по органическим веществам и температуры воды. Сезонные колебания состава микроорганизмов пока не поддаются управлению. Сообщество микроорганизмов и простейших в аэротенках представляет собой активный ил. Активный ил расходует органические вещества загрязнений в процессе жизнедеятельности (энергетический обмен) и размножения (конструктивный обмен). Избыток микроорганизмов, появляющийся в результате их размножения, выводят из системы. Основная часть активного ила, которая выносится из аэротенка вместе со сточными водами, задерживается во вторичных отстойниках либо илоотделителях и возвращается вновь в аэротенк.



Ход процесса биохимической очистки активным илом можно проиллюстрировать следующим образом. Порция активного ила перемешана со сточными водами и аэрируется с такой интенсивностью, чтобы в жидкости содержалось 1—3 мг/л растворенного кислорода. Изменение основных показателей показано в виде графика на рис. 61. Точки  $t_1$ — $t_4$  отображают характерные моменты

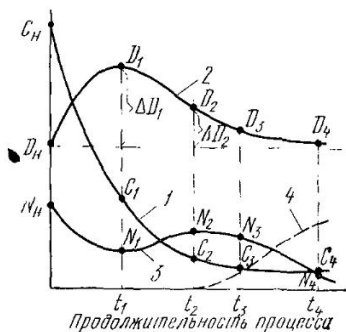


Рис. 61. Изменение показателей биологической очистки сточных вод активным илом: 1 — снижение БПК (ХПК) сточных вод от начальной концентрации  $C_H$  до  $C_4$ . 2 — изменение концентрации активного ила с  $D_H$  до  $D_1$ — $D_4$ . 3 — изменение концентрации аммонийного азота в сточных водах ( $N_H \rightarrow N_4$ ). 4 — изменения концентрации нитритов и нитратов.

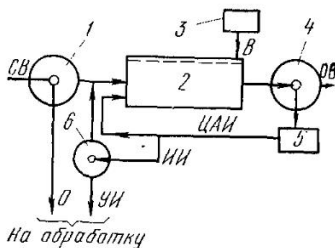


Рис. 62. Принципиальная схема взаимосвязи аэротенка с очистными сооружениями:

1 — первичный отстойник, 2 — аэротенк (с пневматической аэрацией), 3 — воздуходувное оборудование, 4 — вторичный отстойник, 5 — насосная станция циркулирующего активного ила, 6 — илоуплотнитель, В — воздух, ЦАИ — циркулирующий активный ил, ИИ — избыточный ил, УИ — уплотненный ил, О — осадок первичных отстойников, СВ — сточные воды, ОВ — очищенная вода.

процесса. К моменту времени  $t_1$ , соответствующему частичной очистке сточных вод, в результате интенсивного размножения бактерий БПК (или ХПК) снижается на 50—70% (кривая 1), наблюдается наибольший прирост активного ила  $\Delta D_1$  (кривая 2) и некоторое уменьшение концентрации аммонийного азота (кривая 3). В момент времени  $t_2$ , соответствующий неполной очистке жидкости, достигается эффект очистки порядка 80—90%, заметно снижается прирост активного ила  $\Delta D_2$  вследствие недостатка «питания» для микроорганизмов. Самоокисление активного ила обуславливает увеличение концентрации аммонийного азота. Недостаточная полнота

очистки на этом этапе процесса проявляется в отсутствии нитрификации, присущей полной очистке. Полная очистка наблюдается в момент времени  $t_3$ , характеризующийся высоким эффектом очистки (выше 90%), низким приростом ила, появлением нитритов и нитратов в очищенной воде. Если продолжать процесс аэрации, то концентрация загрязнений в очищаемой воде почти не изменяется; прирост активного ила стремится к нулю, а концентрация аммонийного азота понижается по мере увеличения количества нитритов и нитратов. Этот этап очистки является продленной (либо продолженной) аэрацией.

Необходимый режим работы аэротенков выбирают, исходя из требований по БПК или ХПК к составу очищенной воды, с учетом необходимости создания запаса химически связанного кислорода в виде нитритов и нитратов, уменьшения прироста ила в целях упрощения операций по его обработке.

Схема взаимосвязи аэротенков с другими сооружениями очистной станции показана на рис. 62. Осветленные сточные воды после первичных отстойников направляются в аэротенк, где они перемешиваются с активным илом, возвращаемым из вторичных отстойников. Впуск сточных вод в аэротенк может быть сосредоточенным либо рассредоточенным по длине или периметру сооружения. На схеме (см. рис. 62) показан аэротенк с пневматической аэрацией, в котором перемешивание иловой смеси (активного ила с очищаемой водой) и растворение кислорода осуществляются сжатым воздухом. По окончании процесса очистки иловую смесь направляют во вторичный отстойник, в котором активный ил осаждается, а очищенная вода осветляется и отводится далее на дезинфекцию. Задержанный активный ил перекачивается вновь в аэротенк; часть ила, представляющего собой избыток сверх необходимого количества его в аэротенке, отводят на уплотнение либо анаэробную обработку, обезвоживание и сушку. Обычно избыточный активный ил обрабатывают вместе с осадком первичных отстойников.

**Основные технологические показатели работы аэротенка.** Основными показателями работы аэротенка являются нагрузка, возраст ила и удельная скорость окисления. Активной частью обычно считают его беззольную

часть (масса сухого ила за вычетом массы воды, составляющей 15—30% от общей массы).

Количество загрязнений по БПК или ХПК, поданное на единицу массы беззольного вещества ила за какой-то промежуток времени, выражают как нагрузку на ил. Чаще всего используют понятие суточной нагрузки по БПК.

$$N_L = Q_c L_a / [W_a D (1 - S)],$$

где  $N_L$  — суточная нагрузка, мг на 1 г в сутки;  $Q_c$  — суточный приток сточных вод, м<sup>3</sup>/сут;  $L_a$  — БПК<sub>полн</sub> сточных вод, мг/л;  $W_a$  — объем аэротенка, м<sup>3</sup>;  $D$  — доза ила, г/л;  $S$  — зольность ила, доли единицы.

Условная частота обмена ила в аэротенке, связанная с отводом избыточного ила, определяет «возраст» ила:

$$t_n = W_a D / (Q_c P),$$

где  $t_n$  — «возраст» ила, сут;  $P$  — прирост ила, г на 1 л сточных вод.

Чем больше прирост ила, тем большее количество его отводится из аэротенка и тем быстрее происходит обмен его. Илы с большим приростом в режимах частичной и неполной очистки образуют группу «молодых», в режиме полной очистки и продолженной аэрации — группу «старых» илов. Следует учитывать, что величина прироста ила зависит от состава сточных вод и для каждой категории производства абсолютное значение «возраста» ила может довольно резко различаться.

Существенную роль в определении возраста ила играют взвешенные вещества. Известно, что большая часть взвешенных веществ при очистке сорбируется активным илом, образуя мнимый прирост его массы. Это обстоятельство искажает понятие возраста как частоты обмена ила.

Способность активного ила к осаждению и уплотнению характеризует иловый индекс. За 30 мин отстаивания в покое активный ил осаждается и занимает определенный объем. Отношение величины этого объема к его массе и составляет иловый индекс. Иловый индекс определяют при фиксированной концентрации ила — 3 г/л для бытовых сточных вод и 1 г/л для некоторых видов промышленных стоков (рекомендация ВНИИ ВОЛГЕО).

Интенсивность окислительно-восстановительных процессов при биохимической очистке оценивают, определяя

дегидрогеназную активность ила. По ее величине можно судить об интенсивности окисления органических веществ. Дегидрогеназную активность определяют одновременно в трех пробах путем сравнения абсолютных значений активностей в иловой смеси аэротенков  $\gamma_{исх}$ , в пробе, содержащей активный ил с неочищенной водой,  $\gamma_{с.в.}$ , и в пробе, содержащей ил в смеси с водопроводной водой,  $\gamma_{в.}$  В процессе очистки соотношение между активностями изменяется следующим образом:  $\gamma_{исх} > \gamma_{с.в.} > \gamma_{в.}$  — в момент начала очистки сточных вод;  $\gamma_{с.в.} > \gamma_{исх} > \gamma_{в.}$  — в момент появления нитритов и нитратов;  $\gamma_{с.в.} > \gamma_{в.} > \gamma_{исх}$  — при развитой нитрификации, соответствующей полному восстановлению окислительных свойств активного ила.

При определении дегидрогеназной активности по общепринятой методике следует учитывать рекомендации ВНИИ ВОДГЕО.

При анализе показателей, влияющих на работу аэротенка, следует иметь в виду, что масса беззольной части активного ила не во всех случаях отражает истинное количество активных микроорганизмов. Например, при содержании большого количества «балласта» в виде адсорбированных взвешенных веществ либо накоплении в иле биохимически неокисляющихся грубых примесей беззольное вещество ила и количество активных микроорганизмов не коррелируют между собой.

В настоящее время количественное описание числа живых микроорганизмов проводят по содержанию дезоксирибонуклеиновой кислоты в единице массы ила [1]. Однако этот метод еще не прошел достаточной проверки.

#### **Влияние температуры жидкости на скорость очистки.**

Микроорганизмы, населяющие активный ил, относятся преимущественно к группам психрофильных (оптимум температуры 20° С) и мезофильных (оптимум 33—37° С) организмов. Скорость биохимической очистки зависит от температуры жидкости. Понижение температуры вызывает снижение скорости очистки или прекращение деятельности определенных групп микроорганизмов, ответственных за отдельные процессы. При очистке сточных вод в аэротенках наименьшей температурой, при которой скорость очистки становится минимально возможной, считается 6° С. Нитрификация, служащая инди-

каторным процессом полноты очистки, прекращается при 8° С. Очевидно, что для аэротенков следует принять нижний предел температуры иловой смеси порядка 10—12° С, с тем чтобы гарантировать работоспособность всех групп микроорганизмов активного ила. При низких температурах несколько изменяется соотношение между количествами окисляемых органических веществ и органических веществ, направляемых на конструктивный обмен (размножение клеток). Преобладающим становится конструктивный обмен. Поэтому прирост ила при понижении температуры увеличивается. При температуре меньше 6° С очистка идет главным образом вследствие размножения микроорганизмов и с минимальной потребностью в кислороде.

Математическое описание зависимости скорости очистки от температуры выражают обычно модифицированными формулами, базирующимися на уравнении Аррениуса и Вант—Гоффа (см. с. 156). Основание температурной поправки, по данным многочисленных публикаций, для сточных вод различного состава колеблется от 1 до 1,088. Исследования, проведенные на действующих аэротенках, показали, что для сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности при глубокой их очистке основание температурной поправки можно принять равным 1,04. Таким образом, температурная поправка на скорость процесса будет следующей:

$$r_T = r_{20} \cdot 1,04^{T-20},$$

где  $r_T$  и  $r_{20}$  — скорости процесса при температурах  $T$  и 20° С.

Ниже приведены значения температурной поправки.

$T, ^\circ\text{C}$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
$r_T/r_{20}$	0,676	0,73	0,79	0,855	0,925	1	1,08	1,17	1,27	1,37	1,48

**Соотношение между скоростью очистки и качеством очищенной воды.** Чем больше концентрация загрязнений в смеси активного ила со сточными водами, тем выше скорость их изъятия и окисления. Следовательно, с одной стороны, для рационального ведения процесса целесообразно увеличивать концентрацию загрязнений в иловой смеси аэротенка, а с другой стороны, необходимо получить очищенную воду с возможно низкой концентрацией остаточных загрязнений. В большинстве

случае глубокая очистка сточных вод обусловлена выбором сравнительно невысокой скорости очистки.

Исследованиями установлено, что для сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности скорость процесса очистки пропорциональна БПК или ХПК очищенной воды, т. е.

$$r_L = K_L L_t^{n_1} \quad \text{или} \quad r_X = K_X X_t^{n_2},$$

где  $r_L$  и  $r_X$  — скорость очистки по БПК и ХПК, г/(м<sup>3</sup>·ч);  $K_L$  и  $K_X$  — коэффициенты пропорциональности;  $L_t$  и  $X_t$  — БПК и ХПК очищенной воды, г/м<sup>3</sup>;  $n_1$ ,  $n_2$  — показатель степени, определяемый экспериментальным путем.

Эта зависимость закономерна для достаточно глубокой очистки сточных вод с нитрификацией и умеренного (не более 20—30 мг/л) выноса взвешенных веществ. При повышении БПК и ХПК очищенной воды вследствие выноса ила при его «вспухании» скорость очистки не увеличивается. Это следует иметь в виду при оценке работы действующих аэротенков. Кроме того, необходимо учитывать предельную (для конкретных условий) возможность очистки сточных вод в аэротенках. Например, в аэротенках продолженной аэрации, несмотря на значительное (по сравнению с обычной аэрацией) увеличение продолжительности очистки, БПК не снижается до значений меньше 15—20 мг/л. Больше того, недостаток «питания» в очищаемой воде приводит к появлению «вторичных» загрязнений вследствие распыливания активного ила и, как результат, к повышению БПК, ХПК и концентрации взвешенных веществ.

Концентрация загрязнений в поступающих сточных водах также влияет на содержание остаточных загрязнений. В частности, для предприятий молочной промышленности БПК очищенной воды принимают не ниже 15 мг/л при БПК поступающей на очистку воды 1200 мг/л и не ниже 20 мг/л — при БПК 2400 мг/л. Очевидно, остаточные 0,83—1,25% загрязнений по БПК относятся к трудноокисляемым загрязнениям, не снимаемым в аэротенках. Для очистки сточных вод от них требуются другие способы, характерные для методов доочистки сточных вод (биопруды, поля орошения и фильтрации и т. п.).

Полная очистка сточных вод достигается как в одноступенчатых, так и в двухступенчатых аэротенках.

Двухступенчатые аэротенки более сложны, но позволяют получать гарантированное качество очищенной воды; предпочтительно применять их для сточных вод с высокой концентрацией загрязнений.

### **Влияние дозы активного ила на скорость очистки.**

Зависимость скорости очистки от дозы активного ила необходимо рассматривать в увязке с нагрузкой на активный ил. Степень использования ферментов активного ила и количество клеток бактерий, вовлеченных в процесс очистки, могут быть различными. При высокой нагрузке на активный ил окислительная способность бактерий используется более полно и скорость процесса почти прямо пропорциональна количеству клеток, участвующих в процессе, т. е. массе активного ила. С понижением нагрузки проявляется недостаток источников питания и далеко не все бактерии получают такое количество органических веществ, чтобы их ферментные системы были полностью заняты. В этом случае зависимость скорости очистки от дозы ила отклоняется от прямой пропорции. При сравнительно низких нагрузках, характерных для глубокой очистки, влияние дозы активного ила выражено очень слабо и скорость очистки практически не зависит от количества участвующих в процессе микроорганизмов.

С одной стороны, при выборе дозы ила, помимо рационального использования ферментных систем микроорганизмов, следует руководствоваться рядом других соображений — надежностью работы аэротенка в условиях кратковременных перегрузок, эффективностью работы вторичного отстойника, влиянием сезонности и температурного режима на работоспособность сооружений. Надежность работы аэротенка повышается с увеличением дозы ила. В условиях перегрузок загрязнениями, периодически либо сезонно наблюдающихся на предприятиях мясной и молочной промышленности, активный ил зачастую перерождается с качественным изменением своего состава и седиментационных свойств. Избыток питательных веществ приводит к интенсивному развитию пилочных бактерий, ухудшению осаждаемости ила и к значительному выносу его из вторичного отстойника. Высокая доза ила позволяет уменьшить неблагоприятное воздействие перегрузок и в некоторых случаях предотвратить перерождение активного ила.

С другой стороны, высокая доза ила отрицательно сказывается на работе вторичных отстойников. Появляется необходимость в повышении рециркуляции ила, увеличивается вынос взвешенных веществ с очищенной водой, наблюдается загнивание и всплывание ила в тех местах отстойника, из которых затруднено удаление осадка (углы пирамидальных днищ, выступы, опоры и т. п.). Снижение дозы ила благоприятно отражается на работе вторичного отстойника, уменьшая воздействие упомянутых факторов. Следовательно, надежность работы аэротенка и эффективность вторичного отстойника предъявляют прямо противоположные требования, которые необходимо удовлетворить в технологической схеме работы сооружений.

Свойства активного ила при смене сезонов (конец весны и конец осени) довольно резко изменяются. При этом внешний вид ила остается почти прежним. Это явление связано с природными процессами и обусловлено последственными признаками биоценоза микроорганизмов. Перегруженный ил в таких условиях может резко ухудшить свой состав и свойства вследствие интенсивного развития какой-либо группы микроорганизмов. Очевидно, и в этом случае в более выгодном положении окажется аэротенк с повышенной дозой ила.

**Влияние концентрации и качественного состава загрязнений на скорость очистки.** Биохимическую очистку сточных вод с высокой концентрацией загрязнений, характерной для предприятий мясной и молочной промышленности, обычно проводят в аэротенках-смесителях, в которых поступающие стоки перемешиваются со всем объемом либо с какой-то частью объема иловой смеси, находящейся в сооружении.

Разбавление исходных сточных вод позволяет вести процесс при сравнительно низкой концентрации загрязнений в жидкости, благодаря чему обеспечивается постоянное наличие кислорода в воде (скорость потребления кислорода не превышает скорость его подвода), предотвращается изменение состава активного ила и развитие нитчатых бактерий.

Скорость изъятия (сорбция) и окисления загрязнений зависит от размера частиц. Наиболее быстро протекает сорбция взвешенных веществ — сравнительно крупные агрегаты легко захватываются и удерживают-



ся хлопьями активного ила, чему способствует наличие слизистой оболочки (капсулы) у большинства видов микроорганизмов активного ила. Изъятие коллоидов и тонких дисперсий протекает значительно сложнее и медленнее. Наименьшей скоростью сорбции обладают истинно растворенные вещества. Окисление загрязнений тех же видов протекает иначе. Например, по данным Балмата [81], скорость окисления взвешенных веществ в 4 раза, а коллоидных частиц — почти в 2 раза ниже, чем истинно растворенных веществ. Таким образом, можно представить следующую картину поведения загрязнений при контакте их с активным илом: взвешенные вещества за короткий промежуток времени изымаются активным илом и затем медленно окисляются; коллоиды и тонкие дисперсии изымаются из жидкости значительно медленнее, но окисляются быстрее, меньше накапливаются на поверхности клеток в активном иле; растворенные вещества окисляются сразу же после контакта с поверхностью клеток бактерий, не образуя внеклеточных накоплений. Опираясь на эту упрощенную схему, можно сделать некоторые выводы.

Взвешенные вещества почти полностью переходят в массу активного ила (поскольку мы не разграничиваем еще «живую» и «неживую» органические части активного ила). Для бытовых сточных вод установлено, что 80% взвешенных веществ переходит в прирост ила и только 20% окисляется. Количество окисленных взвешенных веществ для сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности будет несколько большим, чем для бытовых стоков, так как продолжительность процесса аэрации, обусловленная требуемым эффектом очистки, также больше. Прирост активного ила пропорционален содержанию взвешенных веществ в поступающих в аэротенк сточных водах.

Глубина процесса очистки обусловлена количеством остающихся в жидкости растворенных трудноокисляющихся веществ.

Для восстановления окислительных свойств ила необходим промежуток времени для окисления накапливающихся в активном иле загрязнений. Переработка накоплений в иле может вызвать переход в жидкость растворенных трудноокисляющихся продуктов распада веществ. Следовательно, полное окисление внеклеточ-

ных накоплений активного ила может неблагоприятно влиять на эффект очистки, увеличивая количество остаточных загрязнений.

**Влияние жиров на эффективность очистки.** Наиболее медленно окисляются жиры в виде нерастворенных примесей [50]. Например, при очистке сточных вод мясокомбината, подвергавшихся предварительной очистке в осветлителях с естественной аэрацией, электрофлотацией и электрофлотокоагуляцией концентрация жиров на входе в аэротенк составляла соответственно 150—300, 70—140 и 30—65 мг/л. Очевидно, что после осветлителей и электрофлотаторов в жидкости в заметном количестве присутствовали жиры в нерастворенном состоянии. Это обстоятельство существенно отражается на скорости окисления жиров в аэротенке: после осветлителей 5—7 мг/(л·ч), после электрофлотатора 7—9 мг/(л·ч) и после электрофлотокоагулятора 8—10 мг/(л·ч). Присутствие неокисленных жиров в аэротенке вызывает повышенное вспенивание пловой смеси, всплывание активного ила во вторичном отстойнике, снижение окислительной способности активного ила.

На основе наблюдений и опыта работы очистных станций предельная концентрация жира в сточных водах 100 мг/л. При этом продолжительность очистки по БПК и по жирам одинаковая. Более высокое содержание жиров требует увеличения продолжительности аэрации и вызывает повышенное содержание жира в очищенной воде после аэротенков и активном иле. Остаточное содержание жиров в очищенной воде после аэротенков составляло 3—4 мг/л после предварительной очистки в осветлителе и электрофлотаторе и приближалось к нулю при обработке жидкости в электрофлотокоагуляторе.

**Влияние активной реакции среды на состав и свойства активного ила.** Активная реакция среды в сточных водах мясокомбинатов изменяется в небольших пределах и мало влияет на ход очистки. Сточные воды предприятий молочной промышленности зачастую содержат молочнокислые продукты или отходы производства, что вызывает понижение рН стока. Кроме того, сточные воды содержат мочевые растворы, в основной своей массе щелочного характера, что повышает рН. Диапазон изменения рН сточных вод молочной промышленно-

сти 5—11, а в некоторых случаях и более. Понижение рН менее 6,5, вызванное наличием молочной кислоты в сточных водах, благоприятно влияет на состав активного ила. Присущественное развитие грибов и питчатых бактерий приводит к «вспуханию» активного ила, ухудшению его осаждаемости, повышенному выносу взвешенных веществ, хотя степень окисления загрязнений при этом остается значительной.

Щелочная реакция среды, если рН не выходит за пределы 8—8,5, является наиболее благоприятной для биоценоза активного ила. Превышение этого предела вызывает гибель или цистирование простейших, что в свою очередь приводит к увеличению количества тонкой взвеси (бактериальной массы) в очищенной воде.

Следует учитывать, что активный ил обладает значительной буферностью и способен сравнительно легко переносить кратковременные колебания рН. Длительное воздействие кислот или щелочей приводит к необратимым изменениям состава ила.

**Влияние концентрации растворенного кислорода на ход биохимической очистки.** В обычных системах аэрации, когда не используют чистый технический кислород или обогащенную им воздушную смесь, влияние концентрации растворенного кислорода становится ощутимым в диапазоне 0—2 мг/л. Увеличение концентрации растворенного кислорода более 2 мг/л не отражается на скорости очистки; понижение ее до 1—1,5 мг/л приводит к незначительному (на 15—20%) уменьшению скорости очистки, а дальнейшее снижение концентрации растворенного кислорода до 0—0,5 мг/л — к существенному уменьшению скорости и к изменению устоявшегося биоценоза активного ила. Поэтому систему аэрации принято рассчитывать на поддержание концентрации растворенного кислорода в любой точке аэротенка на уровне 2 мг/л. Кратковременные (в течение 1—2 ч) изменения концентрации  $O_2$  на 0,5—1 мг/л относительно указанного значения не влияют на очистку.

Необходимость поддержания заданной концентрации кислорода в любой точке аэротенка приводит к применению аэротенков с рассредоточенным впуском сточных вод (аэротенков-смесителей), в которых достигается более или менее равномерное перемешивание всего объема иловой смеси с поступающими сточными водами. В ре-

зультате этого скорость потребления кислорода по всей длине или по всему объему аэротенков выравнивается.

## КОНСТРУКЦИИ АЭРОТЕНКОВ, АЭРОТЕНКОВ-ОТСТОЙНИКОВ

Аэротенки выполняются в виде коридоров или отдельных ячеек. Однокоридорные аэротенки применяют на сравнительно небольших очистных станциях, двухкоридорные и трехкоридорные — на станциях для совместной очистки бытовых и производственных стоков.

В аэротенках устанавливают аэраторы систем пневматической или механической аэрации. Пневмомеханические аэраторы, как более сложные в изготовлении и эксплуатации, не нашли широкого применения.

**Коридорные аэротенки.** Однокоридорные аэротенки с рассредоточенным впуском сточных вод были разработаны для предприятий мясной и молочной промышленности на пропускную способность 1700 и 2400 м<sup>3</sup>/сут. Система аэрации в них принята пневматическая, низконапорная, с распределением воздуха щелевыми трубами (среднепузырчатая аэрация). Устройство аэротенков показано на рис. 63. Сточные воды лотком, расположенным на одной из стен аэротенка, подаются вдоль коридора и через пять выпусков распределяются равномерно или пелишейно. Возвратный активный ил подается сосредоточенно в начало коридора.

Вдоль другой стены аэротенка, на глубине 0,8 м от поверхности, расположены аэраторы, выполненные из винипластовых щелевых труб. Ширина щелей 3 мм, нарезаны они с шагом 60 мм; расстояние (по осям) между щелевыми трубами 200 мм. Воздух нагнетается вентилятором высокого давления типа ВМ либо низконапорными турбовоздуходувками и по магистральным воздуховодам подается к аэраторам. Система аэрации рассчитана на подачу 15 м<sup>3</sup>/ч воздуха на 1 м<sup>3</sup> объема аэротенка, что обеспечивает достаточную скорость растворения кислорода при скорости окисления загрязнений 50 г БПК/(м<sup>3</sup>·ч). Подача воздуха побуждает вращательное движение жидкости со скоростью не ниже 0,2 м/с в придонной области.

Иловая смесь направляется в отдельно стоящие вертикальные вторичные отстойники; возвратный активный ил насосами, расположенными в административно-хо-

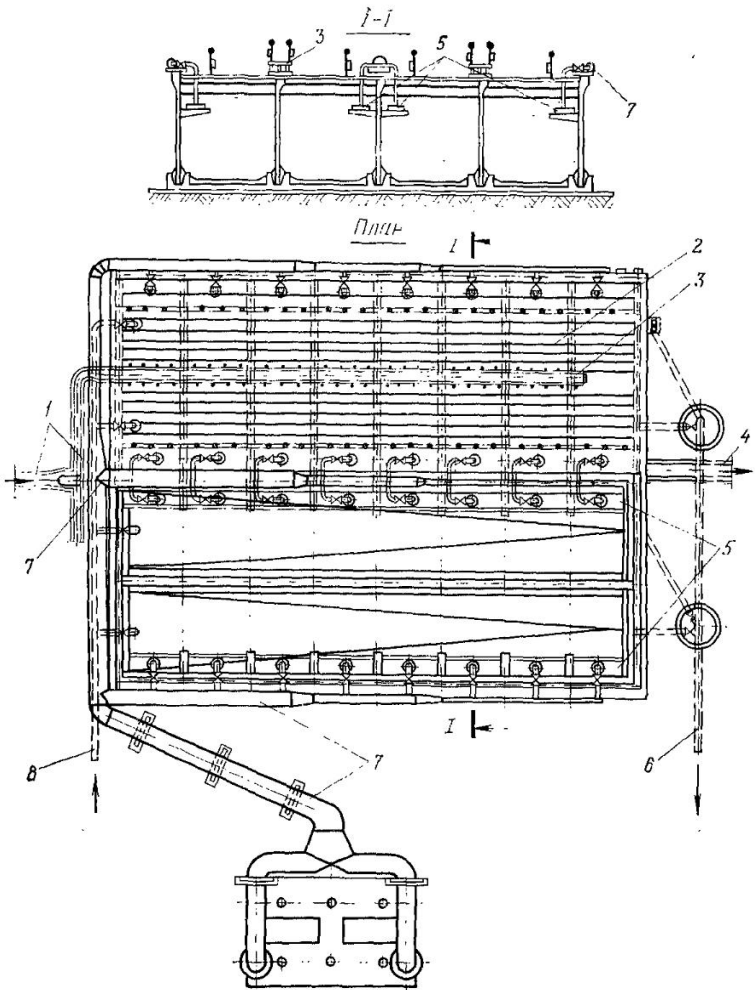


Рис. 63. Аэротенки с низконапорной аэрацией:

1 — подающие лотки, 2 — перекрытие аэротенка, 3 — водораспределительный лоток с шиберами, 4 — отводящий лоток, 5 — аэраторы, 6 — труба для опорожнения аэротенка, 7 — воздухопроводы, 8 — трубопровод циркулирующего активного ила.

зыйственном здании, возвращается в начало аэротенков. Избыточный ил вместе с исходными стоками направляются на осветлители с естественной аэрацией.

Для поддержания температуры иловой смеси ( $15^{\circ}\text{C}$ ) предусмотрен узел забора и подогрева очищенной воды, которая затем подается в аэротенки. Расчеты показывают, что подогрев жидкости более экономичен, нежели увеличение объема аэротенка (обусловленное снижением скорости очистки при более низкой температуре) и увеличение количества подаваемого воздуха (для обеспечения минимальной скорости движения жидкости и предотвращения осаждения активного ила).

Подобного типа аэротенки действуют на очистной станции 4-го городского молочного завода (г. Ленинград). Опыт их эксплуатации в течение 8 лет показал, что вентиляторы типа ВМ (при качественном их исполнении) надежны в работе, могут круглогодично работать на открытом воздухе, а щелевые аэраторы практически не засоряются. Осмотр аэраторов, проработавших в течение 6—7 лет, свидетельствовал о незасоряемости щелей, отсутствии отложений внутри и вне щелевых труб. При отсутствии механических повреждений аэраторы можно не извлекать из жидкости в течение 5—10 лет; достаточно ежегодно проводить их профилактический осмотр и удалять наличные предметы (щепки, хворост от метел, тряпки) при опорожнении коридора аэротенка.

Двухкоридорные аэротенки с низконапорной аэрацией пропускной способностью от 4000 до 15000  $\text{м}^3/\text{сут}$  разработаны для очистки смеси бытовых и производственных сточных вод. Устройство аэротенков показано на рис. 64.

Конструкцией предусмотрена возможность работы с регенерацией ила (с переменным объемом регенератора) или без нее. Наличие трех выпусков позволяет организовать рассредоточенную подачу сточных вод в первом по ходу коридоре. Система аэрации рассчитана на скорость окисления 30—55  $\text{г}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$  по БПК<sub>полн.</sub>

**Аэротенки в виде отдельных ячеек.** Для небольших по мощности заводов с уменьшением притока сточных вод размеры аэротенков также уменьшают, и конфигурация их теряет классическую коридорную форму. При выборе формы аэротенков на небольшую производительность руководствуются необходимостью создания надлежащей гидравлической обстановки — скорости движения жидкости у дна порядка 0,15—0,2 м/с, интенсивного перемешивания содержимого аэротенка и обес-

печения растворенным кислородом. В конечном итоге форма аэротенка возникает как результат применения того или иного типа аэратора.

Аэротенки с механическими аэраторами лопастного типа на горизонтальном валу были разработаны для

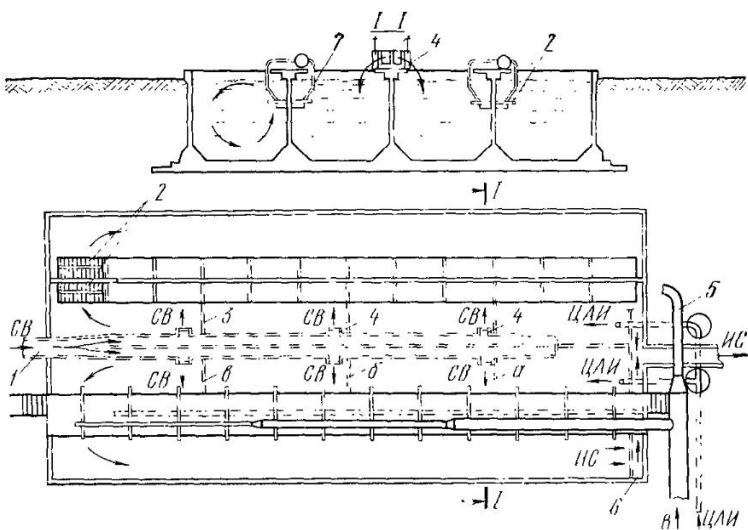


Рис. 64. Низконапорные аэротенки для очистки сточных вод небольших населенных мест и предприятий пищевой промышленности: 1 — лотки для подачи сточных вод, 2 — аэраторы, 3 — перегородка, разделяющая аэротенк и регенератор, 4 — впускные устройства для сточных вод, 5 — воздухопроводы, 6 — сборные лотки иловой смеси, 7 — опуски воздухопроводов, а, б и в — возможные места установки перегородки, СВ — сточные воды, НС — иловая смесь, ЦАИ — циркулирующий активный ил, В — сжатый воздух.

очистки сточных вод мясокомбинатов на пропускную способность 400—1100 м<sup>3</sup>/сут. Первоначально их размещали в отопляемом шатре, затем их перекрывали утепленными плитами, а в здании помещали только аэраторы. Устройство аэротенков этого типа показано на рис. 65.

Сточные воды, подаваемые с торца аэротенка, подхватываются циркуляционным потоком и перемешиваются аэратором со всем объемом иловой смеси. Выход иловой смеси выполнен также в торцевой части сооружения, но несколько раньше (по ходу движения иловой

смеси), чем впуск. В плане контур циркуляции жидкости имеет О-образную форму.

Общая ширина ячейки аэротенка 6 м, глубина слоя воды 1,2 м, высота воздушного промежутка (от уровня жидкости до перекрытия) 0,6 м. Аэратор установлен в средней части ячейки и снабжен 12 лопастями шириной

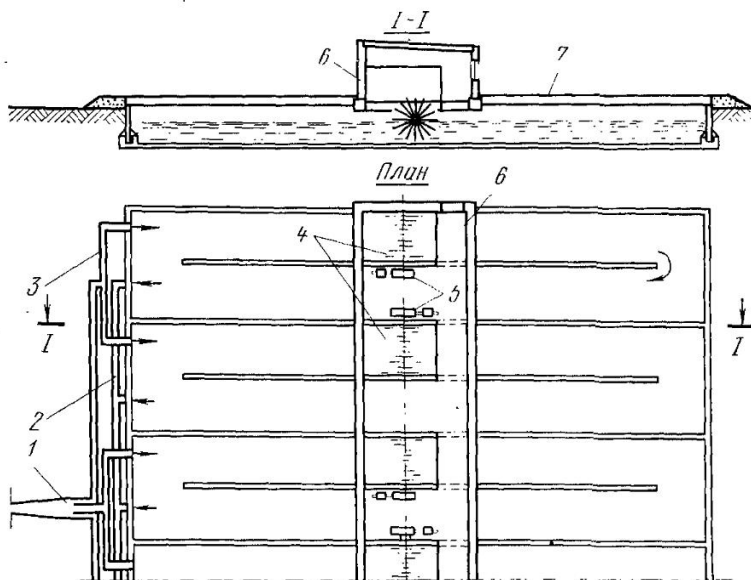


Рис. 65. Аэротенки с механическими лопастными аэраторами:

1 — подающие и распределительные лотки, 2 — отводящие лотки, 3 — впускные устройства, 4 — аэраторы, 5 — приводы аэраторов, 6 — здание аэраторов, 7 — перекрытие аэротенков.

8 см. Диаметр аэратора 2,1 м, скорость вращения  $0,6 \text{ с}^{-1}$ , мощность двигателя 10 кВт. Как показала практика, аэраторы являются слабым звеном в данной конструкции. В настоящее время после длительных испытаний разработана их улучшенная конструкция.

Углы аэротенка устраивают без округления, что приводит к закручиванию циркуляционного потока и смене потоков жидкости у дна и поверхности аэротенка. Интенсивное перемешивание, создаваемое мешалкой, способствует повышению скорости массообмена и очистки жидкости. Иловая смесь зимой подогревается путем



циркуляции очищенной воды — через скоростной водоподогреватель. Впуск подогретой воды выполнен в виде перфорированного трубопровода, установленного перед аэратором. Система подогрева рассчитана на поддержание температуры иловой смеси 15° С.

**Аэротенки-отстойники.** В конструкциях аэротенков-отстойников функционально связаны процессы биохимической очистки сточных вод и осветления очищенной воды. Важнейший элемент — узел возврата активного ила из вторичного отстойника в зону аэрации. Многочисленные типы аэротенков-отстойников отличаются друг от друга конструкцией вторичных отстойников, принципом возврата ила и системой аэрации.

Примерные конструкции аэротенков-отстойников, в которых сосредоточены основные и характерные признаки сооружений этого типа, показаны на рис. 66.

В аэротенке-отстойнике с пневматическим аэратором часть иловой смеси за счет подъема жидкости в центральной части, обусловленной аэрацией, через струна-правляющие окна подается в отстойную зону. В отстойной зоне образуется слой активного ила в виде взвешенного фильтра, в котором ил отделяется от очищенной воды. Наиболее плотные хлопья ила осаждаются в нижней части отстойника, откуда они попадают в циркуляционный поток иловой смеси и возвращаются в зону аэрации. В аэротенке-отстойнике с механическим аэратором схема движения иловой смеси близка к описанной выше, но побуждение циркуляционного потока осуществляется турбинным аэратором.

Недостатком многих конструкций аэротенков-отстойников является вышеприведенная система осветления иловой смеси и возврата ила. Взвешенный фильтр, образующийся в отстойной зоне, требует очень тонкой организации потоков жидкости и не переносит резких колебаний расхода и состава сточных вод. Отклонения скорости циркуляционного потока от оптимального значения (для каждой конструкции) приводят к уплотнению либо к размыванию слоя взвешенного фильтра; резкие колебания расхода сточных вод — причина постоянного выноса активного ила с очищенной водой. Кроме того, на взвешенный фильтр влияют циклические (суточные и сменные) изменения характера ила: после ночной смены с малым поступлением загрязнений

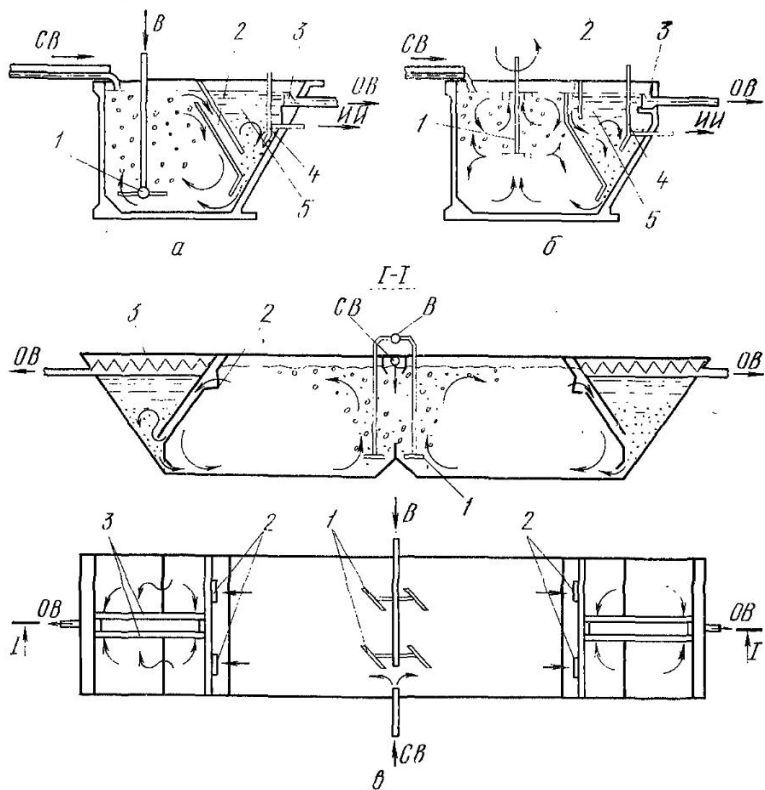


Рис. 66. Аэротенки-отстойники различных модификаций:

а — аэротенк-отстойник с пневматическим аэратором, б — аэротенк-отстойник с механическим аэратором, в — аэротенк-отстойник типа БИО Таллинского политехнического института; 1 — аэратор, 2 — струенаправляющие перегородки и окна, 3 — водосборные лотки, 4 — труба для отвода избыточного ила, 5 — отстойная зона, СВ — сточные воды, ОВ — очищенная вода, В — сжатый воздух, ИИ — избыточный ил.

иловый индекс понижается, ил более плотно «упакован» в хлопья, а после утренней смены, когда производится массовая мойка оборудования и сброс большого количества загрязнений, активный ил «вспухает».

Выбор конструкции отстойника зависит от состава поступающих стоков. Активный ил молочных предприятий легкий, медленно оседающий. Для мясокомбинатов, в стоках которых содержится больше взвешенных веществ, характерен быстро оседающий плотный ил.

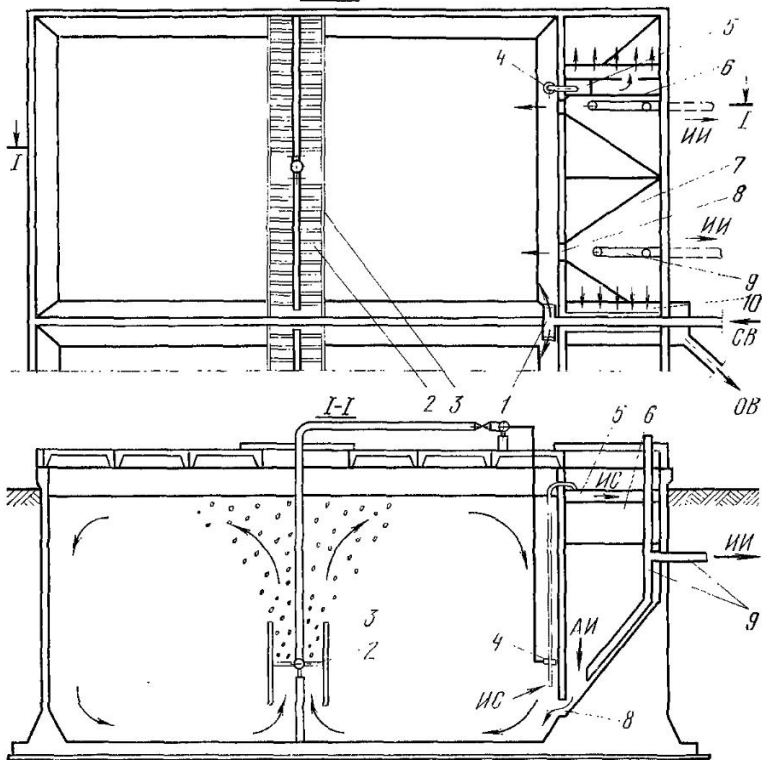


Рис. 67. Аэротенк-отстойник, разработанный Ленводоканалпроектом и Гипромолпромом:

1 — лоток для подачи сточных вод, 2 — аэратор; 3 — струенаправляющий короб, 4 — эрлифт, 5 — лоток-успокоитель, 6 — перегородка, 7 — отстойник, 8 — отверстие для возврата активного ила; 9 — трубопровод для отвода избыточного ила; 10 — лоток для отвода очищенной воды. АИ — активный ил; ИС — иловая смесь; остальные обозначения те же, что и на рис. 66.

Ниже описаны конструкции аэротенков-отстойников, применяющихся в мясной и молочной промышленности.

Аэротенк-отстойник с пневматической аэрацией разработан в ЛИСИ и испытан в производственных условиях (рис. 67). Проект (экспериментальный технорабочий проект) выполнен институтами Ленводоканалпроект и Гипромолпром. Производительность блока, со-

стоящего из двух секций, каждая из которых имеет два отделения, составляет 400 м<sup>3</sup>/сут. Отделение включает аэротенк размером 10 × 6 × 4,8 м (*L·B·H*) и отстойник 6 × 2 × 2 м. Аэротенк оборудован пневматическим аэратором, состоящим из гребенки щелевых винипластовых труб. Заглубление аэратора принято равным 3,3 м, расположение его относительно аэротенка — по центру.

Вторичный отстойник по принципу действия приближается к отстойнику горизонтального типа и не имеет взвешенного фильтра. Циркуляция ила осуществляется следующим образом. Заданное расчетом (обычно 300—500% от среднечасового притока) количество иловой смеси забирается из аэротенка эрлифтом и подается в распределительный лоток вторичного отстойника, снабженного треугольным водосливом для измерения расхода иловой смеси. Через зубчатый водослив иловая смесь поступает в форкамеру, в которой происходит отделение пузырьков воздуха и пены от жидкости, образование и формирование хлопьев активного ила. Эта часть отстойника отделена полупогруженной перегородкой. Большая часть активного ила осаждается непосредственно на выходе из камеры, меньшая — выносится в собственно отстойник, где осуществляется глубокое осветление очищенной воды. Активный ил оседает в два приемка, имеющих в нижней части отверстия 0,3 × 0,4 м для свободного выхода ила в аэротенк. Размеры отверстий выбраны, исходя из условия незасоряемости иловых трубопроводов. Непрерывный выход ила из приемков в аэротенк обеспечивается за счет подачи иловой смеси эрлифтом. Пена и всплывшие частицы ила собираются полупогруженной перегородкой, сгоняются в лоток и далее по трубопроводу направляются на иловые площадки. Избыточный активный ил забирается из первого по ходу жидкости илового приемка и под гидростатическим напором отводится на иловые площадки (в режиме продолженной аэрации).

Иловая смесь зимой подогревается трубчатым подогревателем, расположенным в аэротенке на стенах. Аэротенк перекрыт железобетонными плитами с утеплителем, а над аэратором и лотками — съемными деревянными щитами.

Воздух нагнетается воздуходувками ТВ-50-1,4, установленными в производственно-бытовом здании. Каж-

дое отделение аэротенка снабжено измерительной диафрагмой для регулирования расхода воздуха.

Аэротенк-отстойник с механической аэрацией — квадратный в плане аэротенк размером  $6 \times 6$  м и глубиной 4 м [23]. Он оборудован поверхностным механическим аэратором дискового типа (рис. 68). При враще-

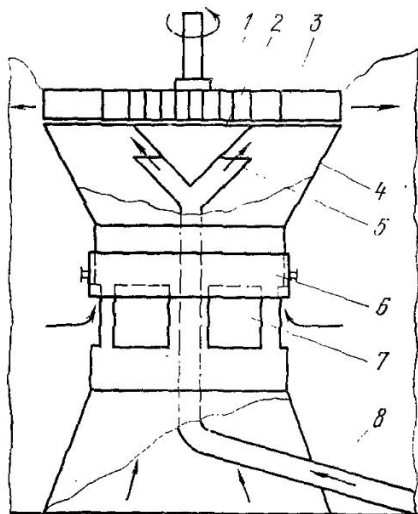


Рис. 68. Поверхностный механический аэратор дискового типа:

1 — диск, 2 — ограничительный конус, 3 — радиальные лопатки, 4 — направляющая труба, 5 — воронка для подвода ила под аэратор, 6 — регулирующая заслонка, 7 — отверстия, 8 — трубопровод для возвратного ила.

нии диска с радиально расположенными лопатками поток водовоздушной смеси отбрасывается по периферии; воздух засасывается из атмосферы через отверстия либо щели за счет вакуума, создаваемого вращающимся аэратором. Вакуум в центральной части диска используется также для возврата активного ила из вторичного отстойника.

Конструкция аэротенка-отстойника с аэратором такого типа изображена на рис. 69. Направляющая труба аэратора, служащая одновременно стабилизатором потока жидкости, имеет циркуляционные окна, снабженные регулируемыми заслонками. Изменяя положение заслонки окна, получают необходимую скорость движения жидкости у дна. Вторичный отстойник вертикальный, с боковым (иногда с центральным) впуском сточных вод. Выпадающий в иловый приямок активный ил

возвращается (за счет вакуума, создаваемого аэратором) по трубопроводу в зону аэрации аэротенка. Расход циркулирующего ила измеряют измерительной шайбой, а регулируют заслонкой. Избыточный активный ил отводится по трубопроводу под гидростатическим напором. Зимой аэротенк перекрывают деревянными щитами. Подогрев иловой смеси не предусмотрен.

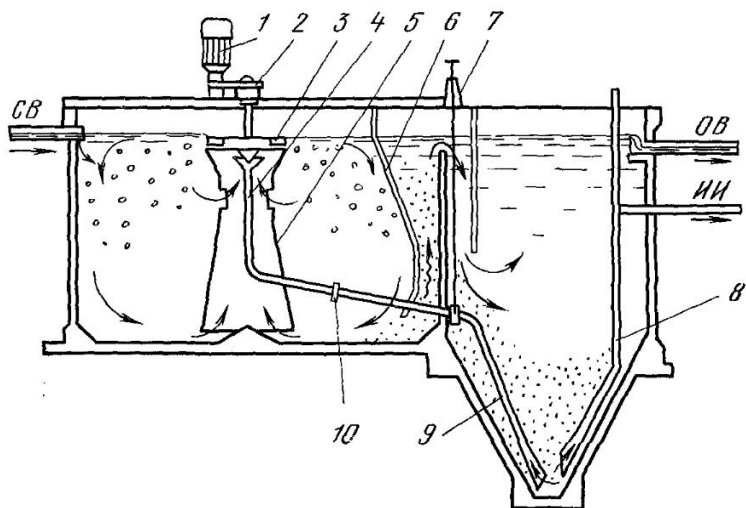


Рис. 69. Аэротенк-отстойник с дисковым поверхностным аэратором: 1, 2 — мотор-редуктор, 3 — аэратор, 4 — трубопровод для возврата активного ила, 5 — направляющая труба, 6 — перегородка, 7 — регулятор расхода ила, 8 — трубопровод для избыточного ила, 9 — трубопровод для возвратного ила, 10 — измеритель расхода ила. Обозначения те же, что и на рис. 66.

## РАСЧЕТ АЭРОТЕНКОВ

**Расчет аэротенков по эффективной скорости окисления загрязнений.** Эффективную скорость окисления определяют в результате расчетов, проведенных без учета ряда «внутренних» характерных параметров аэротенка. К «внутренним» параметрам можно отнести гидромеханическую характеристику (распределение скоростей потоков жидкости, образование зон с меньшей или большей интенсивностью массообмена и т. д.), истинный механизм и кинетику процесса биохимической очистки. Расчет аэротенков по эффективной скорости дает доста-

точно точный результат, но не всегда описывает истинную картину явлений, происходящих при очистке. Эффективную скорость рассчитывают на основе материального баланса потоков сточных вод, органических загрязнений, растворенного кислорода. В частности, формальной схеме работы аэротенка соответствует следующая упрощенная форма составления материального баланса жидкости и загрязнений:

$$\underbrace{QC_0}_{\text{На входе}} = \underbrace{QC_t}_{\text{На выходе}} + \underbrace{r_{\text{эф}}W}_{\text{Убыль}}, \quad (49)$$

где  $Q$  — расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;  $C_0$  и  $C_t$  — начальная и конечная концентрация загрязнений, г/м<sup>3</sup>;  $r_{\text{эф}}$  — эффективная скорость удаления загрязнений, отнесенная к единице объема аэротенка, г/(ч × м<sup>3</sup>);  $W$  — объем аэротенка, м<sup>3</sup>.

Из выражения (49) получим

$$r_{\text{эф}} = Q(C_0 - C_t)/W = (C_0 - C_t)/t, \quad (50)$$

где  $W/Q = t$  — условная (без учета объема активного ила) продолжительность пребывания жидкости в аэротенке, ч.

Скорость процесса очистки зависит от ряда факторов:

$$r_{\text{эф}} = KX^n D_6^m \theta^{T-20}, \quad (51)$$

где  $K$  — константа скорости очистки;  $X$  — ХПК жидкости в аэротенке, соответствующая движущей силе процесса (мгновенная концентрация загрязнений в иловой смеси), мг/л;  $D_6$  — доза ила по беззольному веществу, г/л;  $\theta$  — основание температурной поправки;  $T$  — температура иловой смеси, °C;  $n$  и  $m$  — эмпирические величины.

Константа скорости очистки, как показывают вычисления, сохраняет постоянное значение только в сравнительно узком диапазоне изменений параметров. Для учета интенсивности ведения процесса, определяемой длительностью аэрации, вводят коэффициент нестационарности кинетики очистки во времени

$$K = K_0 f(t), \quad (51, a)$$

где  $K_0$  — коэффициент, не зависящий от продолжительности процесса;  $f(t)$  — функция, учитывающая изменение кинетики очистки в зависимости от продолжительности процесса.

Для простоты пользования формулой (51) функцию  $f(t)$  выражают в виде  $t^n$ . Физическая сущность принципа нестационарности заключается в уменьшении величины константы скорости очистки по мере увеличения продолжительности аэрации.

Аэротенки для очистки сточных вод предприятий молочной промышленности. По результатам расчета, проведенного с помощью ЭВМ, получено следующее выражение для эффективной скорости очистки:

$$r = 14,8t^{-0,363} X_t^{0,59} D_6^{-0,224} 1,04^{T-20}, \quad (52)$$

где  $t$  — продолжительность аэрации, ч;  $X_t$  — ХПК очищенной воды, мг/л.

Анализ формулы показывает, что основным влияющим фактором является ХПК очищенной воды. Доза ила в аэротенке, которая в опытах поддерживалась на предельно высоком уровне (для большей устойчивости процесса очистки), способствовала выносу ила из отстойника и по этой причине имеет отрицательный показатель степени. Константа скорости существенно зависит от продолжительности аэрации.

Значение  $K_0$  в формуле (51а), равное 14,8, является средним значением для всех испытанных режимов биохимической очистки. В зависимости от концентрации поступающих сточных вод и интенсивности процесса очистки назначают величину  $K_0$ . Для предприятий молочной промышленности рекомендуются следующие значения  $K_0$ : 14,5 — для режимов продолженной аэрации; 17,5 и 20 — для режимов полной очистки с обычным и интенсивным ведением процесса. На рис. 70 показано изменение скорости очистки в указанных выше областях ведения процесса, рассчитанное по формуле (52), результаты исследований и работы очистных станций в виде точек и кривые, построенные по расчету согласно рекомендации СН 124—72 (рекомендации для расчета помещены ниже). Графики показывают, что нормативные данные (СН 124—72) охватывают две крайние области ведения процесса — область продолженной аэрации и область весьма интенсивного ведения процесса (верхняя кривая). Промежуточную область можно описать формулой (52), в которой значение  $K_0$  принято равным 17,5.

Приведенные выше расчеты относятся к сточным водам с БПК не выше 1500 мг/л. Если же концентрация сточных вод выше указанного значения БПК, то константа  $K_0$  увеличивается. При изменении БПК сточных вод от 1500 до 2400 мг/л рекомендуются значения 28,



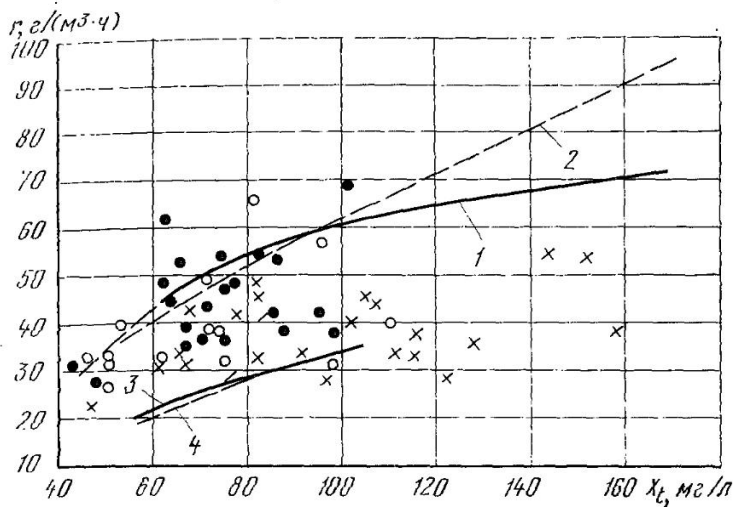


Рис. 70. Соотношение между скоростью очистки и ХПК очищенной воды по данным полупроизводственных исследований и эксплуатации аэротенков 4-го городского молочного завода (г. Ленинграда): 1 — кривая по СН 124—72, 2 — по формуле (52) при  $K=20$ , 3 — по СН 124 для продолженной аэрации, 4 — по формуле (52) при  $K=14,45$ .

33 и 37 соответственно для режимов продолженной аэрации, обычного и интенсивного ведения процесса.

*Пример.* Определить продолжительность аэрации в аэротенке-отстойнике сточных вод с начальной ХПК 1300 мг/л и конечным значением БПК<sub>полн</sub> 20 мг/л (ХПК очищенной воды 75 мг/л). Температура иловой смеси в расчетный (зимний) период 16°С.

Из условия повышения надежности работы установок выбираем обычный режим работы аэротенков, значение  $K_0$  принимаем равным 17,5. Доза ила в аэротенке-отстойнике назначается равной 6 г/л. Зольность ила 20%.

Скорость очистки сточных вод определяем по формуле (51)

$$r = 17,5t^{-0,363} 75^{0,59} [6(1-0,2)]^{-0,224} 1,04^{16-20}.$$

Подставив значение  $r$  в уравнение (50) и перенеся  $t^{-0,363}$  в левую часть, получим

$$t^{1-0,363} = (1300 - 75) / (17,5 \cdot 75^{0,59} 4,8^{-0,224} 1,04^{-4}),$$

откуда  $t=31,6$  ч.

Аэротенки для очистки сточных вод мясокомбинатов. Расчетное уравнение скорости био-

химической очистки было получено только для сточных вод, прошедших обработку в электрофлотокоагуляторе.

Скорость очистки по ХПК

$$r = 0,23X_t^n D_6^m X_0^c t^p,$$

$$\text{где } n = 0,02X_H/(X_t - 79);$$

$$m = 0,8 - 0,09X_H/(X_t - 79);$$

$$c = 1,12; \quad p = -0,91.$$

В этих формулах величина  $X_H$  характеризует количество загрязнений, которое не окисляется в аэротенках. Установлено, что для стоков мясокомбинатов, прошедших очистку в электрофлотокоагуляторе, значение  $X_H$  в среднем составляет 85 мг/л (при исходной концентрации стока до очистки порядка 2000 мг/л). Значение  $X_t$  не следует принимать меньше 80 мг/л.

Величину  $t$  можно определить путем преобразования формул (50 и 51), выполненного ранее.

$$t = [(X_0 - X_t)/(0,23X_t^n D_6^m X_0^c)]^{11,1}.$$

**Расчет аэротенков по фиксированным режимам очистки.** В нормативных материалах (строительных нормах, правилах, указаниях) обычно приводят расчет аэротенков по одному выбранному режиму очистки, соответствующему определенным уровням надежности и эффективности процесса очистки. Эффективная скорость очистки выражена следующим образом:

$$r_{\text{эф}} = a(1 - S)\rho,$$

где  $a$  — доза ила в аэротенке, г/л;  $S$  — зольность ила, доли единицы;  $\rho$  — удельная скорость окисления загрязнений, мг БПК<sub>полн</sub> на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч.

Продолжительность аэрации рассчитывают следующим образом:

$$= (L_a - L_t)/r_{\text{эф}},$$

где  $L_a$  и  $L_t$  — БПК<sub>полн</sub> исходной и очищенной воды, мг/л.

Данные для расчета по строительным нормам СН 124—72 приведены ниже.

1. Для общего стока мясокомбинатов при  $L_a = 1000 \div 1500$  мг/л,  $L_t = 20 \div 25$  мг/л значения  $a = 4$  г/л,  $S = 0,25$ ,  $\rho = 17$  мг/(г·ч) при 15° С.

Скорость окисления для сточных вод мясокомбинатов принимается обычно равной  $50 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ , а окислительная мощность (суточная производительность)  $1200 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$  по снятой БПК<sub>полн.</sub>

2. Для предприятий молочной промышленности при  $L_a = 1200 \div 2400 \text{ мг}/\text{л}$   $L_t = 15 \div 50 \text{ мг}/\text{л}$ .

Режим интенсивной очистки сточных вод:

$a = 4 \text{ г}/\text{л}$ ,  $S = 0,2$ ,  $\rho$  определяют по табл. 24.

Режим продолженной аэрации (с минерализацией ила):  $a = 6 \text{ г}/\text{л}$ ,  $S = 0,25$ ,  $\rho$  находят по табл. 24.

Таблица 24. Значение  $\rho$  при температуре иловой смеси  $15^\circ \text{C}$

БПК <sub>полн</sub> поступающих сточных вод, мг/л	БПК <sub>полн</sub> очищенной воды, мг/л			
	15	20	25	50 и >
1200	12/4,5	15/5,5	18/6,92	22
2400	18,5/6,2	23,1/8,25	27,7/10,3	34

*Примечание.* В числителе приведено значение  $\rho$  [в  $\text{мг}/(\text{л} \cdot \text{ч})$ ] в режимах интенсивной очистки, в знаменателе —  $\rho$  [в  $\text{мг}/(\text{г} \cdot \text{ч})$ ] в режимах продолженной аэрации.

Расчетные скорости окисления действительны при температуре иловой смеси  $15^\circ \text{C}$ . При иной температуре необходимо учитывать температурную поправку, принятую в нормах равной  $T/15$ ; поправка действительна от  $10$  до  $20^\circ \text{C}$ . Следовательно, при температуре  $T$  скорость очистки  $r_T$  [в  $\text{г}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ ] будет равна

$$r_T = r_{15} T/15.$$

Расчетный расход сточных вод, необходимый для определения объема аэротенка, принимается равным среднечасовому притоку сточных вод в тех случаях, когда продолжительность аэрации составляет не менее 24 ч; при меньшей продолжительности аэрации расчетный расход принимается средним за период времени в часы максимального притока сточных вод на очистную станцию.

**Расчет аэротенков при поступлении на очистку смеси бытовых сточных вод и стоков предприятий мясной и молочной промышленности.** Если сточные воды предприятий мясной и молочной промышленности поступа-

ют на очистку в смеси с бытовыми стоками либо со стоками других категорий, то рационально определять объемы аэротенков для каждого вида стока отдельно, а затем их суммировать.

Очистка бытовых сточных вод по СНиП II-32-74.  
Продолжительность аэрации

$$t = (L_a - L_t) / [a(1 - S)\rho], \quad (53)$$

где  $L_a$  и  $L_t$  — БПК<sub>полн</sub> исходной и очищенной жидкости, мг/л;  $a=3$  г/л для аэротенков без регенераторов при  $L_a$  от 200 до 500 мг/л, а для аэротенков-отстойников—4—5 г/л;  $S=0,3$ ;  $\rho$  — определяемая по табл. 24 для аэротенков без регенераторов при  $a>1,8$  г/л.

Температурная поправка в СНиП II-32-74 и СН 124-72 идентична.

Расчетный расход определяют в часы максимального притока сточных вод.

Очистка сточных вод мясокомбинатов и молочных заводов.

Продолжительность аэрации определяют по формуле (53), в которой значения  $a$ ,  $S$  принимаются такими же, как и для бытовых сточных вод, а  $\rho$  — по табл. 24 согласно требуемой степени очистки.

Полученные значения объемов аэротенков суммируют.

*Пример.* Определить продолжительность аэрации сточных вод поселка и молочного завода при следующих исходных данных: бытовые стоки  $L_a=200$  мг/л, стоки молочного завода  $L_a=1000$  мг/л, допустимая к сбросу в водоем БПК очищенной воды 20 мг/л, температура иловой смеси зимой поддерживается на уровне 15°С.

Продолжительность аэрации бытовых стоков

$$t_6 = (200 - 20) / [3(1 - 0,3)23] = 3,75 \text{ ч.}$$

Доза ила 3 г/л, зольность 30% и скорость окисления 23 мг/(г·ч) приняты по СНиП II-32-74.

Объем аэротенка  $W_6$  для очистки бытовых сточных вод вычисляют как произведение  $t_6$  на расход сточных вод в течение 4 ч в период максимального притока сточных вод.

Продолжительность аэрации сточных вод молочного завода

$$t_m = (1000 - 20) / [3(1 - 0,3)15] = 31,2 \text{ ч.}$$

Зольность ила принята такой же, как и для бытовых стоков, что обусловлено высокой зольностью взвешенных веществ сточных вод поселка.

Объем аэротенка  $W_m$  для очистки сточных вод молочного завода будет равен произведению  $t_m$  на среднечасовой приток сточных вод. Общий объем аэротенка равен сумме  $W_6$  и  $W_m$ .

**Расчет минерализаторов избыточного активного ила.**

Прирост активного ила зависит от ряда факторов: состава загрязнений сточных вод, в частности от содержания взвешенных веществ; режима очистки (полная

либо неполная очистка, продолженная аэрация); степени обеспеченности процесса растворенным кислородом.

Сточные воды предприятий молочной промышленности содержат сравнительно небольшое количество взвешенных веществ, и поэтому прирост ила предопределяется главным образом режимом очистки. Количество избыточного ила составляет 10% от ХПК сточных вод в режимах полной очистки, 15% при неполной очистке и 4% в случае применения продолженной аэрации. Зольность ила 20%, а в режиме продолженной аэрации — 25%. В последнем случае избыточный ил является минерализованным и его направляют на иловые площадки без дополнительной обработки.

Сточные воды мясокомбинатов содержат большие количества взвешенных веществ, что накладывает отпечаток на прирост ила. Если сточные воды осветляются в осветлителях с естественной аэрацией, то прирост ила определяют по формуле

$$Pr = (1 - K_n t) C_n + 0,1 (X_0 - X_t), \quad 3.$$

где  $Pr$  — прирост ила, г/м<sup>3</sup>;  $K_n$  — константа скорости окисления взвешенных веществ, ч<sup>-1</sup>;  $K_n = 0,012$  ч<sup>-1</sup>;  $C_n$  — концентрация взвешенных веществ в осветленной воде, мг/л;  $t$  — продолжительность аэрации сточных вод в аэротенке, ч.

Прирост ила при средней нагрузке на него составляет около 20% от ХПК жидкости.

В том случае, когда сточные воды обрабатывают электрофлоккоагуляцией, прирост ила можно определить по формуле

$$Pr = 0,1 (X_0 - X_t).$$

Прирост ила получается меньшим 10% ХПК поступающей жидкости. Аэротенки с механическим горизонтальным аэратором имеют невысокую окислительную способность, в связи с чем прирост ила в них повышается до 45% от БПК<sub>полн</sub> жидкости (или 35—40% от ХПК сточных вод).

Аэробные минерализаторы избыточного активного ила рассчитывают по продолжительности аэрации 6—8 сут. Распад беззольного вещества ила для очистных станций с осветлителями составляет 40% (то же и в смеси с осадком осветлителей); в случае применения

электрофлотокоагуляции распад беззольного вещества ила снижается до 30% за тот же период времени.

## РАСЧЕТ АЭРАТОРОВ

Производительность аэраторов оценивают по количеству кислорода, растворяющегося в единицу времени в кубометре жидкости.

Скорость растворения кислорода

$$dC/dt = Ka (C_p - C),$$

где  $dC/dt$  — скорость растворения кислорода, мг/(л·ч);  $Ka$  — объемный (отнесенный к единице объема жидкости) коэффициент массо-передачи, ч<sup>-1</sup>;  $C_p$  — равновесная растворимость кислорода, мг/л;  $C$  — мгновенная концентрация кислорода в жидкости, мг/л.

Равновесная растворимость кислорода в жидкости зависит от физико-химических свойств жидкости и газа, а также парциального давления газа на поверхности раздела фаз.

Различные примеси в жидкости снижают предельную растворимость газов, поэтому величина  $C_p$  для сточных вод равна

$$C_p = \beta C_T,$$

где  $\beta$  — коэффициент, учитывающий снижение предела насыщения сточной жидкости;  $C_T$  — предельная растворимость кислорода в чистой воде, принимаемая по таблице, мг/л.

Растворимость кислорода в жидкости в зависимости от давления определяется законом Генри — Дальтона

$$C_T = K_T P,$$

где  $K_T$  — коэффициент растворимости, зависящий от температуры;  $P$  — парциальное давление газа, Па.

Данные о растворимости кислорода воздуха в чистой воде при нормальном давлении и различной температуре приведены ниже.

Температура, °C	5	10	12	14	16	
$C_T$ , мг/л	12,79	11,27	10,75	10,26	9,82	
Температура, °C	18	20	22	24	26	28
$C_T$ , мг/л	9,4	9,02	8,67	8,33	8,02	7,72

При ином парциальном давлении растворимость кислорода определяют по формуле

$$C'_T = C_T P' / P,$$

где  $P'/P$  — отношение данного парциального давления кислорода к парциальному давлению кислорода в воздухе.

В сооружениях с пневматической аэрацией подачу и распределение воздуха производят на определенной глубине  $h$ , равной заглублению аэратора, в этом случае парциальное давление по мере всплывания пузырьков воздуха изменяется от  $P+h$  до  $P_a$  и в среднем составляет

$$P' = P_a + h/2,$$

где  $h$  — глубина подачи и распределения воздуха, м;  $P_a$  — давление газа на поверхности жидкости в сооружении (атмосферное давление), м вод. ст.

$$\text{В этом случае } C_p = \beta C_T (P_a + \frac{h}{2}) / P_a.$$

Наличие в жидкости растворенных и нерастворенных примесей, а также температура жидкости влияют на скорость его растворения.

Зависимость между величиной объемного коэффициента массопередачи при разных температурах имеет вид

$$(Ka)_T = n_1 (Ka)_{20};$$

$$n_1 = 1 + 0,02 (T - 20),$$

где  $(Ka)_T$ ,  $(Ka)_{20}$  — объемный коэффициент массопередачи при  $T$  и  $20^\circ\text{C}$ ,  $\text{ч}^{-1}$ ;  $n_1$  — коэффициент, учитывающий влияние температуры.

Влияние состава сточных вод на скорость массопередачи учитывается коэффициентом качества воды

$$n_2 = (Ka)_{\text{н.с.}} / (Ka)_{\text{ч.в.}},$$

где  $(Ka)_{\text{н.с.}}$ ,  $(Ka)_{\text{ч.в.}}$  — объемные коэффициенты массопередачи, соответственно для иловой смеси и чистой воды при одинаковой температуре,  $\text{ч}^{-1}$ .

Таким образом, уравнение (54) можно представить в виде

$$dC/dt = n_1 n_2 (Ka)_{20} (C_p - C). \quad (55)$$

Значения коэффициентов, учитывающих влияние состава сточных вод на скорость переноса кислорода в жидкость, определяют экспериментально. Для молочных заводов и мясокомбинатов значение  $n_2$  принимают равным 0,8, а для бытовых сточных вод — 0,85.

При установившемся режиме скорость подвода кислорода к клеткам микроорганизмов должна быть равна скорости его потребления на окисление органических ве-

ществ. Скорость потребления кислорода в процессе биохимической очистки сточных вод можно определить по формуле

$$v = rz = z(L_a - L_t)/t,$$

где  $v$  — скорость потребления кислорода, г/(м<sup>3</sup>·ч);  $z$  — удельный расход кислорода, г на 1 г изъятых загрязнений по БПК<sub>полн.</sub>.

Удельный расход кислорода на изъятие загрязнений зависит от режима работы аэраторов. При работе сооружения в режиме неполной очистки сточных вод расход кислорода меньше, чем количество изымаемых загрязнений, так как часть загрязнений используется микроорганизмами на прирост клеток без потребления кислорода. При работе сооружений в режиме полной биохимической очистки кислород расходуется не только на окисление изъятых загрязнений, но и на самоокисление приросшей биомассы, а также на процессы нитрификации. В этом случае количество израсходованного кислорода будет больше, чем величина снятой БПК, и значение  $z$  будет больше единицы.

В режиме неполной очистки значение  $z$  принимается равным 0,9, полной очистки — 1, продолженной аэрации — 1,4. При равенстве скоростей подвода и потребления кислорода

$$z(L_a - L_t)/t = n_1 n_2 (Ka)_{20} (C_p - C). \quad (56)$$

Различные аэраторы при одинаковых условиях обладают неодинаковой массообменной способностью (способностью растворять кислород воздуха в жидкости). Эффективность переноса кислорода зависит от типа аэратора, степени перемешивания им жидкости, степени диспергирования подаваемого воздуха и других факторов. Все эти факторы определяют массообменные свойства аэратора, влияют на его объемный коэффициент массопередачи. Например, эффективность передачи кислорода в жидкости или степень использования воздуха у мелкопузырчатых пневматических аэраторов выше, чем у среднепузырчатых, так как при одинаковых объемах подаваемого в сооружение воздуха мелкие пузырьки воздуха имеют большую поверхность контакта с жидкостью и, значит, большую скорость растворения кислорода, которая пропорциональна этой поверхности.

Для очистки сточных вод мясной и молочной про-



мышленности кафедрой канализации ЛИСИ<sup>1</sup> был разработан механический пропеллерный аэратор (рис. 71).

Механический пропеллерный аэратор работает следующим образом. При вращении гребного винта жидкость движется сверху вниз по направляющей трубе. Посредством воздушных труб в зону вращения винта подсасывается воздух, который дробится на мелкие пузырьки и увлекается потоком жидкости по центральной трубе. Далее газожидкостная смесь проходит через отражательное устройство, которое служит для равномерного распределения жидкости по дну аэротенка.

При этом пузырьки воздуха всплывают вдоль направляющей трубы на поверхность жидкости. Защитный зонтик служит для предотвращения попадания пузырьков воздуха в зону вращения винта.

Расчет механического пропеллерного аэратора заключается в определении его конструктивных параметров (диаметр, шаг, дисковое отношение, количество лопастей, частота вращения гребного винта) и технологических характеристик работы аэратора (окислительная способность, минимальные дозные скорости движения жидкости в аэротенке, мощность, потребляемая на валу аэратора).

Объемный коэффициент массопередачи  $(Ka)_{20}$  определяют из критериального уравнения

$$(Ka)_{20}/n = 0,0149 Re_{\Pi}^{-0,038} (h/d)^{-0,396} \theta^{0,161} (z/z_0)^{1,669} \times \\ \times (Ha/d)^{0,493} (W/d^3)^{-1},$$

где  $Re_{\Pi} = d^2 n / \nu$  — критерий Рейнольдса для процессов перемешивания;  $d$  — диаметр гребного винта, м;  $n$  — частота вращения вала

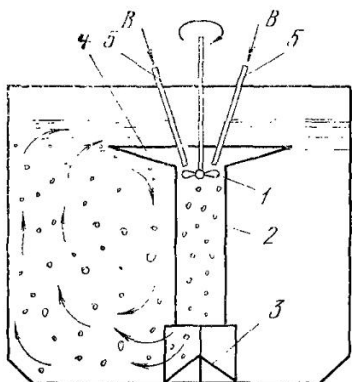


Рис. 71. Аэротенк с механическим самовсасывающим пропеллерным аэратором:

1 — пропеллер (гребной винт), 2 — направляющая труба, 3 — отражательное устройство, 4 — защитный зонтик, 5 — трубы для всасывания воздуха из атмосферы.

<sup>1</sup> Данные ниж. Протасовского Е. М.

аэратора, рад/с;  $h$  — шаг гребного винта, м;  $h/d$  — шаговое отношение;  $0$  — дисковое отношение;  $z$  — количество лопастей гребного винта;  $W$  — объем аэротенка, м<sup>3</sup>;  $Ha_1$  — глубина погружения направляющей трубы, м;  $d_0, z_0$  — эталонные диаметр и количество лопастей винта; ( $d_0=0,56$  м;  $z_0=3$  шт);  $\nu$  — кинематический коэффициент вязкости, м<sup>2</sup>/с.

Мощность, потребляемую на валу аэратора, определяют из уравнения

$$E_{иц} = 0,0063 Fr_{иц}^{-0,23} (h/d)^{1,93} (z/z_0)^{0,71} \theta^{0,98},$$

где  $E_{иц} = N/(d^5 n^3 \rho)$  — критерий Эйлера для процессов перемешивания;  $N$  — мощность, потребляемая на валу аэратора, Вт;  $\rho$  — плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $Fr_{иц} = n^2 d/g$  — критерий Фруда для процессов перемешивания;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Результаты эксплуатации механического пропеллерного аэратора свидетельствуют о высокой его надежности и отсутствии поломок в течение длительного периода времени.

**Пневматические аэраторы.** Характерными параметрами пневматической аэрации, определяющими объемный коэффициент массопередачи или окислительную способность, являются расход подаваемого в сооружения воздуха, глубина погружения аэратора, размер пузырьков воздуха, площадь, занимаемая аэраторами в плане. Зависимость между ними можно выразить следующим образом:

$$(Ka)_{20} = K_1 K_2 D_0, \quad (57)$$

где  $K_1$  — коэффициент, зависящий от типа аэратора;  $K_2$  — коэффициент, зависящий от глубины погружения аэратора;  $D_0$  — расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>3</sup> объема сооружения.

Из уравнений (56) и (57) имеем

$$D_0 = z(L_a - L_t) / [K_1 K_2 n_1 n_2 (C_p - C) t],$$

так как продолжительность аэрации  $t = W/Q$ , то

$$D_0 W/Q = z(L_a - L_t) / [n_1 n_2 K_1 K_2 (C_p - C)].$$

Выражение  $D_0 W/Q$  является удельным расходом воздуха (в м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> сточных вод). Окончательное уравнение для расчета пневматических аэраторов имеет следующий вид:

$$D = z(L_a - L_t) / [n_1 n_2 K_1 K_2 (C_p - C)],$$

где  $D$  — расход воздуха, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Коэффициент  $K_1$  для среднепузырчатых аэраторов равен 0,75. Значения коэффициента  $K_2$  принимают, исходя из нижеприведенных данных.

Заглубление аэратора, м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	3	4	5	6
Значение $K_2$	0,4	0,46	0,6	0,8	0,9	1	2,08	2,52	2,92	3,3

Концентрация кислорода в аэротенке  $C$  принимается равной 2 мг/л.

Аэраторы должны обеспечивать достаточную скорость движения жидкости в сооружении для поддержания хлопьев активного ила во взвешенном состоянии. Минимальные скорости движения жидкости должны составлять 0,15—0,2 м/с в придонной части сооружения. Для получения таких скоростей при пневматической аэрации необходимо, чтобы интенсивность аэрации превышала величину, указанную ниже.

Заглубление аэратора, м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	3	4	5	6
$I, \text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	48	42	38	32	28	24	4	3,5	3	2,5

Интенсивность аэрации определяют по формуле

$$I = DN/t,$$

где  $I$  — интенсивность аэрации,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ;  $N$  — глубина аэротенка, м;  $t$  — продолжительность аэрации, ч.

**Механические аэраторы.** Расчет механических аэраторов заключается в выборе типа аэратора и определении количества аэраторов, которые необходимо установить в сооружении, чтобы обеспечить кислородом биохимический процесс. Каждый тип аэратора в зависимости от его конструктивных параметров имеет определенную способность передавать кислород в жидкость, определяемую экспериментально.

Механические аэраторы принято характеризовать окислительной способностью, т. е. скоростью растворения кислорода.

Окислительная способность  $OC$  связана с объемным коэффициентом массопередачи равенством  $OC = (K_a)_{20} C_p$  и выражается в граммах  $O_2$ , растворенного при аэрации 1  $\text{м}^3$  объема сооружения в час.

Скорость растворения кислорода можно представить в виде

$$v = n_1 n_2 O C (C_p - C) / C_p = n_1 n_2 O C d,$$

где  $(C_p - C) / C_p = d$  — дефицит кислорода в жидкости, доли единицы.

Потребное количество механических аэраторов

$$m = z (L_a - L_t) / (n_1 n_2 O C d)$$

или

$$m = z (L_a - L_t) Q / (n_1 n_2 P d),$$

где  $Q$  — расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;  $P$  — производительность аэратора, г O<sub>2</sub> в 1 ч.

Данные для подбора основных типов механических аэраторов приведены в табл. 25, 26 и 27.

Таблица 25. Параметры поверхностных механических аэраторов дискового типа (см. рис. 68)

Диаметр ротора, м	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Количество лопастей	Высота лопасти, мм	Длина лопасти, мм	Мощность (нетто), потребляемая аэратором, кВт	Производительность, кг/ч
0,5	133	6	140	170	1,2	3,3
0,7	95	8	140	200	2,4	7,1
1	67	12	130	210	3,4	9,6
1,5	48	16	140	250	7,5	22,9
2	38	18	150	300	11,5	33,3
2,5	32	18	180	370	18,1	52

Таблица 26. Параметры глубинных самовсасывающих механических аэраторов (рис. 72)

Тип аэратора	Диаметр ротора, м	Заглубление ротора, м	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Мощность электродвигателя, кВт	Производительность, кг/ч
АВО-22-2	0,9	0,65	170	22	48
АВО-40-2	1,1	0,65	172	40	88
АВО-75-2	1,3	0,65	172	75	160
АВД-22-2	0,9	0,55	170	22	43
АВД-40-2	1,1	0,55	172	40	85
АВД-75-2	1,3	0,55	172	75	150

Примечание. АВО — аэратор всасывающий однорядный (без перемешивающего устройства); АВД — аэратор всасывающий двухрядный (с нижней перемешивающей мешалкой диаметром 1,1 м, заглубленной на 1,15 м).

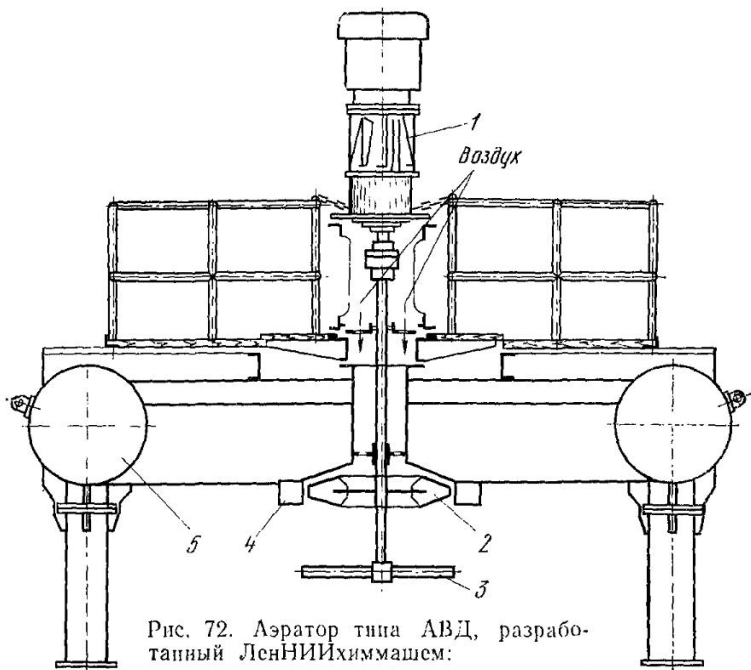


Рис. 72. Аэратор типа АВД, разработанный ЛенНИИхиммашем:

1 — мотор-редуктор, 2 — самовсасывающий аэратор, 3 — лопастная мешалка, 4 — струенаправляющее устройство, 5 — понтон.

Таблица 27. Параметры механических аэраторов колесного типа на горизонтальном валу (см. рис. 65)

Диаметр ротора, м	Число колес аэратора	Потребляемая мощность, кВт	Производительность, кг/ч
1,6	8	13,5	24
1,6	6	11,5	19,4
1,6	4	9,5	14,4
1,5	8	11,2	12,9
1,5	6	9,5	10,7
1,5	4	7,7	7,8
1,4	8	9,5	10,7
1,4	6	7,6	8,8
1,4	4	6,5	6,7
1,3	8	7,4	8
1,3	6	6,5	7,5
1,3	4	5,5	5,6

Примечания: 1. Указанные в таблице параметры относятся к аэраторам, имеющим 8 лопаток в колесе при ширине лопаток 80 мм. 2. Частота вращения ротора 50 мин<sup>-1</sup>.

Циркуляционные окислительные каналы являются, по существу, аэротенками с механической аэрацией, работающими с весьма низкими нагрузками по загрязнению (в режиме сверхпродолженной аэрации).

Окислительные каналы обычно устраивают в виде открытой траншеи О-образной в плане формы. Сечение канала трапецеидальное; рабочая глубина 0,7—1 м. Циркуляционные окислительные каналы оборудованы механическими щеточными (клеточными) аэраторами на горизонтальном валу. Небольшая глубина каналов, значительная открытая поверхность способствуют дополнительному поступлению кислорода воздуха из атмосферы в жидкость в результате естественной реаэрации.

Однако эти конструктивные особенности — причина неустойчивой работы каналов ввиду значительного охлаждения жидкости в них в холодное время года.

Работа предприятий мясной и молочной промышленности, особенно малой мощности, носит ярко выраженный сезонный характер, поэтому зимой резко снижается расход сточных вод и количество сбрасываемых загрязнений. В этих условиях работа циркуляционных окислительных каналов может быть достаточно эффективной и в холодный период года.

Тем не менее при изменении температурных условий, особенно весной и осенью, даже при низких нагрузках по загрязнению работа циркуляционных окислительных каналов нарушается ввиду изменения состава микроорганизмов активного ила. По этим причинам окислительные каналы можно применять лишь в областях с благоприятным климатом при наличии положительного опыта их работы в аналогичных условиях.

Циркуляционные окислительные каналы работают по проточной или контактной схеме. При работе по контактной схеме очищенные сточные воды для отделения активного ила отстаивают периодически в самом канале. После этого очищенную воду сливают, а канал вновь включают в работу. Работа каналов по этой схеме не требует устройства вторичных отстойников, а также циркуляции активного ила. Однако эксплуатация этих сооружений значительно затрудняется. Более сложным

становится и аэрационное оборудование, которое устанавливают на понтонах, с тем чтобы обеспечить аэрацию смеси при переменном уровне жидкости в канале.

Между тем, как показал опыт, при работе циркуляционных окислительных каналов по контактной схеме обеспечивается более стабильная очистка сточных вод (особенно предприятий молочной промышленности), чем в циркуляционных окислительных каналах, работающих по проточной схеме. Следует отметить, что для надежности работы каналов необходимо предусматривать установку в них резервных аэраторов.

По данным Каунасского политехнического института, при расчете и проектировании циркуляционных окислительных каналов рекомендуется принимать следующие параметры при работе циркуляционных окислительных каналов по контактной схеме: дозу ила 4 г/л; зольность ила 0,25; нагрузку по БПК<sub>полн</sub> 180 г/сут на 1 м<sup>3</sup> объема сооружения; продолжительность периода отстаивания очищенной воды в канале 1—2 ч; продолжительность выпуска очищенной воды 1—2 ч; глубину погружения лопастей аэратора 200—250 мм; минимальную горизонтальную скорость движения иловой смеси 0,3 м/с.

Как видно из приведенных выше данных, удельная нагрузка по БПК<sub>полн</sub> для циркуляционных окислительных каналов в 6—7 раз ниже, чем для аэротенков, работающих в режиме полной биологической очистки. Этим в основном и обуславливается режим работы циркуляционных окислительных каналов (сверхпродолжительной аэрации) и высокий эффект очистки в них сточных вод при благоприятных условиях.

## Глава 8. ДЕЗИНФЕКЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД И ВЫПУСК ИХ В ВОДОЕМ

### СПОСОБЫ ХЛОРИРОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Сточные воды перед выпуском в водоем обеззараживают в целях уничтожения болезнетворных микроорганизмов.

Для обеззараживания сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности применяют хлорирование хлорной известью, газообразным хлором или гипохлоритом.

хлоритом. Количество хлора, необходимое для достижения требуемого эффекта обеззараживания, определяют, исходя из состава сточных вод, концентрации и вида загрязнений. В сточных водах, прошедших полную биологическую очистку в искусственно созданных условиях, содержание бактериального загрязнения снижается на 91—96%. Поэтому потребную дозу хлора принимают значительно меньшую, чем потребную дозу хлора для сточных вод после механической или неполной биологической очистки. Согласно СНиП II-32—74 доза хлора составляет для сточных вод после механической очистки 10 г/м<sup>3</sup>, после неполной и полной искусственной биологической очистки — соответственно 5 и 3 г/м<sup>3</sup>. Рабочую дозу хлора необходимо уточнять в процессе эксплуатации сооружений, исходя из того, что в жидкости после контакта с хлором остаточная его концентрация должна быть не менее 1,5 г/м<sup>3</sup> [55].

Сооружения биологической очистки в естественных условиях, в частности поля орошения и фильтрации, обеспечивают эффект бактериального обезвреживания до 99% и более, поэтому после них сточные воды обычно не дезинфицируют.

## ОБОРУДОВАНИЕ И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ХЛОРИРОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

В состав хлораторной, работающей на хлорной извести, входят установка для приготовления и дозирования раствора, склад бочек с известью и тамбур. Типовая хлораторная (проект Мосгипротранса) размещается в здании 3×6 м и имеет производительность 1,07—0,5 кг/ч по активному хлору в зависимости от концентрации рабочего раствора (0,5—2%-ный) и количества затворений извести в сутки (1—2 раза).

Установка для приготовления раствора хлорной извести разработана в двух вариантах — с деревянными и металлическими баками, оборудованными мембранами. Раствор дозируют с помощью поплавкового клапана, поддерживающего постоянный уровень в дозирующем бачке, или насосами-дозаторами [42].

Использование хлорной извести для дезинфекции сточных вод ввиду дефицитности реагента требует специального разрешения. Поэтому применение этого спо-



соба обеззараживания при проектировании очистных сооружений должно быть согласовано с соответствующими организациями.

Хлораторные, работающие на жидком хлоре, оборудованы вакуумными хлораторами ЛОНИИ-100 и ЛК-10,11. Производительность хлораторов ЛОНИИ-100 с ротаметром РС-3 0,08—2 кг хлора в час, с ротаметром РС-5 — до 10 кг/ч. Хлораторы ЛК-10,11 имеют производительность 0,04—25 кг/ч. Расход хлора регулируют вентилем. Хлор смешивается с чистой водой в эжекторах, диаметр которых зависит от производительности хлоратора. Избыточный напор воды перед эжектором должен составлять 0,3—0,4 мПа, расход воды примерно 0,7 м<sup>3</sup> на 1 кг активного хлора.

Типовая хлораторная, разработанная институтом Мосгипротранс, располагается в отдельном здании и включает расходный склад хлора, хлораторную, вентиляционную камеру, щитовую и тамбур. Производительность хлораторной, оборудованной хлораторами ЛОНИИ-100 (1 — рабочий, 1 — резервный), может изменяться от 0,2 до 1,28 кг хлора в час. В ней можно применять и другие хлораторы [21, 42].

Расходный склад хлора рассчитан на 10 баллонов Е-55 вместимостью каждый 55 л жидкого хлора, можно использовать и баллоны меньшего объема.

В типовых проектах очистных станций мясокомбинатов, разработанных Союзводоканалпроектом, предусмотрено расположение хлораторной, работающей на жидком хлоре, в производственно-вспомогательном здании вместе с иловой насосной станцией и другими помещениями. Хлораторная состоит из газодозаторной с хлораторами ЛОНИИ-100, вентиляционной камеры и тамбура. Хлораторная от других производственных помещений отделена глухой стеной и имеет отдельные выходы. Расходный склад хлора в виде стойки с 5—8 баллонами Е-55 расположен в газодозаторной. На типовых очистных станциях производительностью свыше 1100 м<sup>3</sup>/сут мясокомбинатов предусмотрено размещение хлораторной вместе со складом жидкого хлора в отдельном здании.

В настоящее время в проектах очистных станций предприятий отрасли применяют хлораторные для обеззараживания сточных вод гипохлоритом натрия, получа-

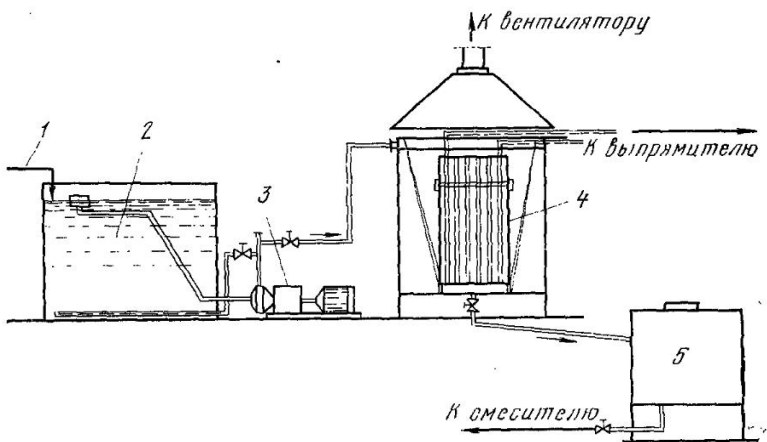


Рис. 73. Схема электролитической установки непроточного типа для приготовления гипохлорита натрия:

1 — подача водопроводной воды и соли, 2 — растворный бак, 3 — насос, 4 — электролизер, 5 — бак-накопитель раствора гипохлорита натрия.

емым на очистных станциях путем электролиза раствора поваренной соли. Гипохлорит натрия по своему бактерицидному действию равноценен жидкому хлору. Электролитическое его производство основано на взаимодействии хлора и щелочи, получаемых в процессе электролиза раствора поваренной соли [21, 42]. Промышленность выпускает электролизеры непроточного типа ЭН производительностью от 1 до 100 кг активного хлора в сутки и электролизеры проточного типа ЭОВ производительностью 25 кг активного хлора в сутки. Электролизер непроточного типа ЭН представляет собой ванну из антикоррозионного материала с расположенными в ней блоком графитовых электродов и трубопроводами подачи раствора поваренной соли и слива готового продукта. Электролизная установка включает, кроме электролизера, также бак с насосом для приготовления раствора соли, бак-накопитель гипохлорита натрия, выпрямители, вытяжную вентиляцию (рис. 73).

Электролизер проточного типа ЭОВ состоит из ряда последовательно соединенных электролитических ванн

и камер охлаждения, через которые протекает раствор поваренной соли. На выходе получают раствор гипохлорита натрия с концентрацией активного хлора 11—12 г/л.

Технические характеристики электролизеров ЭН приведены в табл. 28.

Таблица 28. Технические характеристики электролизеров непроточного типа

Показатели	ЭН-1	ЭН-5	ЭН-25	ЭН-100
Производительность, кг активного хлора в сутки	1	5	25	100
Рабочий ток, А	55—65	55—65	130—140	400—450
Рабочее напряжение, В	40—42	40—42	55—65	220—230
Объем электролизера, м <sup>3</sup>	0,04	0,4	1	2,9
Расход на 1 кг активного хлора				
соли, кг	12—15	12—15	8—9	8—9
электроэнергии, кВт·ч	7—9	7—9	8—10	10—12
Продолжительность цикла электролизера, ч	0,75—1	8—9	10—12	5—6
Рекомендуемое число циклов в сутки	2—4	2	2	4

Институтом Гипрокоммунводоканал разработаны типовые и индивидуальные проекты электролизных хлораторных с расходом хлора от 1 до 200 кг/сут. При размещении электролизных установок типа ЭН-1 и ЭН-5 в отдельном здании размер его в плане составляет 9×6 м, высота — 4,6 м. На первом этаже размещаются бункер для хранения соли, растворный бак и бак-накопитель рабочего раствора гипохлорита натрия, на втором этаже установлены электролизеры. Дозирование гипохлорита предусмотрено насосами-дозаторами.

Загрузка соли в бак в зависимости от расхода хлора один раз в 15—50 дней.

Проектами института Гипрокоммунводоканал для производительности станций 100—700 м<sup>3</sup>/сут и

ЦНИИЭП инженерного оборудования (до 1400 м<sup>3</sup>/сут) предусмотрено размещение хлораторной с электролизерами ЭН-1 и ЭН-5 в производственно-вспомогательном здании совместно с воздуходувной, котельной и производственно-бытовыми помещениями [42].

Сметная стоимость электролизных хлораторных выше, чем хлораторных с применением газообразного хлора или хлорной извести, ввиду более дорогого оборудования и потребности в больших площадях для его размещения. Например, сметная стоимость производственно-вспомогательного здания станции производительностью 100 м<sup>3</sup>/сут, работающей на хлорной извести, составляет 7,67 тыс. руб., строительный объем — 151,9 м<sup>3</sup>, а стоимость здания с электролизной хлораторной (включая котельную) — 25,6 тыс. руб., строительный объем — 519,3 м<sup>3</sup>.

Электролизные хлораторные целесообразно применять лишь в тех случаях, когда имеются затруднения с получением и транспортировкой обычных хлорагентов.

Для смешения сточных вод с хлорной водой используют смесители различного типа. Наиболее распространены ершовые смесители, устраиваемые в канале сточных вод и имеющие 4—5 вертикальных перегородок, размещенных под углом к стенкам канала [21]. Контакт хлора со сточными водами осуществляется в резервуарах. Требуемая продолжительность контакта хлора со сточными водами не менее 0,5 ч [55]. Контактные резервуары можно не предусматривать, если продолжительность протока жидкости от места ввода хлора до выпуска сточных вод составляет более 30 мин. На очистных станциях предприятий отрасли в качестве контактных резервуаров обычно применяют вертикальные отстойники. Для небольших станций контактные резервуары диаметром до 2 м можно выполнять из железобетонных колец.

Благодаря коагулирующему действию хлора в контактных резервуарах из сточных вод выпадает осадок. Количество осадков по СНиП II-32—74 принимают 0,03—0,05 л/сут на одного человека при норме взвешенных веществ 65 г/сут на одного человека. Влажность осадка 96%.

При выпуске сточных вод в водоем должны выполняться «Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами». В соответствии с правилами концентрации различных загрязнений в воде водоема после сброса сточных вод, определяемые в контрольном створе, не должны превышать предельно допустимых концентраций, установленных для различных видов водоемов.

Концентрацию загрязнений сточных вод, допустимых к сбросу в водоем, определяют согласно указанным правилам, устанавливают их местные санитарные органы с учетом процессов разбавления и самоочищающей способности водоема [66].

Степень разбавления сточных вод (при движении от места выпуска до расчетного створа) зависит от типа и конструкции выпуска сточных вод. Выпуски сточных вод устраивают либо береговыми, либо русловыми. Русловые выпуски могут быть сосредоточенными или рассеивающими. Наиболее лучшее смешение сточных вод с водой водоема и наибольшее разбавление обеспечивают русловые рассеивающие выпуски, наименьшее — береговые. Выпуски сточных вод в проточные водоемы следует размещать в местах повышенной турбулентности (быстротоки), а в непроточные водоемы (озера, водохранилища, моря) — на таком расстоянии от берега, чтобы при течениях, направленных к берегу, или прибоях береговая полоса водоема не загрязнялась. Место и створ выпуска выбирают с учетом санитарных, гидрогеологических и других условий и согласовывают с местными органами санитарного надзора и другими специальными организациями.

При полной биологической очистке и доочистке сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности, учитывая сравнительно небольшие расходы стоков на них, обычно предусматривают устройство береговых выпусков, строительная стоимость которых значительно ниже русловых.

Конструкцию выпусков принимают в зависимости от местных условий, рельефа берега, характера грунтов, уровня воды в водоеме и пр.

## Глава 9. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЧИСТНЫХ СТАНЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЗА РАБОТОЙ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

### СХЕМЫ ОЧИСТНЫХ СТАНЦИЙ

**Мясокомбинаты.** Для отведения сточных вод мясокомбинатов предусматривают отдельную систему канализации, которая позволяет проводить локальную очистку потоков сточных вод, содержащих специфические загрязнения. По отдельным сетям отводят жирсодержащие, каньгосодержащие, навозсодержащие стоки, а также стоки санитарной бойни. Каждый из указанных видов сточных вод подвергают специальной локальной очистке, после чего сливают в общий канализационный коллектор. Туда же поступают остальные производственные сравнительно малозагрязненные стоки, не требующие локальной очистки, и хозяйственно-бытовые стоки. При очистке жирсодержащих сточных вод методом флотации целесообразно стоки прачечной направлять в канализацию для отведения жирсодержащих стоков. При этом следует иметь в виду, что эффективность флотации наряду с другими факторами зависит от наличия в жидкости моющих веществ.

Общий сток направляют на дальнейшую очистку. Выбор схемы очистки сточных вод мясокомбинатов прежде всего зависит от местных условий канализования предприятия и населенного пункта.

При спуске сточных вод в водоем степень очистки определяют путем расчета по известной методике [66] и в соответствии с требованиями «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» [40] с учетом физико-химической и гидрологической характеристики водоема. Как правило, в этом случае необходима полная биохимическая очистка, т. е. доведение в очищенной воде концентраций взвешенных веществ и БПК<sub>полн</sub> до 15—20 мг/л. Перед биохимической очисткой необходимы локальная очистка от жира, каньги, навоза, а также очистка и дезинфекция стоков санитарной бойни и механическая очистка общего стока мясокомбината.

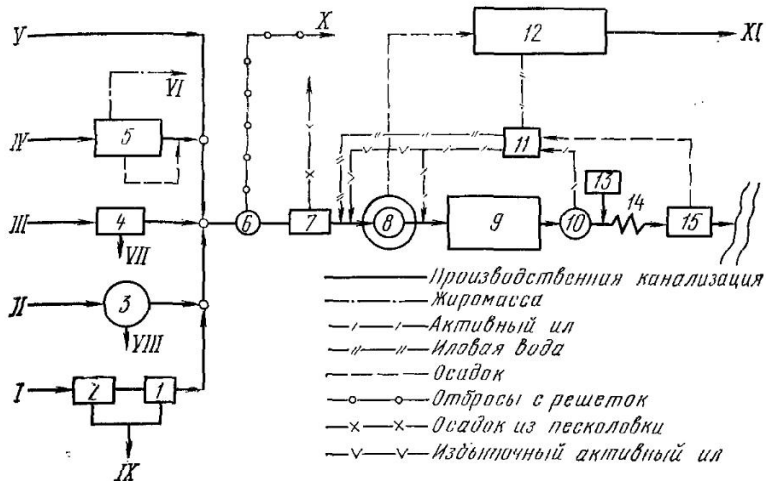


Рис. 74. Принципиальная типовая схема канализации и очистки сточных вод мясокомбинатов:

I — сток санитарной бойни, II — навозосодержащие сточные воды, III — каньгосодержащие сточные воды, IV — жирсодержащие сточные воды, V — мало-загрязненные производственные и хозяйственно-бытовые сточные воды, VI — жиромасса на утилизацию, VII — каньга на компостирование, VIII — навоз на компостирование, IX — осадок на захоронение, X — отбросы с решеток и осадок из песколовки на компостирование, XI — обезвоженный осадок на сельскохозяйственные поля; 1 — дезинфектор, 2 — отстойник-навозоуловитель санитарной бойни, 3 — навозоуловитель, 4 — каньгоотстойник (каньгопресс), 5 — центральная жироловка, 6 — насосная станция с решеткой, 7 — песколовка, 8 — осветлитель-перегиватель, 9 — аэротенк, 10 — вторичный отстойник, 11 — иловая насосная станция, 12 — иловые площадки, 13 — хлораторная, 14 — смеситель, 15 — контактный бассейн.

Принципиальная типовая схема канализования и очистки сточных вод мясокомбината показана на рис. 74.

По этой схеме центральная жироловка может быть решена в виде отстойника, установок напорной флотации, пенной сепарации, электрофлотации или электрофлотокоагуляции.

Во всех случаях жирсодержащие стоки должны быть предварительно пропущены через решетку с прозорами 16 мм и песколовку. При использовании установок напорной флотации, электрофлотации и электрофлотокоагуляции сточные воды необходимо предварительно отстаивать в течение 30—45 мин. Для этой цели целесообразно использовать жироловку с реактивным распределителем воды.

Осадок, задержанный на центральной жироловке, целесообразно не спускать обратно в канализацию, а транспортировать на иловые площадки или обезвоживать и сушить, после чего утилизировать в качестве удобрения.

Каныгоотстойник в настоящее время чаще всего заменяют каныгопрессом. Однако, учитывая, что после прессов в воде еще содержится 4000 мг/л взвешенных веществ (мелкая каныга), целесообразно устанавливать дополнительный отстойник. Для компостирования отбросов с решеток насосной станции и осадка из песколовки устраивают две площадки. Удобно их располагать рядом с основными иловыми площадками. Иловая вода с иловых площадок и избыточный активный ил насосной станцией подаются в лоток перед осветлителем-перегнивателем. В иловой воде содержится значительное количество взвеси, которую необходимо осадить в осветлителе. При этом избыточный активный ил, обладающий коагуляционными свойствами, несколько увеличивает эффект осаждения взвешенных веществ в осветлителе. Кроме того, осаждаясь совместно с взвешенными веществами, он уплотняется практически до влажности 95% и придает осадку в осветлителе пластичность, что значительно облегчает его выпуск. Для биологической очистки применены аэротенки с механическими аэраторами в виде лопастной мешалки на горизонтальном валу. Продолжительность аэрации в аэротенках составляет 24—32 ч. Очистная станция по описанной схеме при правильной ее эксплуатации обеспечивает полную биохимическую очистку. Она внедрена на ряде мясокомбинатов, в том числе на Кадиевском, Каунасском, Салдусском и др. К сожалению, на каждом объекте имеются отступления от принципиальной схемы, что вызывает затруднения в эксплуатации всей станции и снижает эффективность ее работы.

Работа каныгопрессов периодически нарушается из-за засорения сеток осадком. В период очистки сеток вся каныга поступает в канализацию, а затем на очистные сооружения. В ряде случаев неудовлетворительно эксплуатируются сооружения локальной очистки от жира и навоза. В результате этого на очистную станцию поступают сточные воды с содержанием взвешенных веществ до 3000, а жира до 2000 мг/л,



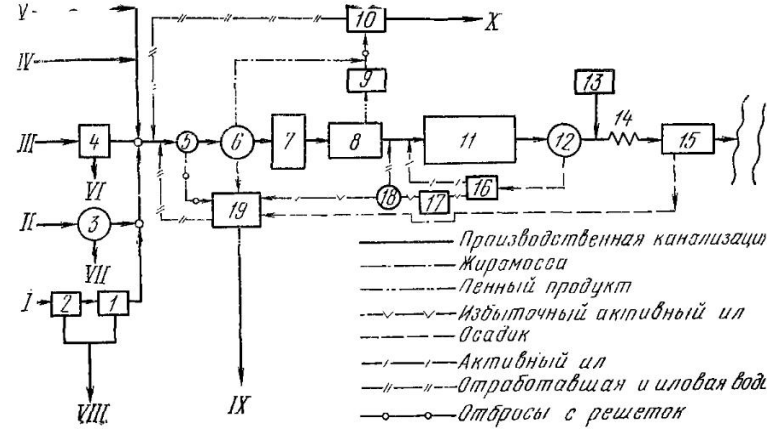


Рис. 75. Новая принципиальная схема очистной станции мясокомбинатов с применением ЭФК-У:

I — сток санитарной бойни, II — навозосодержащие сточные воды, III — каньгосодержащие сточные воды, IV — жирсодержащие сточные воды, V — мало-загрязненные производственные и хозяйственно-бытовые сточные воды, VI — каньга на компостирование, VII — навоз на компостирование, VIII — осадок на захоронение, IX — сухой осадок на сельскохозяйственные поля, X — технический жир на утилизацию: 1 — дезинфектор, 2 — отстойник-навозоуловитель, 4 — каньгопресс, 5 — насосная станция с решеткой, 6 — жиротстойник, 7 — усреднитель, 8 — ЭФК-У, 9 — пеногаситель, 10 — узел выпотки технического жира, 11 — аэротенк, 12 — вторичный отстойник, 13 — хлораторная, 14 — смеситель, 15 — контактный резервуар, 16 — иловая насосная станция, 17 — аэробный стабилизатор, 18 — илоуплотнитель, 19 — узел обработки осадка.

Новая принципиальная схема канализования и очистной станции с применением ЭФК-У показана на рис. 75. По этой схеме жирсодержащие стоки не подвергаются локальной очистке, а направляют непосредственно в общую канализационную сеть. Это решение объясняется следующими причинами. Производственные, так называемые пезажиренные, и каньгосодержащие стоки все же содержат некоторое количество жиров (105—1693 мг/л). В общем стоке мясокомбинатов после локальной очистки содержание жира составляет от 100 до 1800 мг/л. Необходимо также учесть, что в условиях развивающегося производства возможны изменения технологии. Кроме того, в результате последующих изменений в расстановке оборудования, появления новых технологических участков в канализацию пезажиренных стоков часто попадают и жирсодержащие. Поэтому це-

лесообразно очищать от жиров весь сток мясокомбината. Ликвидация центральной жироловки и сети жиросодержащих стоков значительно упрощает схему канализования предприятия. Локальная очистка от каньги, навоза и стоков санитарной бойни сохраняется. Далее общий сток комбината проходит через решетку, которую, как правило, устанавливают на насосной станции. Затем вода поступает в жиропесколовку, рассчитанную на 30—45 мин отстаивания. Ее назначение — задержать крупную тяжелую взвесь и легко всплывающие жиры. Для этой цели можно применять жиропесколовки с реактивным распределением воды. Поскольку мясокомбинаты обычно работают в две смены, то для равномерной нагрузки последующих очистных сооружений после жиропесколовки предусматривают усреднитель по расходу. Перемешивание в нем жидкости удобнее производить барботированием воздуха. Усреднители рассчитывают по методике, изложенной в специальной литературе [22]. Таким образом, на ЭФК-У сточные воды поступают в течение суток практически равномерно. Назначение ЭФК-У заключается в изъятии из сточной воды жиров, взвесей и снижении ХПК. Устройство, расчет и эффективность работы ЭФК-У рассмотрены в главе 2.

Малозагрязненные стоки котельной от продувки оборотной системы холодильной станции, а также хозяйственно-бытовые отводят по самостоятельной сети канализации и в зависимости от местных условий направляют в общий коллектор до или после ЭФК-У.

Для биохимической очистки можно применять аэротенки с механическим аэратором на горизонтальном валу, низконапорные аэротенки, аэротенки-отстойники. При использовании аэротенков-отстойников из схемы исключают вторичные отстойники. Мощность насосной станции значительно снижается, так как ее назначение будет заключаться только в откачке избыточного активного ила. Продолжительность аэрации с учетом предлагаемой предварительной очистки снижается до 8 ч, количество избыточного ила уменьшается в 9 раз. Для обработки избыточного количества активного ила следует использовать аэробные стабилизаторы (см. главу 7) с последующим уплотнением стабилизированного ила в уплотнителе в течение 4—6 ч. Осадки можно обезвоживать на иловых площадках-уплотнителях или в на-

копителях-перегнивателях. Для обезвоживания и обезвреживания отбросов с решеток рекомендуется предусматривать специальную площадку для компостирования. Пена, получающаяся в ЭФК-У, подвергается разрушению в пеногасителе (см. рис. 12), который представляет собой цилиндрический резервуар с коническим днищем, рассчитанный на пребывание пены в течение 20—30 мин. Пеногаситель оснащен лопастной мешалкой с частотой вращения 30—40 мин<sup>-1</sup>. Узел вытопки технического жира, не имеющий отношения к очистке сточных вод, здесь не рассматривается. Описываемая схема была разработана ЛИСИ совместно с Ленгипромясомолпромом и применена при составлении проекта реконструкции очистной станции мясокомбината в г. Выборге. Такую схему целесообразно применять для мясокомбинатов, расход сточных вод которых не превышает 4000—5000 м<sup>3</sup>/сут. Если по местным условиям использовать ЭФК-У трудно, то его можно заменить установкой напорной флотации при расходах сточных вод до 2000 м<sup>3</sup>/сут или машиной пенной сепарации для больших расходов.

На мясокомбинатах, расположенных в местностях с теплым климатом, вместо аэротенков целесообразно применять биологические пруды. Принципиальная схема канализования и очистной станции с биологическими прудами приведена на рис. 76. В этой схеме применены четырехступенчатые пруды. Первые две ступени оборудованы механическими аэраторами. Третья ступень — без искусственной аэрации, четвертая, рассчитанная на суточное пребывание воды, служит для ликвидации водорослей, которые развиваются в предыдущих ступенях. Для этой цели в ней разводят дафнии или мойны. Последние применяют при температуре воды 27—30° С. Расчет и конструкции прудов описаны ранее. Биологические пруды можно применять для любых расходов сточных вод. Устройство их обусловлено наличием соответствующих свободных земельных площадей и слабофильтрующих грунтов.

Для небольших расходов сточных вод (300—700 м<sup>3</sup>/сут) можно использовать биологические пруды без искусственной аэрации. Тогда первые две секции будут анаэробными прудами и могут быть глубокими (4—6 м). Третья и четвертая секции — аэробные вследствие естественной аэрации, но их глубина должна быть не более

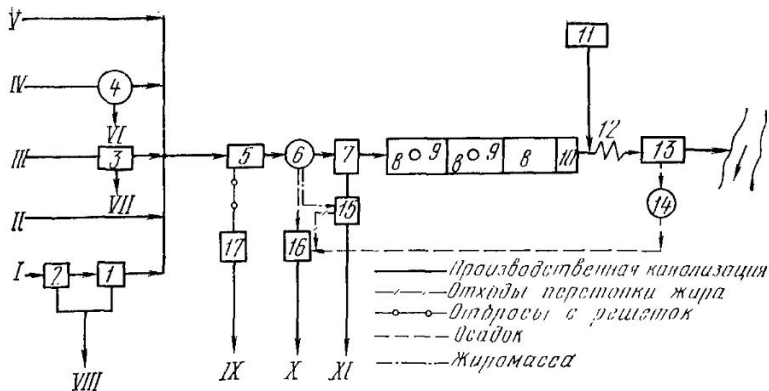


Рис. 76. Принципиальная схема канализования и очистки сточных вод мясокомбинатов с применением биологических прудов:

I — сток санитарной бойни, II — жирсодержащие сточные воды, III — каньго-содержащие сточные воды, IV — навозсодержащие сточные воды, V — малоагрязненные производственные и хозяйственно-бытовые сточные воды, VI — навоз на компостирование, VII — каныга на компостирование, VIII — осадок на захоронение, IX — компост на сельскохозяйственные поля, X — обезвоженный осадок на сельскохозяйственные поля, XI — технический жир, 1 — дезинфектор (каныгопресс), 2 — отстойник-навозоуловитель санитарной бойни, 3 — каныгоотстойник (каныгопресс), 4 — навозоуловитель, 5 — насосная станция с решеткой, 6 — жиропесколовка, 7 — ЭФК-У (установка напорной флотации, установка пенной сепарации), 8 — биологические пруды, 9 — механические аэратеры, 10 — пруд для разведения дафний, 11 — хлораторная, 12 — смеситель, 13 — контактный бассейн, 14 — иловая насосная станция, 15 — узел вытопки технического жира, 16 — иловые площадки, 17 — площадки компостирования отходов с решеток.

0,6 м. Соответственно увеличивается площадь, которую занимают пруды.

В случае спуска сточных вод мясокомбината в городскую канализацию выбор метода очистки определяется требованиями к качеству сточных вод, предъявляемыми службой водоканализации города. Наиболее эффективным методом очистки является электрофлотокоагуляция. Такая схема, разработанная институтом Ленгипромьясомолпром для Рижского мясокомбината, приведена на рис. 77. В рассматриваемой схеме ЭФК-У можно заменить установкой напорной флотации, а при значительных расходах сточных вод — машиной пенной сепарации.

При расчете очистных сооружений, в том числе сооружений биологической очистки, необходимо учитывать дополнительные загрязнения по взвешенным веществам и БПК<sub>полн</sub>, вносимые в основной поток сточной жидкости вместе с иловой водой, поступающей с иловых

площадок, от переработки жиромассы и т. д. Кроме того, следует учитывать расход циркуляционной и декантированной воды при различных схемах флотации.

Насосные станции, подающие сточную воду на локальные или влплощадочные очистные сооружения, должны по возможности обеспечивать равномерную по-

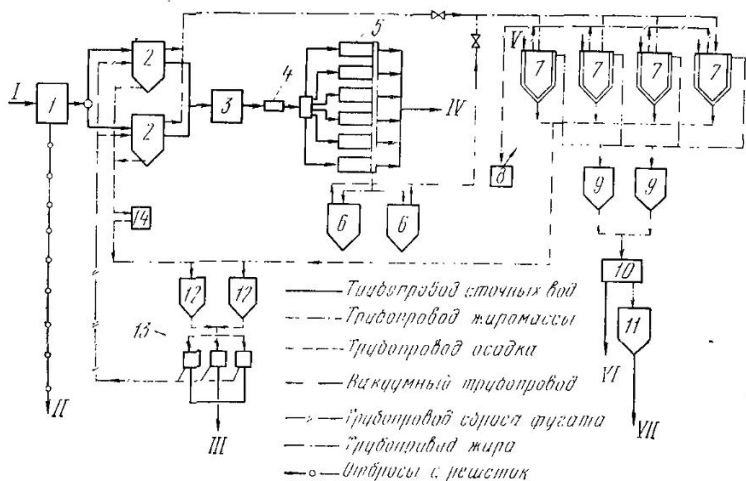


Рис. 77. Технологическая схема очистной станции Рижского мясокombината (Ленгипромьясомолпром):

I — общий сток мясокombината, II — на площадки для компостирования отбросов с решеток, III — обезвоженный осадок (КЭК) на сельскохозяйственные поля, IV — в городскую канализацию, V — подача пара, VI — сброс воды в канализацию, VII — технический жир, 1 — насосная станция с решеткой, 2 — отстойники, 3 — усреднитель, 4 — регулятор расхода воды, 5 — ЭФК-У, 6 — пеногаситель, 7 — вакуумные аппараты для перетонки жиромассы, 8 — вакуумный насос, 9 — сборник жировой эмульсии, 10 — сепаратор, 11 — сборник технического жира, 12 — сборники осадка, 13 — центрифуги, 14 — насосная станция перекачки осадка.

дачу. Особенно это относится к тем случаям, когда в схеме очистной станции отсутствует усреднитель расходов. При резких колебаниях расходов сточных вод наладить эффективную работу установок флотации, пенной сепарации, ЭФК-У, отстойников-осветлителей практически не удастся.

**Предприятия молочной промышленности.** Необходимость предварительной очистки на внутриплощадочных локальных очистных сооружениях может возникнуть независимо от того, сбрасывают ли предприятия сточные

воды в канализацию населенного пункта или направляют их на собственную станцию биологической очистки (при самостоятельном канализовании предприятия).

Рекомендуемые схемы локальной очистки сточных вод молочных заводов представлены на рис. 78.

Схема, изображенная на рис. 78,а, предусматривает очистку сточных вод от жиров и взвешенных веществ с

применением отстойной жиroleвки конструкции ЛИСИ. Продолжительность отстаивания сточных вод составляет 30—60 мин, эффект очистки по жирам и взвешенным веществам 50—60%. Задержанную жиромассу следует направлять на утилизацию, осадок обезвоживать. При необходимости более высокой степени очистки сточных вод от жиров и взвешенных веществ (до 90—97%), а также снижения концентрации загрязнений по БПК<sub>полн</sub> до 65—70% применяют схемы, приведенные на рис. 78, б и в.

По схеме, приведенной на рис. 78, б, сточные воды подаются в электрокоагулятор,

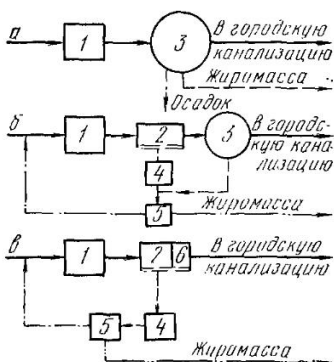


Рис. 78. Схемы локальной очистки сточных вод предприятий молочной промышленности:

1 — насосная станция, 2 — электрокоагулятор, 3 — отстойная жиroleвка, 4 — пеногаситель, 5 — сепаратор, 6 — электрофлотатор.

а затем направляются в отстойник. Пену подвергают гашению в пеногасителе и вместе с осадком из отстойника обрабатывают на сепараторе. Обезвоженную жиромассу направляют на утилизацию, а выделившуюся при сепарировании воду подают на очистку в голову очистных сооружений.

В качестве отстойника рекомендуется использовать жиroleвку конструкции ЛИСИ.

В схеме, показанной на рис. 78,в, для удаления скоагулированных в электрокоагуляторе загрязнений применен электрофлотатор. Эта схема очистки по сравнению со схемой, показанной на рис. 78,б, позволяет применять однотипное оборудование, требует меньше площади для размещения сооружений.

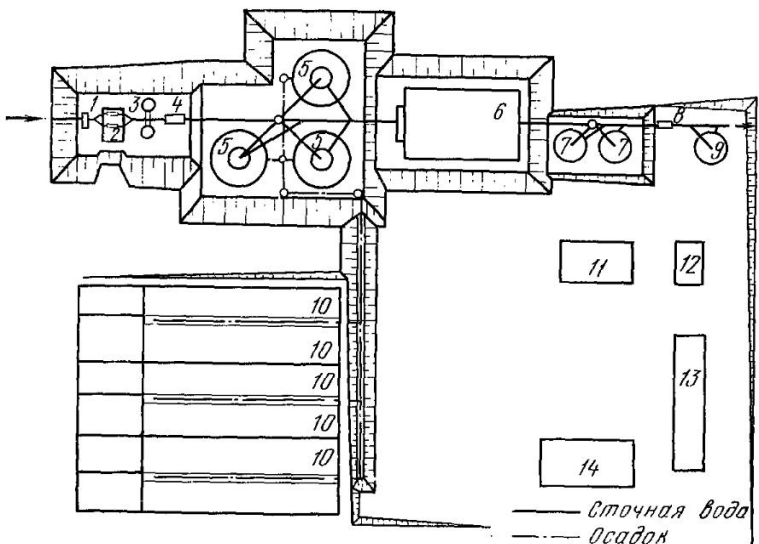


Рис. 79. План очистной станции с аэротенками:

1 — приемная камера, 2 — решетки, 3 — песколовки, 4 — измерительный лоток, 5 — осветлители-перегриватели, 6 — аэротенки, 7 — вторичные отстойники, 8 — смеситель, 9 — контактный резервуар, 10 — иловые площадки-уплотнители, 11 — блок производственно-бытовых помещений, 12 — хлораторная, 13 — котельная, 14 — склад угля.

Перед выпуском сточных вод предприятий молочной промышленности обычно требуется их полная биохимическая очистка до  $BPK_{полн} = 15 \div 25$  мг/л, а в отдельных случаях и более глубокая.

Биологическую очистку сточных вод молочных заводов можно осуществлять на общих очистных сооружениях совместно с бытовыми стоками населенных пунктов и других предприятий.

При самостоятельном канализовании сточных вод молокоперерабатывающих заводов необходимо устраивать станции биологической очистки. В качестве сооружений биологической очистки можно применять поля фильтрации, биологические пруды, биологические фильтры, циркуляционные окислительные каналы и аэротенки. Поля фильтрации, биологические пруды и циркуляционные окислительные каналы допускается применять лишь при наличии опыта их успешной работы в аналогичных климатических и местных условиях.

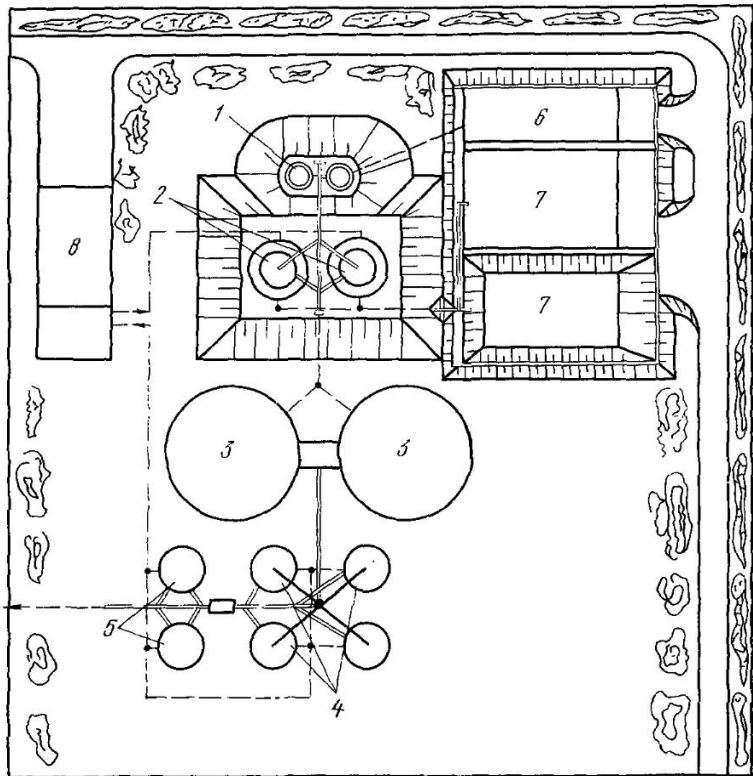


Рис. 80. План очистной станции с высоконагружаемыми биофильтрами:

1 — песколовки, 2 — осветлители-перегиватели, 3 — высоконагружаемые биологические фильтры, 4 — вторичные отстойники, 5 — контактные резервуары, 6 — песковая площадка; 7 — иловые площадки; 8 — блок производственно-вспомогательных помещений.

Перед сооружениями биологической очистки предусматриваются решетки, песколовки, осветлители или осветлители-перегиватели. Схема станции биологической очистки сточных вод молочных заводов с применением аэротенков аналогична схеме типовой станции мясокомбинатов (см. рис. 74). План такой станции представлен на рис. 79. В состав станции входят решетки, песколовки, осветлители-перегиватели, аэротенки, вторичные вертикальные отстойники, контактный резер-



вуар, иловые площадки-уплотнители и насосная станция.

Производительность типовых станций составляет 440, 700 и 1100 м<sup>3</sup>/сут (с аэротенками с механической аэрацией) и 1700, 2400 м<sup>3</sup>/сут (с аэротенками с низконапорной аэрацией).

План очистной станции с применением высоконагружаемых биологических фильтров показан на рис. 80. В состав станции, кроме биологических фильтров, входят те же сооружения по механической очистке, дезинфекции сточных вод и обработке осадка, что и в состав типовой станции (см. рис. 79). На станции предусматривают рециркуляцию очищенной жидкости на биологических фильтрах.

При расходах сточных вод предприятия до 500 м<sup>3</sup>/сут рекомендуется применять аэротенки-отстойники, работающие в режиме продленной аэрации, или биофильтры-стабилизаторы. В этом случае не требуется устройства осветлителей-перегнивателей. План станции биологической очистки с аэротенками-отстойниками продленной аэрации показан на рис. 81. Сточные воды насосной станцией, на которой установлены решетки, подаются в приемную камеру, проходят песколовку и подвергаются биологической очистке в аэротенке-отстойнике. Для доочистки сточных вод в схеме станции предусмотрены биологические пруды. Минерализованный избыточный ил из аэротенков-отстойников подается для подсушивания на иловые площадки.

При использовании локальной очистки сточных вод в электрокоагуляторах (см. рис. 78,б,в) объем станции биологической очистки сокращается в 1,5—2 раза за счет исключения из схемы станции сооружений механической очистки, уменьшения объемов аэротенков (или биологических фильтров) и иловых площадок ввиду значительного снижения концентрации загрязнений сточных вод после электрокоагуляционной обработки.

Однако применение электрокоагуляционной локальной обработки перед последующей биологической очисткой сточных вод молочных заводов на собственных очистных станциях можно рекомендовать лишь для предприятий небольшой мощности при отсутствии достаточных свободных площадей. Это обусловлено тем, что электрокоагуляционный способ очистки требует уста-

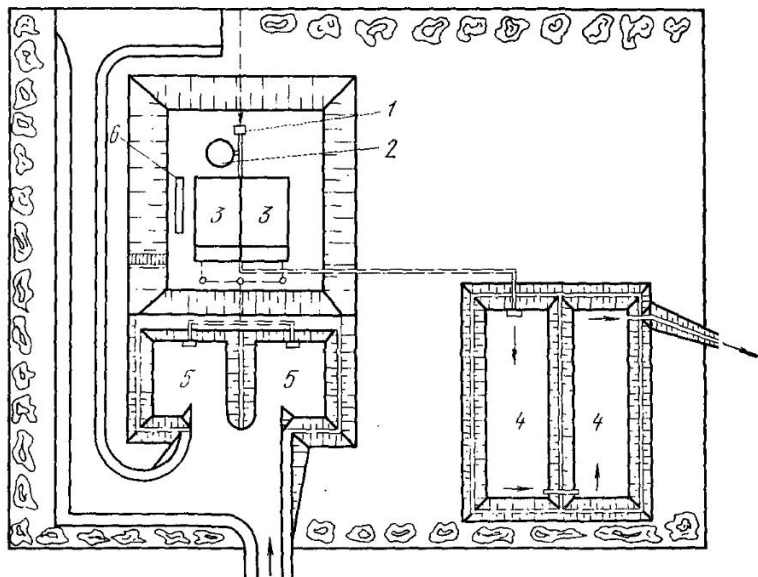


Рис. 81. План очистной станции с аэротенками-отстойниками:

1 — приемная камера, 2 — песколовка, 3 — аэротенки-отстойники продленной аэрации, 4 — биологические пруды доочистки, 5 — иловые площадки, 6 — вентиляторы.

новки мощного электросилового оборудования, дополнительных затрат материалов (алюминий или железо), а также периодической замены электродов.

#### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ОЧИСТНЫХ СТАНЦИЙ

**Мясокомбинаты.** Для технико-экономического сравнения различных схем очистных станций сточных вод мясокомбинатов за эталонный вариант принят типовый проект 902—2—74 «Очистные сооружения для сточных вод мясокомбинатов производительностью 1700 м<sup>3</sup>/сут», пересчитанный на расход сточных вод 1250 м<sup>3</sup>/сут. Это вызвано тем, что сравниваемый вариант (очистная станция мясокомбината г. Выборга) рассчитан на расход сточных вод 1250 м<sup>3</sup>/сут. Экспериментальный проект очистной станции этого комбината с внедрением электрофлоккоагуляционного метода очистки выполнен институтом «Ленгипромьясомолпром».

Типовой проект предусматривает механическую очистку сточных вод с помощью решеток, песколовок, осветлителей-перегнивателей и последующую их полную биохимическую очистку в аэро-

тепках с низконапорной аэрацией. Для обезвоживания осадков предусмотрены иловые площадки-уплотнители. Применение типового проекта предполагает канализование комбината по раздельной системе и локальную очистку каньгосодержащих стоков на каньгпрессах, навозосодержащих — в навозоуловителях, жирсодержащих — на центральной жироловке во флотационных машинах импеллерного типа и стоков санитарной бойни — в навозоуловителе, а затем в дезинфекторе (см. рис. 74).

Приципиальная схема сравниваемого варианта приведена на рис. 75 и описана на с. 219. В ней приняты ЭФК-У, аэротенки с механическим лопастным аэратором на горизонтальном валу, аэробная стабилизация избыточного активного ила, иловые площадки-уплотнители. При этом малозагрязненные производственные и хозяйственно-бытовые стоки подаются на очистку, минуя ЭФК-У. Основные технико-экономические показатели типовой и рекомендуемой схем очистки, заимствованные из сводной сметы экспериментального проекта реконструкции очистных сооружений Выборгско-

Таблица 29. Основные технико-экономические показатели типовой и рекомендуемой схем очистки сточных вод мяскокомбината

Показатели	Для г. Выборга		Для г. Риги	
	по рекомендуемой схеме	по типовому проекту	по рекомендуемой схеме	по типовому проекту
Себестоимость очистки сточных вод, коп./м <sup>3</sup>	34	61	18,8	44,5
Доход от утилизации уловленного из сточных вод жира, коп./м <sup>3</sup>	19	17	14	10,1
Себестоимость за вычетом дохода от утилизации жира из сточных вод, коп./м <sup>3</sup>	15	44	4,3	34,4
Удельные капиталовложения, руб./м <sup>3</sup> сточных вод в год	1,83	2,73	0,89	1,64

го мяскокомбината, приведены в табл. 29. Годовой экономический эффект определен согласно указаниям [46] по формуле

$$\mathcal{E} = [(C_c + EK_c) - (C_n + EK_n)] A,$$

где  $C_c$ ;  $C_n$  — себестоимость единицы продукции в сравниваемых вариантах, руб./м<sup>3</sup>;  $E$  — отраслевой нормативный коэффициент экономической эффективности, равный 0,15;  $K_c$ ;  $K_n$  — удельные капитальные вложения на единицу продукции в сравниваемых вариантах, руб./м<sup>3</sup>;  $A$  — годовой объем продукции, м<sup>3</sup>.

Экономия по предлагаемому варианту достигнута в результате более эффективной предварительной очистки сточной воды с помощью электрофлотокоагуляции. Это позволило значительно умень-

шить продолжительность аэрации и, следовательно, объем аэротенков, снизить расход пара за счет отказа от подогрева воды в аэротенке зимой, что стало возможным вследствие сокращения продолжительности аэрации. Наконец, более высокий эффект извлечения жира из сточных вод в ЭФК-У соответственно увеличивает прибыль от утилизации жира.

Аналогичный расчет выполнен для проекта очистной станции мясокомбината в г. Риге. Сточные воды этого комбината спускаются в городскую канализацию. Для обеспечения требований города к качеству очищенной воды в проекте предусматривалось устройство центральной жироловки с флотационными машинами импеллерного типа на жирсодержащих стоках. Общий сток комбината после локальной очистки направлялся на биохимическую очистку, принятую по типовому проекту 952—2—75 очистных сооружений для мясокомбинатов производительностью 2400 м<sup>3</sup>/сут. Расчетный расход мясокомбината 4000 м<sup>3</sup>/сут. Типовой проект был соответствующим образом пересчитан. Сравнимый вариант очистки предусматривает локальную очистку каньго- и навозсодержащих стоков, а также сточных вод санитарной бойни. Затем общий сток комбината поступал на решетку, кратковременное отстаивание, усреднитель расхода и далее на ЭФК-У (см. рис. 77). Высокий эффект очистки сточных вод от жира и взвешенных веществ, снижение ХПК позволили исключить из схемы аэротенки. Проект, включая сметно-финансовые расчеты, выполнен институтом Ленипромясомолпром. В табл. 29 приведены основные технико-экономические показатели сравниваемых вариантов. Годовой экономический эффект составил 330 тыс. руб. Экономия получена в основном за счет исключения из схемы аэротенков и сооружений, связанных с ними, а также вследствие увеличения количества жира, извлекаемого из сточных вод.

Технико-экономический анализ варианта очистки сточных вод мясокомбината с применением ЭФК-У и биологических прудов был выполнен по эскизному проекту очистной станции производительностью 1200 м<sup>3</sup>/сут. Расчет произведен на условия теплого климата (см. рис. 76). В результате расчета получены следующие ориентировочные технико-экономические показатели на 1 м<sup>3</sup> сточных вод: себестоимость очистки — 25 коп., доход от утилизации жира — 19 коп., приведенная себестоимость — 6 коп., удельные капиталовложения — 1,68 руб. Ориентировочный годовой экономический эффект по сравнению с экономическим эффектом очистной станции, описанной выше как эталонный вариант, пересчитанный на условия теплого климата, составил 97,5 тыс. руб.

Технико-экономический расчет эффективности внедрения машин пенной сепарации при устройстве локальной очистки жирсодержащих сточных вод в центральной жироловке мясокомбината по сравнению с расчетом эффективности варианта с применением импеллерных машин показал, что при повышении эффективности очистки по жирам и взвешенным веществам в среднем до 92% энергозатраты на очистку 1 м<sup>3</sup> сточной воды снизились с 1,3 до 0,55 кВт·ч/м<sup>3</sup>, стоимость очистки 1 м<sup>3</sup> сточной воды уменьшилась с 9,1 до 6,2 коп.; годовой экономический эффект для одного мясокомбината составил 93,06 тыс. руб.

**Предприятия молочной промышленности.** Основные технико-экономические показатели станций биологической очистки сточных

Таблица 30. Техничко-экономические показатели станций биологической очистки сточных вод

Пронзводительность, м <sup>3</sup> /сут	БПК <sub>полн</sub> сточных вод, мг/л	Общая сметная стоимость станции, тыс. руб.	Капитальные затраты на 1 м <sup>3</sup> очистки сточных вод, руб./м <sup>3</sup>	Расход электроэнергии на БПК <sub>полн</sub> , кВт.ч/кг	Себестоимость очистки сточных вод, коп./м <sup>3</sup>	Стоимость снятия БПК <sub>полн</sub> , коп./кг
<i>Циркуляционные окислительные каналы</i>						
30	2000	30	1000	3,3	71	34,5
80	1250	45	560	2,6	33	27,0
120	2000	67	560	2,6	27	13,6
<i>Аэротенки с низконапорной аэрацией</i>						
1800	1200	360,5	200	2,7	18	15
3000	640	438,5	146	1,8	13	21
1500	800	616,6	770	3,0	20	25
<i>Аэротенки-отстойники продолженной аэрации с пневматической аэрацией</i>						
70	2000	31,7	450	3,1	43	21
130	1750	64,0	490	4,8	39	22
<i>с механическими поверхностными аэраторами</i>						
100	3000	58	580	1,5	39	13
150	2500	71	474	2,4	34	14
250	2500	94	376	2,1	26	11

вод, полученные институтом Гипромолпром при проектировании объектов молочной промышленности, приведены в табл. 30.

Анализ данных показывает, что технико-экономические показатели даже однотипных очистных станций для различных конкретных предприятий значительно колеблются. Это обусловлено неодинаковыми местными условиями, которые влияют на сметную стоимость и эксплуатационные расходы при привязке одной и той же схемы очистки к реальным объектам.

В частности, технико-экономические показатели очистных станций во многом зависят от объема необходимых планировочных работ, обусловленного рельефом данной местности, месторасположения очистной станции, наличия или отсутствия в составе станции котельной, блока производственно-бытовых помещений и пр. Например, стоимость строительства котельной и производственно-бытовых

помещений для станции производительностью около 1000 м<sup>3</sup>/сут примерно равна стоимости аэротенков, и следовательно, сметная стоимость станции без этих зданий будет значительно ниже.

Таким образом, технико-экономические показатели очистных станций, разработанных для конкретных условий, не являются объективными показателями сравнения различных схем предприятий молочной промышленности. При более экономичных решениях стоимость станций производительностью до 500 м<sup>3</sup>/сут составляет примерно 400 руб. на 1 м<sup>3</sup> сточных вод, а станций производительностью около 1800 м<sup>3</sup>/сут — 200 руб./м<sup>3</sup>.

Для технико-экономического сравнения очистных станций с применением аэротенков с механической аэрацией и аэротенков с низконапорной аэрацией использовали сметную документацию типовых проектов станций мясокомбинатов 902—2—94,—95,—96 (с аэротенками с механической аэрацией) и 902—2—74,—75 (с аэротенками с низконапорной аэрацией) применительно к сточным водам молочных заводов.

Технико-экономические показатели типовых станций, определенные для молочных заводов производительностью от 440 до 2400 м<sup>3</sup>/сут при БПК<sub>полн</sub> исходных сточных вод 1200 мг/л, приведены в табл. 31. Экономическая эффективность сравниваемых вариантов определена по приведенным затратам. Как видно из табл. 31, приведенные затраты сравниваемых очистных станций производительностью до 1100 м<sup>3</sup>/сут примерно одинаковые. При производительности станции свыше 1100 м<sup>3</sup>/сут более экономичными становятся станции с аэротенками с низконапорной аэрацией.

При разработке экспериментального проекта нового сооружения для биологической очистки биофильтра-стабилизатора Ленводоканалпроектом совместно с ЛИСИ произведено сравнение схем очистки с применением биофильтров-стабилизаторов (I вариант), аэротенков-отстойников с пневматической аэрацией (II вариант) и типовых высоконагружаемых биологических фильтров (III вариант) для предприятий молочной промышленности производительностью 400 м<sup>3</sup>/сут.

Таблица 31. Технико-экономические показатели типовых станций

Показатели	Станции с аэротенками с низконапорной аэрацией производительностью, м <sup>3</sup> /сут				
	440	700	1100	1700	2400
Общая сметная стоимость станции, тыс. руб.	234,2	261	293,2	393,8	415,7
Капитальные затраты на очистку сточных вод, руб./м <sup>3</sup>	533	373	266	232	173
Себестоимость очистки сточных вод, коп./м <sup>3</sup>	35	24,7	17,3	13,9	13
Приведенные затраты, тыс. руб.	89,3	99,6	110,4	141,0	153,2

Показатели	Станции с аэротенками с механической аэрацией производительностью, м <sup>3</sup> /сут				
	440	700	1100	1700	2400
Общая сметная стоимость станции, тыс. руб.	254,3	281,3	331,6	467,2	513,8
Капитальные затраты на очистку сточных вод, руб./м <sup>3</sup>	580	402	300	274	214
Себестоимость очистки сточных вод, коп./м <sup>3</sup>	34,8	22,8	16,3	13,7	12,5
Приведенные затраты, тыс. руб.	91,6	97,7	112	150,3	162,9

Состав сравниваемых станций и сметная стоимость очистных сооружений приведена в табл. 32. Сравнительная стоимость биофильтров-стабилизаторов и высоконагружаемых биологических фильтров выше, чем стоимость аэротенков-отстойников, что и обусловило большую сметную стоимость станций с этими сооружениями по сравнению со сметной стоимостью станций, включающей аэротенки-отстойники (вариант II).

Необходимо подчеркнуть, что сметная стоимость биофильтров-стабилизаторов и высоконагружаемых биологических фильтров во многом определена стоимостью строительства отапливаемого здания, в котором они размещены.

Следует иметь в виду, что размещение сооружений в отапливаемом помещении позволяет обеспечить стабильность процесса биологической очистки сточных вод вне зависимости от наружной температуры воздуха. Это обстоятельство является весьма важным для небольших предприятий молочной промышленности, например расположенных в местностях с суровым климатом и работающих в одну-две смены.

Очистные станции сравнивают по экономическим показателям при условии одинаковой их эффективности, стабильности и надежности процесса очистки. Во II варианте станции с аэротенками-отстойниками предусмотрен подогрев иловой смеси в аэротенках-отстойниках с перекрытием этих сооружений плитам на зимний период. Такое решение в определенной мере повышает устойчивость и надежность процесса биологической очистки в холодное время года без значительных капитальных затрат на возведение зданий.

К сметной стоимости аэротенков-отстойников относят часть стоимости производственно-вспомогательного здания, в котором расположено воздуходувное хозяйство, обеспечивающее работу аэротенков. Эксплуатационные расходы для сравниваемых станций приведены в табл. 33.

Как видно из табл. 33, эксплуатационные расходы на станциях с биофильтрами-стабилизаторами и высоконагружаемыми биоло-

Таблица 32. Состав станций и сметная стоимость очистных сооружений

Состав станции	Сметная стоимость, тыс. руб.			Обоснование сметной стоимости (проект-аналог)
	с биофильтрами-стабилизаторами (I вариант)	с аэротенками-отстойниками (II вариант)	с высоконагружаемыми биологическими фильтрами (III вариант)	
Приемная камера	1,68	1,68	1,68	902—2—151
Песколовка	8,3	8,4	8,4	902—2—212
Осветлитель-перегиватель	—	—	14,22	902—2—91
Биофильтры-стабилизаторы	111,69	—	—	Экспериментальный проект
аэротенки-отстойники	—	49,69	—	То же
высоконагружаемые биологические фильтры	—	—	96,43	902—2—214
Вторичные отстойники	—	—	7,20	902—2—23
Смеситель	0,04	0,04	0,04	902—2—98
Контактные резервуары	2,79	2,79	—	902—2—151
Иловые площадки	1	1,2	3,7	Т—939
Производственно-вспомогательное здание	26,79	34,96	26,79	ЦНИИЭП 902—2—154
Сети на площадке станции	12,8	12,8	12,8	902—2—151
Вертикальная планировка и благоустройство	38	42	40	—
Общая строительная стоимость станции (с учетом прочих затрат)	235,39	177,66	249,62	—

гическими фильтрами ниже, чем эксплуатационные расходы на станциях с аэротенками-отстойниками. Объясняется это в основном более высокими затратами электроэнергии и горячей воды для работы аэротенков-отстойников.

Приведенные затраты, по которым оценивают экономическую эффективность сравниваемых станций, следующие: при I варианте (станция с биофильтрами-стабилизаторами) — 63,45 тыс. руб.; при II варианте (станция с аэротенками-отстойниками) — 62,54 тыс. руб.; при III варианте (станция с высоконагружаемыми биофильтрами) — 66,95 тыс. руб.

Таким образом, экономическая эффективность применения биофильтров-стабилизаторов и экономическая эффективность аэротенков примерно одинаковая. При использовании в составе станции высоконагружаемых биологических фильтров приведенные затраты увеличиваются примерно на 6,5% по сравнению с приведенными затратами других рассмотренных станций.



Таблица 33. Эксплуатационные расходы (в тыс. руб./год) на станции

Показатели	С биофильтрами-стабилизаторами (I вариант)	С аэротенками-отстойниками (II вариант)	С высоконагружаемыми биологическими фильтрами (III вариант)
Зарботная плата	6,66	6,66	7,4
Отчисление на социальное страхование	0,53	0,53	0,59
Стоимость реагентов (поваренная соль)	0,04	0,04	0,04
Стоимость потребляемой электроэнергии	5,5	13	6,75
Стоимость горячей воды на отопление	4,51	7,31	4,92
Амортизационные отчисления	14,01	10,15	13,47
Текущий ремонт	2,35	1,78	2,5
Прочие расходы	1,2	1,76	1,33
Всего эксплуатационных расходов	35,2	41,23	37
Себестоимость очистки 1 м <sup>3</sup> сточных вод, коп.	35	41	37

### УСЛОВИЯ НОРМАЛЬНОЙ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Очистные сооружения работают нормально, если организован надлежащий уход за сооружениями и постоянный контроль за ходом технологического процесса.

Основные причины, приводящие к нарушению нормальной работы очистной станции, следующие: перегрузка сооружений, вызванная увеличением расхода поступающей сточной жидкости или увеличением концентрации загрязнений сверх проектной нормы; большая неравномерность поступления сточных вод или компонентов загрязнений; перерыв в электроснабжении; залповый сброс в канализационную сеть сыворотки, каныги, отработавших моечных растворов и др.; несоблюдение сроков планово-предупредительного (текущего и капитального) ремонта отдельных сооружений и оборудования; нарушение обслуживающим персоналом правил технической эксплуатации канализационных сооружений.

Для обеспечения нормальной и бесперебойной работы очистной станции необходимо установить оптимальный режим работы каждого сооружения и обеспечить безусловное поддержание этого режима при строгом контроле за работой каждого узла.

На весь комплекс и каждое сооружение в отдельности составляют технологический паспорт, в котором, кроме технических данных, указывают также проектную и фактическую производительность сооружений. Последнюю устанавливают в результате специальных наблюдений под руководством квалифицированного технического персонала.

Для предотвращения перегрузок, нарушающих режим работы отдельных сооружений, необходим систематический контроль за количественными и качественными показателями сточных вод.

При систематической перегрузке очистных сооружений в связи с увеличением притока или концентрации загрязнений сточных вод разрабатывают и осуществляют мероприятия, направленные на совершенствование технологических процессов в целях снижения расходов и концентрации загрязнений сточных вод, или интенсифицируют работу локальных и основных очистных сооружений либо расширяют очистную станцию. Во избежание залповых выпусков концентрированных моечных растворов устраивают регулируемую или резервную емкость, обеспечивающие равномерный сброс этих стоков в канализацию.

При выключении отдельных сооружений на ремонт их число должно быть установлено и увязано с допустимой перегрузкой сооружений, остающихся в эксплуатации. При этом перегрузка работающих сооружений не должна снижать необходимую степень очистки сточных вод.

При определении фактической производительности комплекса очистных сооружений необходимо учитывать неизбежность периодического их выключения на профилактический осмотр, текущий и капитальный ремонт.

Остающиеся в эксплуатации сооружения должны равномерно принять на себя повышенную нагрузку, которая не должна превышать максимально допустимую ее величину.

Систематически (по графику) осуществляют планово-предупредительный ремонт сооружений и оборудования. Все сооружения, оборудование и территория очистной станции должны содержаться в чистоте.

Работу очистной станции и отдельных ее сооружений контролирует обслуживающий персонал и сотрудники лаборатории очистной станции. Цель контроля — получение требуемого качества очищенных сточных вод при обеспечении бесперебойной, экономичной работы очистной станции в условиях возможно большей ее производительности. В результате контроля получают показатели, характеризующие особенности сточных вод, интенсивность процессов очистки, протекающих в каждом сооружении и в целом по очистной станции, и выявляют причины, лимитирующие производительность или эффективность работы отдельных сооружений.

По очистной станции в целом и по отдельным сооружениям систематически учитывают количество и состав сточных вод, расход воздуха, электроэнергию, воды, реагентов и др., учитывают количество и анализируют состав осадков сточных вод, определяют причины, вызывающие нарушение режима работы очистной станции в целом и отдельных ее сооружений, оценивают технологические показатели работы очистной станции в целом и отдельных ее сооружений. Эффект работы очистной станции и отдельных сооружений определяют на основании лабораторных анализов, сравнивая состав стоков, прошедших очистку с составом поступающих в сооружения стоков. Одновременно учитывают количество и характеристику осадков, образующихся в процессе очистки.

Поступающие и очищенные сточные воды, как правило, анализируют на основе среднесуточных или среднесменных проб, отбираемых через 1—2 ч. Пробы отбирают в местах, где обеспечивается

ся хорошее перемешивание жидкости и исключено попадание в отбираемую пробу раньше отложившихся осадков.

Места и периодичность отбора проб для анализа устанавливает технолог (начальник) очистной станции.

Данные о работе очистной станции и отдельных сооружений заносят в ведомости учета, формы которых приведены ниже.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЗА РАБОТОЙ СООРУЖЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И ОБРАБОТКИ ОСАДКА

**Решетки.** Для обеспечения нормальной работы решетки регулярно очищают. Периодичность очистки должна обеспечивать нормальную их работу при максимальном поступлении отбросов. Отбросы с ручных решеток удаляет дежурный с помощью металлических граблей или вил. При механической очистке решеток дежурный периодически осматривает грабли, если на них остались отбросы, то их сбрасывают в канал перед решетками или в специальный ящик. При отсутствии дробилки на очистной станции отбросы, снимаемые с решеток, сбрасывают в тару (ящик, ведро или тачку) с дырчатым дном для удаления излишней воды, которая стекает через отверстия обратно в канал. Отбросы из тары по мере ее заполнения удаляют в места, отведенные для их обезвреживания. Устройство этих мест согласуется с органами санитарной охраны. Количество отбросов, удаленных за смену, записывают в журнал.

Надзор и уход за механическими граблями решеток должен производиться в соответствии со специальной инструкцией. В случае нарушения нормальной работы их необходимо немедленно выключать для осмотра и ремонта. Во всех случаях нарушения нормальной работы решетки необходимо прежде всего переключить поток жидкости на резервный агрегат или на ручную решетку, а затем выявить причины и ликвидировать неполадки. При повышении уровня воды в камерах решеток необходимо осмотреть положение шибров на каналах, подводящих жидкость к последующим сооружениям, и выяснить, нет ли засорений решеток и правильно ли они эксплуатируются.

Учет работы решеток ведется по форме 1.

Форма 1

Дата	Количество часов работы решетки	Количество сточных вод, м <sup>3</sup>	Задержано отбросов, м <sup>3</sup>	Влажность отбросов (определяют 1—2 раза в месяц), %	Примечание
1	2	3	4	5	6

**Песколовки.** Для нормальной работы песколовки необходимо поддерживать в них проектные скорости движения жидкости. Скорость движения сточных вод и продолжительность ее протекания в

песколовке при колебаниях расхода сточных вод в течение суток можно стабилизировать путем установки на выходе из песколовки регулирующих водосливов или шиберов либо выключением одной или нескольких песколовки при значительном уменьшении притока сточных вод.

Песок удаляют из песколовки по мере его накопления, обычно после заполнения осадком приемки песколовки. Периодичность удаления определяют в процессе эксплуатации. При этом необходимо ежедневно следить, чтобы из-за отложения песка не было такого уменьшения живого сечения потока, при котором начинается вынос песка в последующие сооружения.

Количество песка, задерживаемого песколовками, измеряют каждый раз при выгрузке или определяют путем промера толщины его слоя в песколовке. В рабочий журнал записывают дату выгрузки, количество и продолжительность работы механизмов в течение суток.

Периодически (один раз в месяц) в порядке контроля за эффективностью работы песколовки необходимо определять объемную массу, влажность и зольность осадка, содержание в нем песка, а также и фракционный состав песка.

Важным показателем для оценки работы песколовки является количество песка в осадке, выпадающем в последующих по ходу движения сточных вод сооружениях. Содержание песка в осадке последующих отстойных сооружений должно быть не более 5%, а крупность песка — не более 0,25 мм.

Работу песколовки учитывают, заполняя форму 2.

Форма 2

Дата	Номер песколовки	Количество часов работы	Количество сточной воды, м <sup>3</sup>	Количество осадка		Характеристика осадка						Примечание
				всего, м <sup>3</sup>	на 100 м <sup>3</sup> сточной воды, м <sup>3</sup>	объемная масса, т/м <sup>3</sup>	влажность, %	зольность, %	содержание песка в осадке, %	Фракционный состав песка		
										больше 0,25 мм	меньше 0,25 мм	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

**Отстойники.** Одно из основных условий нормальной работы отстойных сооружений — равномерное распределение сточных вод между ними, а также равномерное распределение (на выходе) и сбор (на выходе из сооружений) сточных вод.

Распределение сточной воды между сооружениями регулируют с помощью запроектированных или дополнительных устройств (камер, распределительных чаш и др.), а также замеров расхода сточных вод, поступающих на каждое сооружение.

На равномерность распределения сточных вод в отстойных сооружениях влияют конструкция распределительных устройств, точ-

ность их выполнения и монтажа. В горизонтальных отстойниках следует обеспечивать горизонтальность и точную установку на проектные отметки распределительного водослива и полупогруженных щитов на выходе и входе в отстойник, в вертикальных отстойниках и осветлителях — расположение вертикальной центральной трубы и отражательного щита строго по оси сооружения на проектных отметках. Для обеспечения равномерного сбора осветленных сточных вод переливные борта в отстойниках должны быть горизонтальными. Правильность установки и выравнивание распределительных и сборных устройств проверяют перед пуском сооружений в работу и периодически в процессе эксплуатации.

Всплывающие при первичном отстаивании сточных вод вещества должны задерживаться в очистных сооружениях специальными устройствами (полупогруженные доски, перегородки) и удаляться по мере накопления.

Осадок следует удалять 1—2 раза в сутки. Более длительное хранение осадков в осадочной части сооружения первичного отстаивания приводит к загниванию и всплыванию комьев осадка, вторичному загрязнению осветленной воды.

Осадки из первичных отстойников удаляют под гидравлическим напором не менее 1,5 м, открывая задвижки на иловой трубе. При выпуске осадка задвижка должна быстро открываться, чтобы густой осадок, лежащий на дне приемника осадка, сдвинулся и начал выходить из отстойника. Затем задвижку следует прикрыть во избежание прорывов воды.

Засорение иловой трубы устраняют, прочищая ее через контрольный стояк с помощью поршня, проволоки или размывая струей воды. Если указанные мероприятия не дадут удовлетворительных результатов, следует опорожнить отстойник, прочистить трубу и вновь запустить отстойник в работу.

Количество выпускаемого из отстойника осадка и плавающих примесей измеряют ежедневно. Влажность и зольность осадка определяют один раз в неделю. Пробы осадка отбирают во время его выпуска через определенные промежутки времени с тем, чтобы получить данные о среднем составе осадка за период его выгрузки из отстойника.

Эффективность работы первичных отстойников оценивают в основном по содержанию взвешенных веществ. Для сточных вод предприятий молочной промышленности она составляет около 30%, для сточных вод мясокомбинатов — 50%. Эффективность работы отстойника по задержанию взвешенных веществ определяют не реже одного раза в неделю. Одновременно выявляют и эффект задержания жировых веществ. Для анализа отбирают среднесменную и среднесуточные пробы сточных вод до и после отстойника. Результаты работы первичных отстойников оформляют по форме 3.

**Осветлители-перегиватели.** Осадок выпускают из осветлителей 1—2 раза в сутки. При нормальных условиях работы влажность выгружаемого осадка составляет 95—97%. Избыточный активный ил после азротенков или биопленку после биологических фильтров можно подавать в лоток перед осветлителем. В этом случае влажность осадка 97,5—96%.

Плавающие вещества следует удалять из осветлителя систематически по мере их накопления следующим образом. Прикрывая шибер на отводящем трубопроводе при непрерывающейся подаче

Дата	Номер отстойника	Расход сточных вод, м <sup>3</sup> /сут	Продолжительность отстояния, ч	Концентрация взвешенных веществ в воде, мг/л		Концентрация жиров в воде, мг/л		Осадок		
				поступающей	выходящей	поступающей	выходящей	количество, м <sup>3</sup> /сут	зольность, %	влажность, %
1	2	3	4	5	6	7	9	8	10	11

исходных сточных вод, поднимают уровень жидкости в осветлителе настолько, чтобы обеспечить перелив слоя плавающих веществ в сборный карман. Одновременно вручную сгоняют плавающие вещества с поверхности осветлителя к карману.

Сточные воды необходимо равномерно распределять между осветлителями, тщательно прочищать лотки, водосливы и шиберы от засоряющих отбросов, периодически осматривать, смазывать и ремонтировать все механические части согласно графику ППР.

Для контроля за эффективностью работы осветлителей следует отбирать пробы для химического анализа до и после осветления, а также пробы выгружаемого осадка. Необходимо также ежедневно учитывать количество выпускаемого осадка и плавающих примесей.

Результаты работы осветлителей с естественной аэрацией записываются в рабочий журнал (форма 4).

Пусковой период перегнивателя продолжается около одного года. Для сокращения пускового периода можно в перегниватель перед вводом его в эксплуатацию загрузить хорошо сброженный осадок из нормально работающего метантенка, перегнивателя других станций. Количество такого осадка принимают из расчета 30% объема перегнивателя. После этого загружают свежий осадок.

В пусковой период один раз в неделю необходимо отбирать пробы пловой воды для определения ее состава. Окончание пуско-

Форма 4

Дата	Температура, °С	Расход сточных вод, м <sup>3</sup> /сут	Концентрация взвешенных веществ, мг/л		Эффект осаждения, %	ХПК, мг/л	
			до осветлителя	после осветлителя		до осветлителя	после осветлителя
1	2	3	4	5	6	7	8

Снижение ХПК, %	Концентрация жиров, мг/л		Эффект очистки по жирам, %	Осадок		
	до освет- ления	после освет- ления		количес- тво, м <sup>3</sup> /сут	влажность, %	зольность, %
9	10	11	12	13	14	15

вого периода и начало нормального процесса брожения определяют по рН, который должен быть равен 7—7,5, количеству летучих жирных кислот, равном или меньшем 10 мг-экв/л, и щелочности 30—40 мг-экв/л. Если влажность осадка 97% и более, то щелочность может быть равна 17—15 мг-экв/л.

После заполнения всех перегнивателей сброженным осадком выпускать его на иловые площадки следует с таким расчетом, чтобы уровень броющей массы в них понизился не более чем на 1м. С момента первого выпуска осадка на иловые площадки пусковой период осветлителей-перегнивателей считается законченным и начинается нормальная работа сооружений.

При нормальной работе перегниватель ежедневно загружают свежим осадком. Фактическая суточная доза загрузки не должна превышать расчетную.

Ежедневно после выпуска осадка из осветлителя в перегниватель содержимое его следует перемешивать насосом в течение 3—4 ч для интенсификации процесса брожения и предупреждения образования корки. Один раз в 5—10 дней сброженный осадок необходимо выпускать из перегнивателей на иловые площадки.

Количество выпускаемого из перегнивателя осадка измеряют по понижению уровня осадка в перегнивателе.

Объем выпускаемого осадка должен соответствовать объему свежего осадка, загружаемого в перегниватель, за определенный период времени.

Результаты работы перегнивателей заносят в рабочий журнал (форма 5).

Данные контроля за работой септических камер двухъярусных отстойников, метантенков заносят в журнал, аналогичный форме 5.

**Иловые площадки.** Слой одновременно наливаемого осадка на

Форма 5

Дата	Загружаемый осадок				Количе- ство за 10 сут, м <sup>2</sup>
	количество за 10 сут, м <sup>3</sup>	влажность, %	зольность, %	температура, °С	
1	2	3	4	5	6

Выгружаемый осадок			Иловая жидкость				Примечание
влажность, %	зольность, %	температура, °С	рН	щелочность, мг-экв/л	содержание летучих жирных кислот, мг-экв/л	содержание азотаммонийных солей мг/л	
7	8	9	10	11	12	13	14

карту иловых площадок обычной конструкции принимают для летнего периода 20—30 см, для зимнего — на 0,1 м ниже ограждающих валиков; для иловых площадок-уплотнителей налив осадка ведется до полного заполнения карты.

Влажность подсушенного осадка колеблется в пределах 80—70%. Для намораживания осадка зимой допускается использование 80% площади поверхности иловых площадок, а остальные 20% предназначаются для напуска на них осадка во время весеннего таяния намороженного осадка.

Нагрузку и периодичность напуска осадка на иловые площадки устанавливают в процессе эксплуатации.

Иловые площадки разгружают от накопленного осадка летом в сухую погоду, а зимой — после промерзания осадка.

Лотки, трубы и задвижки на иловых площадках следует периодически (раз в 5 дней) осматривать и в случае их засорения прочищать. После каждого напуска осадка разводящие устройства промывают сточной водой.

При перекатке осадков на большое расстояние напорные трубопроводы периодически промывают, особенно при длительных перерывах в их работе. Во время аварий напорный трубопровод должен быть все время открыт с выпуском на какую-нибудь карту иловых площадок.

Форма 6

№	Размер карты, мм	Дата	Время напуска осадка, ч-мин	Время вывозки осадка, ч-мин	Продолжительность сушки, сут	Влажность поступающего осадка, %	Количество поступающего осадка, м <sup>3</sup>	Влажность находящегося на карте осадка, %	Количество вывезенного осадка, м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



Дренажные сточные воды перекачивают в лоток перед первичными отстойниками сооружений.

В планах и сметах на эксплуатацию иловых площадок должны быть предусмотрены необходимая рабочая сила и средства для систематической вывозки осадка.

Данные об эксплуатации иловых площадок заносят в ведомость учета (форма 6).

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЗА РАБОТОЙ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

**Поля фильтрации.** Для нормальной работы полей фильтрации требуется равномерное распределение сточных вод по орошаемым участкам и картам, периодическая обработка поверхности участков, постоянный надзор и систематический текущий и капитальный ремонт сооружений, контроль за качеством очищенных стоков с полей фильтрации.

Сточные воды распределяют по картам полей фильтрации в соответствии с их пропускной способностью.

Для правильного ведения эксплуатации полей фильтрации существует посезонный план эксплуатации участков полей с необходимым кругом орошения от 2 до 10 дней в зависимости от пропускной способности участков.

При многолетней эксплуатации полей фильтрации и большом скоплении осадка на поверхности необходима их вспашка на глубину не менее 30 см. Для равномерного распределения сточных вод на поверхности карт полей фильтрации нарезают борозды. Расстояние между ними должно быть не менее 3 м.

Пуск в эксплуатацию полей фильтрации следует производить в теплый период года, желательно весной.

При осмотре полей фильтрации необходимо обратить внимание на следующее: равномерность загрузки карт (не допускать перегрузок и принимать меры против возможных переливов и аварий), состояние откосов осушительных каналов, валиков, дорог и т. п. (не происходит ли оползание откосов или просачивание воды через них), состояние дюкеров, переходов и прочих сооружений.

Перед наступлением зимы на полях фильтрации проводят специальные подготовительные работы: осмотр и прочистку труб, очистку разводных каналов от мусора, осадка, скашивание сорных трав с бровок разводных каналов, нарезку борозд для улучшения последнего орошения.

Перед весенним паводком на полях фильтрации должны быть проведены следующие работы: очистка от снега осушительных каналов и лотков, подготовка необходимого количества новых деревянных лотков для замены поврежденных, прорубка в намороженном на картах льде борозд для пропуска талых вод.

Для подготовки к эксплуатации полей фильтрации летом производятся следующие работы: ремонт и заделка аварийных выпусков, ремонт валиков, поврежденных во время таяния снега, прочистка разводных каналов от осадка, уборка накопившегося за зимний период осадка на карте у выпусков, прочистка осушительных каналов от травы, веток и пр.

Поля фильтрации эксплуатируются по составленному годовому плану с учетом пропускной способности полей и сезонности. Распределение по картам производят по графику, учитывающему производственную мощность отдельных карт.

Работу полей фильтрации освещают в форме 7.

Форма 7

Номер карты и участок	Дата	Площадь поверхности карты, м <sup>2</sup>	Плановая производительность, м <sup>3</sup> /сут	Фактическая производительность, м <sup>3</sup> /сут	Нагрузка на 1 га, м <sup>3</sup> /сут	Поступающая вода		Выходящая вода	
						БПК <sub>полн.</sub> мг/л	содержание взвешенных веществ, мг/л	БПК <sub>полн.</sub> мг/л	содержание взвешенных веществ, мг/л
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**Биологические фильтры.** Перед пуском биологических фильтров в работу необходимо проверить правильность выполнения строительно-монтажных работ. В случае применения биологических фильтров с загрузкой из естественных материалов следует обращать особое внимание на фракционный состав загрузки, соответствие ее требованиям СНиП II-32—74 (п. п. 7.77—7.79).

Наличие в загрузке мелких фракций, плиток, грязи способствует быстрому ее заилению в процессе работы биологического фильтра и нарушению работы сооружения. После засыпки в тело биологического фильтра загрузку необходимо интенсивно промыть до полного выноса крошки, образующейся при засыпке.

В начале пуска палаточных работ испытывают и налаживают устройства для распределения сточных вод по поверхности загрузки, насосы и вентиляторы. Равномерность орошения поверхности загрузки является важным условием нормальной работы биологических фильтров. Распределительные устройства налаживают на чистой воде, равномерность распределение жидкости устанавливают визуально и с помощью мерных сосудов, установленных в различных точках на поверхности загрузки биологического фильтра. Водораспределительные устройства налаживают при различных расходах подаваемой жидкости в диапазоне от минимальной до максимальной допустимой гидравлической нагрузки на биологический фильтр. Неравномерность орошения устраняют, регулируя положения дырчатых труб реактивного оросителя и спринклерных разбрызгивателей.

Биопленку на загрузке наращивают при работе биологических фильтров на контакте или в проточных условиях с постепенным увеличением подаваемого расхода сточных вод. Рекомендуется начинать процесс наращивания биопленки при работе биологических фильтров на контакте, а затем переводить их на проточный режим. Перед началом этого периода вторичные отстойники заполняют чи-

стой водой, биологические фильтры запускают в работу на чистой воде по схеме с полной рециркуляцией, при этом трубопровод сброса очищенной воды из вторичных отстойников закрывают. Степень рециркуляции жидкости устанавливают из условий обеспечения расчетной гидравлической нагрузки на биологический фильтр. Затем в приемный резервуар насосной станции (или в трубопровод для подачи воды на фильтр) добавляют сточные воды в количестве около 10% от расчетного расхода. Биологические фильтры работают на таком режиме до тех пор, пока жидкость во вторичном отстойнике не станет прозрачной (обычно через 2—3 дня). После этого в рециркуляционную систему биологических фильтров вновь добавляют сточные воды с постепенным увеличением их количества на каждом режиме. Соответственно можно увеличивать и продолжительность режима. Перед подачей сточных вод часть чистой воды из системы удаляют. Каждый переход на новый режим должен быть обоснован качеством очищенной воды (ХПК в конце режима не более 150—200 мг/л), а также составом биопленки, определяемым микроскопированием проб, отобранных с разных слоев загрузки биологического фильтра. После достижения режима с расходом подаваемых сточных вод 50—60% от расчетного биологические фильтры переводят на проточный режим работы. Устанавливается непрерывная подача сточных вод на биологический фильтр в течение работы предприятия, открывается сброс в канализацию очищенной воды из вторичных отстойников. Парашивание биопленки в проточных условиях осуществляют поэтапно, с постепенным увеличением расхода сточных вод до расчетного. Каждое последующее увеличение расхода принимают после достижения стабильного качества очищенной жидкости. Процесс парашивания биопленки можно начинать и на проточном режиме работы биологических фильтров. В этом случае в начале периода в канализацию будут сбрасываться недостаточные очищенные сточные воды.

Пуск биологических фильтров в работу лучше производить в теплое время года при температуре смеси циркулирующих и исходных сточных вод не менее 15°С. Однако наращивание биопленки можно осуществлять и зимой, подогревая рециркулирующую жидкость до указанной температуры. Общая продолжительность процесса наращивания биопленки обычно составляет 5—6 недель. Для сокращения этого периода можно использовать активный ил или избыточную биопленку из сооружений биологической очистки, которые работают на аналогичных сточных водах. Процесс парашивания биопленки в этом случае производится при работе биологического фильтра в контактных условиях. Активный ил подают на биологический фильтр вместе с рециркулирующей жидкостью, при этом необходимо либо выключить из системы вторичные отстойники, либо забирать рециркулируемую воду из осадочной части отстойника (через иловую трубу). Последующее добавление ила производят после полного его исчезновения из рециркулирующей воды. Последовательность в проведении режимов пуска остается такой же, как было указано выше. Особо тщательно в данном случае должен осуществляться контроль за количеством и видом нарастающей биопленки во избежание чрезмерного ее накопления в загрузке.

Биологические фильтры успешно работают при поддержании технологических параметров расчетного режима (нагрузка по за-

язнениям, гидравлическая нагрузка, коэффициент рециркуляции), обеспечении процесса необходимым количеством кислорода, равномерности распределения сточных вод по загрузке. В процессе эксплуатации все эти факторы необходимо непрерывно контролировать.

Биологические фильтры способны выдерживать кратковременные перегрузки по количеству подаваемых в них загрязнений и расходу сточных вод. Однако длительная работа сооружений в этих условиях может привести к изменению количества биопленки в загрузке, нарушению процесса очистки.

При нормальной работе биологического фильтра на расчетном режиме количество прирастающей биопленки соответствует ее выносу вместе с очищенной водой. Биопленка в загрузке не должна накапливаться. Временные перегрузки биологического фильтра по загрязнениям, резкие изменения температуры сточных вод могут повлечь за собой заиливание (заболоачивание) загрузки, сопровождающееся ухудшением качества очищенной жидкости. В качестве меры борьбы с заиливанием загрузки рекомендуется повысить расход циркулирующей очищенной жидкости на 20—50%, а также промывать струей воды под напором в сочетании с рыхлением верхнего слоя загрузки. После такой обработки биологические фильтры пускают в работу постепенно. В течение 1—2 дней промывают загрузку очищенной жидкостью, затем устанавливают расход сточных вод, равный 0,2—0,25% от расчетного, и далее в течение недели расход сточных вод постепенно увеличивают до расчетного.

Если такая мера не дала положительных результатов, то следует провести сытовую анализ загрузки и, убедившись в несоответствии фракционного состава загрузки, полностью или частично (верхний слой 0,5—1 м) заменить ее нормативным материалом.

Изменение расчетных параметров работы биологических фильтров может привести к ухудшению кислородного режима в сооружении. При нормальной работе биологических фильтров в очищенной жидкости содержится растворенного кислорода 4—5 мг/л и более. В случае снижения концентрации кислорода до 1—2 мг/л необходимо либо уменьшить нагрузку на биологический фильтр по загрязнениям, либо осуществить принудительную вентиляцию загрузки.

При очистке сточных вод молочных заводов на биологических фильтрах на поверхности загрузки могут образовываться скопления плесени, обусловленные развитием низших грибов. Рост грибов вызывается высокой концентрацией органических загрязнений сточных вод, подаваемых в сооружения, недостаточной гидравлической нагрузкой, изменением температурных условий. Обычно интенсивное развитие грибов наблюдается при концентрации загрязнений этих стоков по БПК более 200 мг/л. Для предотвращения этого явления следует повысить степень рециркуляции очищенной воды и увеличить гидравлическую нагрузку.

Для обеспечения равномерного распределения сточных вод по поверхности загрузки необходимо регулярно осматривать, ремонтировать и чистить водораспределительные устройства.

Засорение отверстий распределительных труб или сифонных головок оросителей устраняют сразу же после его обнаружения. Рекомендуется ежедневно прочищать отверстия и периодически промывать трубопроводы водой, которую выпускают через специальные

заглушки в отдельных участках сети труб и направляют в первичные или вторичные отстойники.

Допускается периодически промывать трубопроводы хлорной водой (концентрация хлора 5—10 мг/л).

Необходимо регулярно осматривать, периодически промывать или прочищать междонное пространство, вентиляционные каналы, а также осуществлять дренаж фильтров.

Для контроля работы биологических фильтров пробы отбирают и анализируют так же, как и на станциях биологической очистки бытовых сточных вод. Учет работы биологических фильтров производят по показателям, приведенным в форме 8.

Форма 8

Дата	Расход сточных вод, м <sup>3</sup> /сут		Состав сточных вод							
			исходных				очищенных			
	исходных	рециркулируемых	температура, °С	содержание взвешенных веществ, мг/л	ХПК, мг/л	БПК <sub>полн</sub> , мг/л	температура, °С	содержание взвешенных веществ, мг/л	ХПК, мг/л	БПК <sub>полн</sub> , мг/л
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Продолжение формы 8

Температура наружного воздуха, °С	Расход воздуха при принудительной вентиляции, м <sup>3</sup> /ч	Количество осадка, выпадающего во вторичном отстойнике, м <sup>3</sup> /сут	Влажность осадка, %	Концентрация растворенного кислорода в очищенной жидкости, мг/л	
				перед вторичным отстойником	после вторичного отстойника
12	13	14	15	16	17

**Биологические пруды.** При работе биологических прудов особенно тщательно следует контролировать концентрацию растворенного кислорода во всех ступенях прудов. Минимальная концентрация растворенного кислорода должна быть не ниже 2—3 мг/л.

При использовании аэрируемых биологических прудов необходимо осуществлять бесперебойную работу аэраторов. Обязанности эксплуатационного персонала по обеспечению работы аэраторов изложены в главе, посвященной эксплуатации аэротенков.

Учет работы биологических прудов производят по показателям, приведенным в форме 9.

Номер пруда, ступени	Площадь поверхности пруда (в м <sup>2</sup> ) и глубина, м	Расход поступающих сточных вод, м <sup>3</sup> /сут	Продолжительность пребывания сточных вод, ч	Концентрация в воде, мг/л				
				в поступающей				
				БПК <sub>полн</sub>	ХПК	взвешенных веществ	азота общего	фосфора
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Продолжение формы 9

Концентрация в воде, мг/л						Примечание
в очищенной						
БПК <sub>полн</sub>	ХПК	взвешенных веществ	азота общего	фосфора	растворенного кислорода	
10	11	12	13	14	15	16

*Примечания:* 1. Содержание азота и фосфора контролируют в биопрудах до очистки.  
2. В ведомостях учета работы аэрируемых прудов следует дополнительно фиксировать количество работающих аэраторов и продолжительность их работы.

**Аэротейки.** В период пуска аэротенка необходимо проверить соответствие всех элементов конструкции проекту, а также проверить и отрегулировать системы подачи и распределения сточных вод, испытать насосы, электроприводы, вентиляторы, наладить работу аэраторов.

Порядок проведения работ по наладке аэраторов приведен далее. Активный ил в аэротенке рекомендуется наращивать в следующей последовательности. Аэротенки заполняют смесью чистой воды и сточных вод с ХПК смеси 400—600 мг/л и включают аэраторы в работу. Жидкость в аэротенках аэрируется непрерывно в течение 2—3 сут без добавления сточных вод. Затем аэротенки выводят на проточный режим, расход сточных вод устанавливают с таким расчетом, чтобы продолжительность аэрации составила 100—120 ч. Активный ил, выпадающий во вторичном отстойнике, необходимо непрерывно перекачивать в аэротенк. Продолжительность аэрации постепенно снижают до выхода аэротенка на расчетный режим работы.

Ориентировочные данные снижения продолжительности аэрации при наращивании активного ила приведены ниже.

Продолжительность аэрации, ч	100—120	50—60	35—40	30
Продолжительность работы аэротенка на заданном режиме, сут	7—8	7—8	10—14	10—14

Переходить от одного режима работы аэротенка к следующему рекомендуется при снижении БПК<sub>полн</sub> очищенной воды до 30—20 мг/л и наличии в ней нитритов и нитратов. Концентрация кислорода в иловой смеси в аэротенке должна быть не ниже 2 мг/л.

В процессе наращивания ила следует следить за его развитием, не допуская массового размножения нитчатых бактерий. Контролируют качество биоценоза ила по видовому составу простейших.

Интенсивность аэрации в пусковой период следует поддерживать на уровне расчетной величины, так как недостаток кислорода в этот период может привести к увеличению продолжительности наращивания ила. Пуск аэротенков целесообразно осуществлять летом.

Для нормальной работы аэротенков необходимо равномерно распределять сточные воды между секциями аэротенка и осуществлять непрерывную аэрацию сточных вод в аэротенках.

Перерывы в подаче воздуха в аэротенки при аварии не должны превышать 2—3 ч. В случае более длительного прекращения подачи воздуха качество активного ила резко ухудшается, что приводит к нарушению процесса очистки при дальнейшей работе аэротенка.

Концентрацию активного ила в аэротенках следует поддерживать на расчетном уровне, осуществляя непрерывную циркуляцию ила из вторичного отстойника и периодический сброс избыточного ила.

В нормально работающем активном иле, кроме хлопьев зооглейных бактерий, встречаются в небольшом количестве мелкие и крупные инфузории, брюхооресничные колероватки. При нарушении нормальных условий работы аэротенка в нем развиваются нитчатые бактерии (*Sphaerotilus*, *Cladotrix*), ветвистая зооглея (*Zoogloea gamigera*), водные грибы и т. д. Эти растительные формы и в основном нитчатые бактерии вызывают вспухание активного ила. Такой ил плохо оседает во вторичном отстойнике и в значительном количестве выносится с очищенной водой.

Причиной вспухания ила может быть перегрузка аэротенков загрязнениями, недостаток снабжения кислородом, несоответствие между содержанием углерода, азота и фосфора в сточных водах. Перегрузка аэротенков загрязнениями обусловлена, как правило, несоблюдением регламента работы технологического оборудования, сбросами отходов производства в канализацию. Ликвидируют неблагоприятное воздействие этого фактора путем организационно-технических мероприятий на производстве, которые направлены на сокращение объема потерь продукции и отходов.

Недостаток снабжения кислородом устраняют, повышая эффективность аэрации (выравнивание аэраторов, заделка мест утечек воздуха, оптимизация работы механических аэраторов) и увеличивая количество или производительность аэрационного оборудования.

Несоответствие между содержанием углерода, азота и фосфо-

ра возникает в результате неумеренного сброса сывортки в канализацию. Сыворotka представляет собой несбалансированный субстрат, в котором содержание азота и фосфора недостаточно по сравнению с углеродсодержащими соединениями. Сброс сывортки вызывает интенсивное развитие нитчатых бактерий, вследствие чего активный ил теряет способность к осаждению. Учитывая трудности, возникающие при работе со вспухшим илом, следует уделить максимум внимания предотвращению сброса сывортки или другого вида сырья в канализацию.

Свойства активного ила восстанавливают хлорированием активного ила (нитчатые бактерии, не создающие хлопья, погибают в первую очередь), добавлением коагулянта (хлорного железа, сернокислого железа или алюминия) во вторичные отстойники, путем перевода части секций аэротенков на контактный режим.

Несбалансированность загрязнения по составу может частично компенсироваться за счет подачи иловой воды из перегнивателей и с иловых площадок. Иловая вода содержит повышенное количество соединений азота и фосфора по сравнению с содержащим в ней углеродсодержащих соединений.

Эффективность работы аэротенков с низконапорной аэрацией в значительной степени обусловлена системой распределения воздуха. Воздушные каналы должны быть герметичными в такой степени, чтобы утечки воздуха были минимальными. Места утечки обнаруживают, задымляя воздух на всасывающем патрубке вентилятора. Места выхода дыма фиксируют и неплотности заделывают.

Распределительные трубы аэраторов устанавливают строго горизонтально. Уровень установки труб аэраторов в аэротенке необходимо проверить с помощью нивелировки. Целью увеличивать или уменьшать заглубления труб относительно заданной отметки более чем на 5 мм.

Основным условием успешной работы аэратора является установка распределительных систем на одном уровне относительно друг друга и относительно систем, размещенных в других секциях аэротенка. Ошибку, допущенную при установке труб аэратора, с большим трудом можно устранить, регулируя расход воздуха.

Аэраторы регулируют следующим образом. Шибер на напорном патрубке вентилятора закрывают настолько, чтобы расход подаваемого воздуха не превышал 9—10 м<sup>3</sup>/ч на каждый 1 м<sup>3</sup> объема аэротенка. При этом расходе регулируют количество воздуха, выходящего из распределительных систем. Все задвижки на воздушных стояках открывают полностью. Последовательно прикрывая задвижки тех систем, которые пропускают больше других воздуха, добиваются равномерного распределения его между всеми системами, что определяется визуально по количеству выходящих пузырьков. Затем шибер на напорном патрубке вентилятора открывают для пропуска заданного расхода воздуха.

В процессе эксплуатации сопотивления перфорированных труб аэратора могут возрастать за счет частичного засорения отверстий. Если потери напора возросли более чем в два раза по сравнению с расчетными потерями, трубы необходимо извлечь из аэротенка и прочистить. Трубы промывают водой из шланга и продувают воздухом, если в результате этой меры засорения не устраняются, то отверстия прочищают металлическими щетками.



При эксплуатации аэротенков с механической аэрацией перед пуском в работу механических аэраторов необходимо установить, правильно ли они смонтированы.

Оси вала мешалки и электродвигателя должны быть отцентрированы с соответствующими осями редуктора, лопатки надежно закреплены на валу и не должны задевать за дно или стенки аэротенка, в жидкости, наполняющей резервуар аэротенка, должны отсутствовать предметы, которые могут попасть под лопасти мешалки и вызвать аварию аэратора.

При появлении ясно слышимого металлического звука в редукторе, свидетельствующего о ненормальной его работе, либо при появлении сильной вибрации валов, а также повышении температуры подшипников, корпусов редуктора и электродвигателя выше предельно допустимой аэраторы необходимо немедленно остановить.

Предельно допустимая температура нагревания трущихся частей, механизмов, корпусов и подшипников  $75^{\circ}\text{C}$ .

**Вторичные отстойники.** При эксплуатации отстойников необходимо добиваться равномерного распределения между ними поступающей из аэротенков смеси сточной воды и активного ила, а также равномерного удаления из отстойников уплотненного возвратного ила. Активный ил следует удалять непрерывно и по возможности полностью, не допуская залеживания его в отстойниках. Несвоевременное изъятие активного ила приводит к его загниванию и ухудшению качества очищенной воды вследствие всплывания загнивающего ила.

Расход возвратного ила, удаляемого из вторичных отстойников, определяют по формуле

$$q_{\text{и}} = D_{\text{а}}Q / (D_{\text{в}} - D_{\text{а}}),$$

где  $q_{\text{и}}$  — расход возвратного ила,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $Q$  — расход очищаемой жидкости,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $D_{\text{а}}$  — доза активного ила в аэротенках,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $D_{\text{в}}$  — концентрация возвратного ила по сухому веществу,  $\text{г}/\text{м}^3$ .

Появление на поверхности вторичных отстойников всплывших пузырьков газа и сгустков активного ила указывает на излишнее долгое пребывание активного ила в отстойниках и его загнивание.

Для борьбы с этим явлением рекомендуется увеличивать объем возвратного активного ила, прочищать днище и стенки отстойников.

Работу аэротенков и вторичных отстойников следует учитывать, заполняя форму 10.

**Аэротенки-отстойники.** Рекомендации по эксплуатации аэротенков действительны и для аэротенков-отстойников.

Наиболее сложным в эксплуатации аэротенков-отстойников является вторичный отстойник. Специфичность активного ила, культивируемого на стоках предприятий молочной промышленности, необходимо учитывать при его конструкции. Следует избегать применения отстойников с восходящим движением жидкости, поскольку вспухающий активный ил будет выноситься с очищенной водой. Особое внимание необходимо обращать на организацию циркуляционного контура активного ила. Наиболее устойчиво работают циркуляционные устройства с принудительным возвратом активного ила. Устройства, основанные на принципе эжектирования ила циркулирующим в аэротенке потоком иловой смеси, требуют более тонкой наладки и неуправляемы в эксплуатации.

## Ведомость

месячного учета работы аэротенков и вторичных отстойников

\_\_\_\_\_месяц\_\_\_\_\_год

№ пп.	Показатели	Дата				
		3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7
<i>Аэротенки</i>						
1.	Номер секции					
2.	Расход сточных вод, м <sup>3</sup> /сут					
3.	Продолжительность аэрации, ч					
4.	Расход воздуха (для аэротенка с пневматической аэрацией), м <sup>3</sup> /ч					
	Число работающих аэраторов (для аэротенков с механической аэрацией)					
5.	Концентрация активного ила, г/л					
6.	Зольность ила, %					
7.	Иловой индекс, см <sup>3</sup> /г					
8.	Концентрация растворенного кислорода, мг/л					
9.	Температура, °С					
<i>Вторичные отстойники</i>						
10.	Номер отстойника					
11.	Расход иловой смеси, м <sup>3</sup> /ч					
12.	Продолжительность отстаивания, ч					
13.	Расход осадка					
	В том числе:					
	циркулирующего ила, м <sup>3</sup> /ч					
	избыточного ила, м <sup>3</sup> /сут					
14.	Влажность и зольность осадка, %					
<i>Общие показатели</i>						
15.	Состав сточных вод, поступающих в аэротенки и очищенных (после вторичных отстойников)					
	Температура, °С					
	pH					
	Содержание взвешенных веществ, мг/л					
	в том числе прокаленных					
	ХПК, мг/л					
	БПК <sub>полн</sub> , мг/л					
	Плотный остаток, мг/л					
	в том числе прокаленный					
	Содержание азота общего, мг/л					

№ пп.	Показатели	Дата				
		3	4	5	6	7
1	2					
	в том числе аммонийного					
	Содержание, мг/л					
	нитритов					
	нитратов					
	жиров					
	16. Эффект очистки по БПК <sub>полю</sub> , %					
	17. Нагрузка по БПК <sub>полю</sub> , мг/г сухого без-					
	зольного вещества в сутки					
	18. Удельные затраты электроэнергии на 1 кг					
	БПК <sub>полю</sub> , кВт·ч/кг					

**Аэроканалы периодического действия (ЦОК)**<sup>1</sup>. Пусковой период аэроканала сводится к наращиванию активного ила в нем до рабочей концентрации 4 г/л по сухому веществу. В ходе эксплуатации эта концентрация может быть повышена до 8—10 г/л. Активный ил желательно наращивать в теплое время года (май—сентябрь) не посредственно на сточной воде, подлежащей очистке.

После заполнения аэроканала сточной водой следует аэрировать ее в течение двух суток без дополнительной подачи стоков. В последующие сутки сточные воды подают в аэроканал при ежедневном нарастании их расхода (примерно 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75 и 100% от расчетного расхода). Появление коричневого или светлорыжевого цвета иловой смеси свидетельствует, как правило, о хорошем состоянии активного ила.

Для нормальной работы аэроканала необходимо выполнять цикличность его работы и соблюдать продолжительность отдельных периодов. В зависимости от местных условий продолжительность периода отстаивания составляет 1—2 ч, выпуска очищенных сточных вод—1—2 ч. В остальное время суточного цикла работы аэроканала производят аэрирование иловой смеси.

Зимой во избежание замерзания аэраторы закрывают кожухом. В конструкции аэратора необходимо предусмотреть устройства для обогрева аэратора, обледеневшего зимой в результате остановки. Для этой цели можно использовать стационарные или переносные электронагреватели, подачу теплого воздуха под защитный щит аэратора и пр.

Избыточный активный ил, образующийся в аэроканалах, рекомендуется вывозить на поля в качестве удобрения или направлять на иловые площадки.

<sup>1</sup> Составлено на основе рекомендаций Каунасского политехнического института.

Удалять избыточный активный ил из аэроканала следует при достижении его концентрации 8—10 г/л (по сухому веществу). После удаления избыточного активного ила его остаточная концентрация в аэроканале должна быть не менее 3 г/л.

Суточный расход сточных вод рекомендуется измерять с помощью стационарной водомерной рейки, вмонтированной в аэроканал. Отсчеты уровня жидкости в аэроканале записывают ежедневно два раза при выключенных аэраторах (перед началом и в конце периода выпуска очищенных сточных вод из аэроканала).

Для контроля работы аэроканала проводят химические анализы, которые должны включать следующие определения: БПК<sub>полн.</sub>, ХПК, концентрации взвешенных веществ, рН неочищенных и очищенных сточных вод, концентрации активного ила в аэроканале по массе (в мг/г) и по объему (в мл/л), растворенного кислорода, температуры иловой смеси в аэроканале, поступающих и очищенных сточных вод.

Месячный учет работы аэроканала рекомендуется производить по форме 11.

Форма 11

Дата	Время выключения аэраторов		Время начала выпуска очищенных стоков		Время включения аэраторов		Показания водомерной рейки (в см) после	
	ч	мин	ч	мин	ч	мин	выключения аэраторов	выпуска очищенных стоков
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Рабочий объем аэроканала (в м <sup>3</sup> ) после		Расход сточных вод за последние сутки, м <sup>3</sup>	Температура, °С		Показания счетчика электроэнергии, потребляемой аэраторами, после выключения, кВт·ч	Расход электроэнергии на аэрацию за последние сутки, кВт·ч	Замечания о работе аэроканалов
выключения аэраторов	выпуска очищенных стоков		воздуха	иловой смеси			
10	11	12	13	14	15	16	17

**Примечание.** В графе 17 записывают цвет иловой смеси, появление запаха и пены, дефекты и поломки аэраторов, прекращение электроснабжения, простои аэроканала с указанием причин и времени, явления обледенения аэраторов и другие характеристики работы аэроканала.

# ЛАБОРАТОРНЫЙ КОНТРОЛЬ ЗА РАБОТОЙ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Для контроля за работой станции биологической очистки три раза в месяц производят анализ поступающих и биологически очищенных сточных вод по полной схеме.

## Схема полного анализа сточных вод

1. Год, месяц, число, часы отбора проб.
2. Место отбора проб.
3. Температура отбираемой сточной жидкости и воздуха.
4. Окраска сточных вод.
5. Запах сточных вод.
6. Содержание взвешенных веществ, мг/л  
сухих  
прокаленных
7. Содержание сухого остатка, мг/л  
сухого  
прокаленного
8. Реакция рН потенциометрическая.
9. Титруемая щелочность/кислотность в мг нормальной кислоты/щелочи.
10. Содержание хлоридов, мг/л.
11. Содержание азота общего, мг/л.
12. Содержание азота аммонийного, мг/л.
13. ХПК, мг/л.
14. БПК<sub>5</sub>, мг/л.
15. БПК<sub>полн.</sub>, мг/л.
16. Содержание жиров, мг/л.
17. Содержание нитритов, мг/л.
18. Содержание нитратов, мг/л.
19. Содержание остаточного хлора, мг/л.

Два раза в неделю анализируют сточные воды по сокращенной схеме (форма 13), три раза в неделю исследуют смесь сточных вод и активного ила из аэротенков по форме 12.

Три раза в неделю производят микроскопирование активного ила и записывают результаты наблюдений в журнал по следующей схеме: цвет активного ила, оседаемость активного ила, величина хлопья активного ила, визуальное количество воды над осевшим активным илом, наименование видов простейших микроорганизмов, часто встречающихся в иле, наименование простейших единичных микроорганизмов.

Форма 12

Дата	Место отбора проб (№ секции аэротенка)	Доза активного ила, г/л	Зольность активного ила, %	Концентрация растворенного кислорода, мг/л	Примечание
1	2	3	4	5	6

Дата	1	2	Место отбора проб												
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			Температура, °С	pH	Цвет	Запах	Концентрация взвешенных веществ (сухих), мг/л	ХПК, мг/л	БПК <sub>полн.</sub> , мг/л	Хлориды, мг/л	Нитриты, мг/л	Нитраты, мг/л	Азот общий и аммонийный, мг/л	Жиры, мг/л	Остаточный хлор, мг/л
		Исходная сточная жидкость	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Сточная жидкость													
		после первичного осветления	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		после вторичных отстойников	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		после контактного резервуара	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание. 1. Определенные БПК<sub>полн.</sub> производится один раз в неделю. 2. «+» — анализ следует проводить; «-» — анализ не проводится.

Один раз в неделю отбирают пробы осадка из песколовок, осветлителей с естественной аэрацией, один раз в две недели — из перегнивателей и с иловых площадок.

Анализы выполняют по форме 14.

Форма 14

№ пп.	Место отбора проб	Показатели					
		влажность, %	зольность, %	содержание жирных кислот, мг-экв/л	щелочность, мг-экв/л	pH	содержание азотаммонийных солей, мг/л
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Песколовка	+	+	—	—	—	—
2	Осветлители с естественной аэрацией (отстойники)	+	+	—	—	—	—
3	Перегниватели	+	+	+	+	+	+
4	Иловые площадки	+	+	—	—	—	—

Примечание. Обозначения те же, что и в форме 13.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Паспорт

состояния очистных сооружений канализации  
на действующих предприятиях Минмясомолпрома СССР

1. Наименование предприятия, мощность, т в смену \_\_\_\_\_

2. Кому подведомственно \_\_\_\_\_

3. В каком бассейне реки расположено \_\_\_\_\_

4. Почтовый адрес предприятия \_\_\_\_\_

5. Наименование и количество выпускаемой (основной) продукции в показателях народнохозяйственного плана \_\_\_\_\_

6. Данные об очистных сооружениях

Показатели	Год	Организация
------------	-----	-------------

Проект составлен  
 Строительство осуществлено  
 Пуск и наладка осуществлены

7. Стоимость очистных сооружений, тыс. руб. \_\_\_\_\_

8. Расход воды на производстве, м<sup>3</sup>/ч, м<sup>3</sup>/сут, м<sup>3</sup> в год \_\_\_\_\_

9. Источники водоснабжения предприятия: артскважина, река, озеро, пруд, шахтные колодцы и т. д. (подчеркнуть и дать количественно-качественную характеристику) \_\_\_\_\_

10. Из каких других мест (кроме самого предприятия) поступают в очистные сооружения сточные воды, в каком количестве (м<sup>3</sup>/ч, м<sup>3</sup>/сут, м<sup>3</sup> в год), их характеристика \_\_\_\_\_

11. Количество сточных вод на единицу сырья и вырабатываемой продукции, м<sup>3</sup>/т \_\_\_\_\_

12. Способ учета количества сточных вод, подаваемых на очистку или сброс \_\_\_\_\_

13. Локальная очистка (на территории предприятия): решетки, песколовки, жироловки, навозо- и каныгоуловители, грязе-, бензо- и маслоуловители, дезинфекторы и др. (подчеркнуть, дать краткую техническую характеристику) \_\_\_\_\_



14. Очистные станции:

а) механическая очистка: песколовки, решетки, отстойники, двухъярусные, вертикальные, горизонтальные, осветлители-перегниватели, радиальные, септики, иловые площадки, песковые площадки, пруды-накопители и др. (подчеркнуть, дать краткую техническую характеристику) \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

б) биологическая очистка: биофильтры, аэрофильтры, аэротенки, циркуляционные окислительные каналы, поля фильтрации, поля орошения, биологические пруды и др. (подчеркнуть, дать краткую техническую характеристику) \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

15. Имеющиеся в наличии другие очистные сооружения всех видов очистки (дать описание) \_\_\_\_\_

---

---

---

---

16. Метод и установки по обеззараживанию сточных вод (дать описание) \_\_\_\_\_

---

---

---

17. Санитарный разрыв между очистными сооружениями и жилыми, общественными зданиями, м \_\_\_\_\_

18. Количество сточных вод ( $\text{м}^3/\text{сут}$ ), на которое рассчитаны очистные сооружения, и фактическое количество сточных вод ( $\text{м}^3/\text{сут}$ ), поступающих на сооружения, их характеристика \_\_\_\_\_

---

---

---

19. Сброс сточных вод:

а) сброс после собственных очистных сооружений,  $\text{м}^3/\text{сут}$ , место сброса \_\_\_\_\_

б) в городскую канализацию или канализацию другого ведомства,  $\text{м}^3/\text{сут}$  \_\_\_\_\_

в) через ливневую канализацию,  $\text{м}^3/\text{сут}$  \_\_\_\_\_

20. Общее количество оборотной и повторно используемых на производстве вод,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ,  $\text{м}^3$  в год \_\_\_\_\_

21. Эффективность работы очистных сооружений, проектная и фактическая, по основным показателям, % (БПК, ХПК, взвешенные вещества, жиры) \_\_\_\_\_

---

---

---

---

22. Эксплуатация:

а) кто осуществляет (ответственный) \_\_\_\_\_

б) эксплуатационный штат на \_\_\_\_\_ человек \_\_\_\_\_

в) наличие ведомственной лаборатории \_\_\_\_\_

г) какой лабораторией и как часто производятся анализы сточных вод \_\_\_\_\_

23. Ежегодные затраты на эксплуатацию очистных сооружений (по элементам затрат), тыс. руб. \_\_\_\_\_

---

---

---

24. Стоимость эксплуатационных затрат, отнесенная к 1 м<sup>3</sup> сточных вод, руб. \_\_\_\_\_

25. Прочие записи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Дата _____	Директор Главный инженер (или другой техниче- ский руководитель) Ответственный за очистку	(подпись)
Печать _____		(подпись)

### Схема расположения очистных сооружений

Составил (должность, подпись) \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

*Примечания:* 1. Паспорт составляется в двух экземплярах, один из которых хранится в архиве предприятия, а другой — у лица, ответственного за эксплуатацию очистных сооружений.

2. Сведения об изменениях в очистных сооружениях в результате реконструкции или капитального ремонта вносятся в паспорт не позднее одного месяца после завершения этих работ.

3. Данные пунктов 5, 8, 11, 18, 20, 21 обновляются каждые три года.

4. К паспорту прилагаются:

- а) светокопии исполнительных чертежей, планов, разрезов;
- б) перечень предусмотренных проектом требований по обеспечению нормальной эксплуатации сооружений, его отдельных элементов, прилегающей территории;
- в) заключения местных органов по регулированию использования и охране вод о состоянии очистки;
- г) документ о согласовании условий сброса с организацией, принимающей сточные воды предприятия на очистку, или с органами по регулированию использования и охране вод (при наличии самостоятельного сброса в водные источники);
- д) копии кодовых отчетов ЦСУ по форме 2-ТП (водхоз).

## ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Дата осмотра	Техническое состояние			Срок	Отметка об исполнении
	находится в рабочем состоянии	требуется текущий ремонт, характер ремонта	требуется восстановительный или капитальный ремонт, характер ремонта		

*Примечание.* В технический журнал вносятся записи о всех выполненных работах по обслуживанию, ремонту и реконструкции очистных сооружений.

### Приложение 3

## ИЗ ПОЛОЖЕНИЯ О ПРОВЕДЕНИИ ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

### Перечень работ

*по текущему ремонту канализационных сооружений*

#### а) Трубопроводы и арматура

1. Подчеканка раструбов.
2. Заделка отдельных мест для устранения утечек.
3. Обновление указанных табличек.

#### б) Колодцы

1. Устранение отдельных свищей в стенах колодцев.
2. Заделка выпадающих кирпичей.
3. Замена отдельных ходовых скоб.
4. Ремонт лестниц.
5. Ремонт отдельных мест штукатурки.
6. Исправление лотков.
7. Отделка потревоженных люков.

#### в) Очистные сооружения

1. Ремонт штукатурки — до 10% общей площади. Заделка мелких трещин.
2. Ремонт и покраска люков, лестниц.
3. Смена отдельных скоб.
4. Ремонт воздухопроводов.
5. Ремонт изоляции — местами.
6. Смена отдельных прутьев в решетках.
7. Ремонт желобов двухъярусных отстойников.
8. Разравнивание загрузки биофильтров с дополнением загрузочного материала (до 5%), ремонт отдельных мест кладки.
9. Ремонт ограждающих валков, лотков, перегородок, иловых площадок, полей фильтрации.
10. Промывка трубопроводов, сооружений, дренажа.
11. Смена до 2% фильтроносных пластин в аэротенках.
12. Восстановление защитного слоя железобетонных конструкций.
13. Ремонт и смена отдельных труб, покраска труб.

**Периодичность осмотров и проведения работ по текущему ремонту сооружений канализации и оборудования**

№ пп.	Наименование объектов	Продолжительность (в мес) между	
		осмотрами	текущими ремонтами (по мере выявления необходимости)
1	Трубопроводы, дюкеры	2	6
2	Колодцы	2	6
3	Задвижки	2	12
4	Песколовки	6	12
5	Решетки с ручной очисткой	3	12
6	Отстойники, контактные резервуары, двухъярусные отстойники	6	12
7	Аэротенки	6	12
8	Биофильтры	2	6
9	Иловые и песковые площадки, поля фильтрации	6	12
10	Канализационные выпуски	6	12
11	Лотки и каналы на очистных сооружениях	6	12
12	Центробежные, поршневые, вакуумные насосы	1	3
13	Измерительные приборы, манометры, вакуумметры, водометры	1 1	12 24
14	Хлораторы	Ежедневно	3
15	Решетки механические	1	3
16	Дробилки молотковые	1	6
17	Илососы, илоскребы	1	3

*Перечень работ*

*по капитальному ремонту канализационных сооружений*

а) Трубопроводы или арматура сети

1. Частичная или полная замена антикоррозионной изоляции трубопровода.
2. Смена отдельных участков трубопровода без изменения диаметра труб. Протяженность участков сети, на которых допускается сплошная смена труб, не должна превышать 200 м на 1 км сети.
3. Смена отдельных труб дюкеров.

б) Колодцы

1. Ремонт клетки колодца.
2. Смена люков.
3. Набивка лотков взамен разрушенных.
4. Возобновление штукатурки.

**Примерная периодичность работ по капитальному ремонту канализационных сооружений**

№ пп.	Наименование объектов	Характер ремонта	Периодичность, годы
1	Наружная канализационная сеть	Замена поврежденных участков	По мере необходимости
2	Смотровые колодцы	—	5
3	Дюкеры	—	3
4	Приемные резервуары насосных станций	Ремонт стен, днища, перекрытий	5
5	Песколовки	Очистка от заиливания	1,5
		Ремонт стен железобетонных	5
		кирпичных	3
		Ремонт дренажа	3
		Замена деревянных шиберов, настила	5
6	Отстойники первичные и вторичные железобетонные	Ремонт	5
		Очистка от осадка	2
7	То же, кирпичные	» »	2
8	Двухъярусные отстойники	Ремонт	3
		»	5
9	Иловые и песковые площадки, поля фильтрации	Очистка от осадка	3
		Ремонт подводящей и дренажной сети, планировка откосов	3
10	Биофильтры	Смена или пересыпка загрузки	5
		Промывка верхнего слоя загрузки	1,5
		Ремонт кладки стен трубопроводов и распределительных систем	1,5
		Ремонт наружных стен и днища, ремонт трубопроводов, задвижек распределительных устройств	10
11	Аэротенки железобетонные	Частичная смена фильтровальных пластин	1,5
		Ремонт	5
12	Выпускные устройства	»	5
13	Распределительная сеть на очистных сооружениях	»	1,5
14	Илопроводы	Замена отдельных поврежденных участков	По мере необходимости
15	Решетки механические	Ремонт с заменой изношенных частей	То же
16	Решетки с ручной очисткой	Ремонт	5
17	Дробилки	Ремонт с заменой изношенных частей	1,5
18	Насосы канализационные	Полная ревизия	1,5
19	Затворы разные	Ремонт	2

в) Очистные сооружения

1. Ремонт и замена полностью гидроизоляции.
2. Ремонт и замена штукатурки и железнения.
3. Перекладка кирпичных стен и перегородок до 20% общего объема кладки.
4. Заделка течи в железобетонных, бетонных и каменных стенах и днищах сооружений.
5. Ремонт дренажа вокруг сооружений.
6. Замена люков резервуаров, решеток.
7. Замена загрузки биофильтров.
8. Смена фильтроносных пластин.
9. Замена трубопроводов и арматуры.
10. Перекладка дренажей системы иловых площадок.

*Приложение 4*

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Сточные воды мясокомбинатов и осадки, получаемые при очистке этих вод, представляют известную опасность для здоровья работающих на очистных сооружениях. Поэтому все операции, связанные с эксплуатацией или контролем за процессом, при осуществлении которых может иметь место контакт со сточными водами, необходимо выполнять с строжайшим соблюдением санитарно-гигиенических мер предосторожности.

Рабочие, непосредственно соприкасающиеся со сточными водами или осадками, должны подвергаться медицинскому осмотру не реже одного раза в год, не менее 2 раза в год проходить обследование на глистозное с последующей дегельминтизацией, а также проходить плановые профилактические прививки против кишечных инфекций.

К работам не допускаются рабочие, имеющие порезы, царапины и ссадины на руках.

Все рабочие должны быть снабжены специальной одеждой согласно действующим нормам.

На рабочих местах на очистных сооружениях и в комнатах обслуживающего персонала должны быть умывальники с горячей водой, мыло, полотенце, дезинфицирующие средства для протирки рук, столов, мытья полов и раковин, бак с питьевой водой, аптечка с набором медикаментов.

Прием пищи на рабочем месте категорически запрещается.

Для всех лиц, работающих на очистных сооружениях, должна быть обеспечена возможность пользования горячим душем и сушилкой для спецодежды.

Появление в спецодежде в местах приема пищи и цехах пищевых производств запрещается.

При взятии проб сточной воды для анализов рабочие должны быть обеспечены резиновыми перчатками, защитными очками и специальными приспособлениями для выемки проб.

Производство работ по ремонту оборудования допускается только после его освобождения от воды и осадка.

При остановке на ремонт или по какой-либо другой причине все

резервуары, содержащие сырую (необработанную) сточную воду, должны быть освобождены не позже чем через 6 ч с момента установки во избежание образования и выделения в атмосферу дурнопахнущих и ядовитых веществ.

Эксплуатационный персонал должен руководствоваться и, безусловно, соблюдать действующие «Правила безопасности при эксплуатации водопроводно-канализационных сооружений».

При брожении осадка в перегнивателе образуется метан, который в смеси с воздухом может образовать взрывную смесь. Поэтому на осветлителях-перегнивателях и на расстоянии 5 м от них воспрещается курить, ударять металлом о металл. О взрывоопасной зоне должно быть сообщено на плакатах, размещаемых на самих сооружениях и на подходе к ним.

Дежурный рабочий должен постоянно следить за исправным состоянием перекрытий осветлителей-перегнивателей и их ограждений. При осмотре перегнивателей и иловых колодцев следует пользоваться светильниками с взрывобезопасной арматурой. За полчаса до осмотра необходимо открыть 2 люка для выпуска скопившегося газа. Люки осветлителей-перегнивателей и колодцев должны быть постоянно закрыты и открываться в случае надобности только дежурным рабочим. Рядом с осветлителем-перегнивателем должен находиться спасательный круг с веревкой.

Во избежание взрывов и отравлений необходимо тщательно следить за состоянием сооружений, не допуская проведения работ, которые могут дать образование искры, без предварительного проветривания и проверки участка на загазованность.

Вход на загазованный участок разрешается только в изолирующих шланговых или кислородных противогазах.

Все подходы, подъезды, мостки, лестницы, ограждения очистных сооружений должны быть чистыми и исправными. При производстве их ремонта необходимо предпринимать временные меры по обеспечению безопасности обслуживания очистных сооружений.

Все ремонтные работы движущихся или находящихся под напряжением электрического тока механизмов производятся только после их гарантированной остановки и отключения от электросети.

Измерительные приборы для контроля за работой сооружений и агрегатов должны быть исправными во избежание аварий и несчастных случаев.

Категорически запрещаются выход за ограждения и проход по стенкам и бортам сооружений, по трубопроводам для воздуха, жидкости, осадка.

Персонал химической лаборатории при очистной станции при производстве анализов должен руководствоваться общими правилами по технике безопасности при работе с ядовитыми, огнеопасными и взрывоопасными веществами.

При работе с жидким хлором и хлорной известью соблюдать помимо общих следующие правила техники безопасности:

а) все хлораторные и расходные склады хлора должны быть оснащены защитными средствами в соответствии с утвержденным табелем оснащения. Указанные средства должны храниться в отдельном помещении с входом с улицы;

б) обслуживающий хлораторную персонал должен хорошо знать инструкции, уметь пользоваться средствами защиты (обучается путем тренировочных занятий) и уметь ликвидировать аварию,



вызванную повреждением бочек, баллонов с хлором, хлоропроводов и т. д.;

в) к работе в хлораторной допускаются лица, сдавшие гостехэкзамен;

г) все работы, связанные с устранением утечки хлора, необходимо проводить в противогазах марки В;

д) опробование баллонов производить в противогазах и резиновых перчатках на открытом воздухе. Смену баллонов на весах и переклочение производить только в противогазах. Ставить баллоны, прислонив к стене здания хотя бы временно, категорически запрещается. Ставить можно только в специальные гнезда. Оставлять баллоны вблизи нагревательных приборов запрещается;

е) прежде чем войти в помещение хлораторной, необходимо включить вытяжную вентиляцию;

ж) при обнаружении утечки хлора место утечки поливают водой, в результате чего образуется обледенение, временно задерживающее утечку. Если устранить утечку невозможно, баллон с хлором вывозят в аварийный колодец с раствором извести;

з) хлораторщик во время работы никогда не должен для отогрева замерзших трубок пользоваться огнем — только тряпками, смоченными в горячей воде;

и) для работы с баллонами и хлоропроводами, находящимися под давлением, запрещается применять ударные инструменты;

к) запрещается переносить баллоны с хлором вручную во избежание падения;

л) во избежание пожара и взрыва в хлораторских запрещается курить.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архипченко И. А.* ДНК критерий живой биомассы активного ила очистных сооружений. Межвузовский тематический сборник трудов. — Л.: ЛИСИ, 1976, № 5, с. 103—105.
2. А. с. 406806 (СССР). — Б. И., 1973, № 26.
3. А. с. 537955 (СССР). — Б. И., 1976, № 45.
4. А. с. 567675 (СССР). — Б. И., 1977, № 29.
5. А. с. 155456 (СССР). — Б. И., 1963, № 12.
6. *Во Ким Лонг.* Очистка сточных вод мясокомбинатов в биологических прудах в условиях Вьетнама. Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. [Рукопись]. Л., 1978. 165 л. Библиогр.: 11 л.
7. *Временные* укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для предприятий мясной и молочной промышленности. — М.: Минмясомолпром СССР, 1975. — 32 с.
8. *Герасимов И. В.* Очистка сточных вод общего стока ИПЗ постоянным электрическим током с применением флотации. — Труды Уфимского нефтяного института, 1960, вып. III, с. 231—239.
9. *Голубовская Э. К., Сафронова Л. В., Феофанов Ю. А.* Микрофлора биофильтра, очищающего сточные воды молокозавода. — Сборник научных трудов ЛИСИ, 1971, № 69, с. 47—55.
10. *Гуревич Р. И.* Исследование процесса и разработка технологии пенной сепарации. Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук [Рукопись]. М., 1970. 149 л. Библиогр.: 6 л.

11. *Дмитриев В. Д., Семенов В. И.* Применение электролитического метода очистки загрязненных вод в схеме оборотного водоснабжения завода стекловолокна. — В сб.: Краткие содержания докладов XXXI научной конференции ЛИСИ. Л., 1973, с. 19—22.
12. *Дмитриев В. Д., Семенов В. И.* Очистка загрязненных вод производства стекловолокна электролитическим методом с целью водооборота. — В кн.: Материалы семинара «Изучение опыта работы по охране воздушного бассейна и водных ресурсов от загрязнений». Л., 1973, с. 43—47.
13. *Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д.* Канализация промышленных предприятий. — М.: Госстройиздат, 1962. — 592 с.
14. *Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д.* Методы очистки производственных сточных вод. — М.: Стройиздат, 1977. — 204 с.
15. *Иванов Г. В., Абалеева Т. И.* Очистка жирсодержащих сточных вод методом пенной сепарации в лабораторных условиях. — В кн.: Исследование сетей и сооружений систем водоснабжения и канализации. Л., 1978, с. 159—163.
16. *Иванов Г. В., Во Ким Лонг.* Исследования очистки сточных вод мясокомбинатов в опытной установке биологических прудов с учетом предварительной их очистки электрокоагуляцией. Межвузовский тематический сборник трудов. — Л.: ЛИСИ, 1977, № 7, с. 102—110.
17. *Иванов Г. В., Дмитриева Л. П.* Очистка жирсодержащих сточных вод во флотомашинных импеллерного типа. — Сборник трудов ЛИСИ, 1975, № 103, с. 111—120.
18. *Иванов Г. В., Дмитриева Л. П., Хмельнова Т. А.* Состав и свойства пены, образующейся в процессе очистки жирсодержащей сточной жидкости методом напорной флотации. Межвузовский тематический сборник трудов. — Л.: ЛИСИ, 1978, № 8, с. 152—158.
19. *Иванов Г. В.* Исследование осветлителей для сточных вод. Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. [Рукопись]. Л., 1959. 206 л. Библиогр.: 5 л.
20. *Иванов Г. В., Унгурияну Д. В.* Расчет биологических прудов для очистки фекалосодержащих стоков сланцеперерабатывающих предприятий. — В кн.: Материалы XXIX научной конференции ЛИСИ. Л., 1970, с. 41—45.
21. *Канализация* [Яковлев С. В., Карелин Я. А., Жуков А. И., Колобанов С. К.]. — М.: Стройиздат, 1975. — 632 с.
22. *Канализация* промышленных предприятий [Жуков А. И., Демидов Л. Г., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. и др.]. — М.: Стройиздат, 1969. — 368 с.
23. *Карелин Я. А., Репин Б. М.* Биохимическая очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности. — М.: Пищевая промышленность, 1974. — 163 с.
24. *Кузнецова Г. М., Степанова О. А.* Использование физико-химических способов предварительной очистки сточных вод мясокомбинатов. Минмясомолпром СССР. Обзорная информация. Серия «Мясная промышленность». 1977, № 23. — 47 с.
25. *Лукиных Н. А., Липман Б. Л., Криштул В. П.* Методы доочистки сточных вод. — М.: Стройиздат, 1978. — 156 с.
26. *Малиновский М. А.* Флотационные методы обогащения полезных ископаемых. — М.: ВЗПИ, 1960. — 220 с.
27. *Малько В. Ф.* Исследование удаления нерастворимых

веществ при электрофлотации сточных вод. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Киев, 1973.—26 с.

28. *Матвеевко Н. В.* Пенная сепарация. — В сб.: Пенная сепарация. М., 1971, с. 16—23.

29. *Матов Б. М.* Электрофлотационная установка с растворимыми анодами. — Электронная обработка материалов, 1966, № 4, с. 94—96.

30. *Матов Б. М.* Электрофлотация — новос в очистке жидкости. — Кишинев: Картя молдавсаяскэ, 1971. — 184 с.

31. *Мацнев А. И., Рогов В. М.* Полупроизводственные исследования по применению метода электрокоагуляции — флотации для очистки сточных вод кожзавода и меховых фабрик. — В сб.: Тезисы докладов II украинского республиканского семинара «Прогрессивные решения в области очистки сточных вод». Харьков, 1972, с. 210—214.

32. *Мацнев А. И., Рогов В. М.* Применение электрокоагуляции — флотации для очистки сточных вод кожзаводов. — В кн.: Материалы научно-технической конференции «Прогрессивные методы очистки природных и сточных вод». сб. 2., М., 1971, с. 18—19.

33. *Мейнк Ф., Штоф Г., Кольшюттер Г.* Очистка промышленных сточных вод. — Л.: Гостоптехиздат, 1963. — 646 с.

34. *Мишуков Б. Г., Феофанов Ю. А., Калинина—Шувалова С. Ф.* Исследования по предварительной очистке сточных вод предприятий молочной промышленности. Межвузовский тематический сборник трудов. — Л.: ЛИСИ, 1976, № 5, с. 119—123.

35. *Очистка сточных вод на предприятиях мясной промышленности Чехословакии* (под ред. Г. И. Кузнецовой). Серия Мясная промышленность. — М.: ЦНИИПТЭК, 1972. — 49 с.

36. *Пенная сепарация.* Сборник статей по материалам научно-технической конференции Государственного комитета по науке и технике. М., 1971. — 120 с.

37. *Песексон И. Б.* Исследования по очистке сточных вод мясокомбинатов от жиров. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1968. — 20 с.

38. *Петру А.* Промышленные сточные воды: перевод с чешского Г. В. Сидорина. — М.: Стройиздат, 1965. — 327 с.

39. *Правила безопасности при производстве водорода методом электролиза воды.* — М.: Металлургиздат, 1971. — 435 с.

40. *Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами.* М., 1975. — 38 с.

41. *Правила устройства электроустановок.* — Л.: Энергия, 1964. — 62 с.

42. *Разумовский Э. С., Медриш Г. Л., Казарян В. А.* Очистка и обеззараживание сточных вод малых населенных пунктов. — М.: Стройиздат, 1978. — 152 с.

43. *Рапопорт Я. Д.* Исследование технологических процессов обработки воды при использовании электролитических коагулирующих растворов. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. М., 1970. — 23 с.

44. *Ребиндер П. А.* Конспект общего курса коллоидной химии. — М.: Изд-во МГУ, 1949. — 112 с.

45. *Ребиндер П. А.* Физико-химия флотационных процессов. — М.: ОНТИ, 1933. — 230 с.

46. *Рекомендации по расчету экономической эффективности научно-технических мероприятий в области очистки природных и сточных вод.* — М.: Госстрой, ВНИИ ВОДГЕО, 1979. — 301 с.

47. *Репин Б. Н., Русина О. И., Афанасьева А. Ф.* Биологические пруды для очистки сточных вод пищевой промышленности. — М.: Пищевая промышленность, 1977. — 197 с.

48. *Рогов В. М.* Применение электрокоагуляции-флотации для очистки сточных вод, содержащих высокодисперсные загрязнения. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Новочеркасск, 1973. — 25 с.

49. *Родзиллер И. Д.* Аэрируемые биологические пруды для доочистки сточных вод. — Водоснабжение и санитарная техника, 1973, № 8, с. 5—9.

50. *Смолюков В. В.* Биохимическая очистка сточных вод мясокомбинатов после их обработки электрофлотокоагуляцией. Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук [Рукопись]. — Л., 1977. 203 л. Библиогр.: 13 л.

51. *Совещание* руководителей водохозяйственных органов стран — членов СЭВ. Информационный бюллетень по водному хозяйству. Доклад по теме № 10 «Очистка промышленных сточных вод». М., 1967, с. 77—86.

52. *Справочник* проектировщика промышленных жилых и общественных зданий и сооружений. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. — М.: Госстройиздат, 1963. — 456 с.

53. *Стахов Е. А.* Классификация флотационных установок с выделением воздуха из раствора и характеристика механизма образования флотоагрегатов. — В кн.: Межвузовский тематический сборник трудов, 1977, № 6, с. 124—130.

54. *Стахов Е. А.* Исследование палорного резервуара со струйной аэрацией. Известия вузов. Строительство и архитектура. Новосибирск, 1975, № 3, с. 124—127.

55. *Строительные нормы и правила.* Ч. II. М., 1975, с. 88.

56. *Томашев Н. Д.* Теория коррозии и защиты металлов. — М.: Изд-во АН СССР, 1959. — 592 с.

57. *Указания по строительному проектированию предприятий, зданий и сооружений пищевой промышленности.* СН 124—72. — М.: Стройиздат, 1973. — 111 с.

58. *Укрупненные нормы расхода воды и количества сточных вод на единицу продукции для различных отраслей промышленности.* — М.: Стройиздат, 1978. — 583 с.

59. *Унгуриян Д. В.* Очистка производственных сточных вод в биологических прудах. — Кишинев: Штилица, 1975. — 89 с.

60. *Федоров И. Ф., Шифрин С. М.* Канализация. — М.: Высшая школа, 1968. — 592 с.

61. *Феофанов Ю. А., Дулов О. И.* Исследование гидродинамических характеристик биофильтров с пластмассовой загрузкой. — В кн.: Сооружения по очистке природных и сточных вод. Межвузовский сборник — Л.: ЛИСИ, 1977, № 7, с. 75—79.

62. *Феофанов Ю. А., Калинина—Шувалова С. Ф.* Разработка схемы локальной очистки сточных вод молочных заводов с применением электролитических методов. Межвузовский тематический сборник трудов. — Л.: ЛИСИ, 1977, № 6, с. 130—134.

63. *Феофанов Ю. А., Калинина—Шувалова С. Ф.* Исследования

по очистке сточных вод предприятиями молочной промышленности методом электрокоагуляции. Межвузовский тематический сборник трудов. — Л.: ЛИСИ, 1977, № 6, с. 134—138.

64. *Феофанов Ю. А.* К расчету интенсивности воздухообмена в биологических фильтрах, работающих с естественной вентиляцией. Межвузовский сборник трудов. — Л.: ЛИСИ, 1972, с. 86—93.

65. *Фридрихсберг Д. А.* Курс коллоидной химии. — Л.: Химия, 1974. — 351 с.

66. *Черкинский С. М.* Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы. — М.: Стройиздат, 1971. — 206 с.

67. *Шифрин С. М., Иванов Г. В., Юценко В. Д.* Лабораторные исследования по очистке общего стока мясокомбината методом электрокоагуляции — флотации. Межвузовский тематический сборник научных трудов. — Л.: ЛИСИ, 1975, № 3, с. 101—108.

68. *Шифрин С. М., Иванов Г. В., Юценко В. Д.* Очистка сточных вод мясокомбинатов на производственной электрокоагуляционной установке (ЭФК-У). — В сб.: Материалы научно-технической конференции. Иркутск, 1975, с. 12.

69. *Шифрин С. М., Мишуков Б. Г.* Очистка сточных вод предприятий молочной промышленности. — М.: Пищевая промышленность, 1968. — 117 с.

70. *Шифрин С. М., Соломахин И. И.* Очистка сточных вод мясокомбинатов. — Водоснабжение и санитарная техника, 1964, № 4, с. 18—21.

71. *Шифрин С. М., Мишуков Б. Г., Феофанов Ю. А.* Гидродинамическая модель высоконагружаемого биологического фильтра. — В кн.: Санитарная техника. Сборник докладов 29-й научной конференции ЛИСИ, Л., 1971, с. 68—72.

72. *Шифрин С. М., Мишуков Б. Г., Феофанов Ю. А.* Расчет высоконагружаемых биологических фильтров для очистки сточных вод молочных заводов. — В кн.: Санитарная техника. Сборник докладов 29-й научной конференции ЛИСИ, Л., 1971, с. 65—68.

73. *Шифрин С. М., Феофанов Ю. А., Дулов О. И.* Установка по биохимической очистке сточных вод — биофильтр — стабилизатор. Межвузовский тематический сборник трудов. — Л.: ЛИСИ, 1977, № 7, с. 72—75.

74. *Шифрин С. М., Феофанов Ю. А.* Очистка сточных вод городских молочных заводов на биофильтрах. — В кн.: Исследования по водоснабжению и канализации. Сборник трудов ЛИСИ, 1966, № 50, с. 119—127.

75. *Шифрин С. М., Феофанов Ю. А.* Очистка сточных вод молокоперерабатывающих заводов на двухступенчатых биофильтрах с перемежающимся орошением. — В кн.: Санитарная техника. Сборник докладов 25-й научной конференции ЛИСИ, Л., 1967, с. 20—23.

76. *Шифрин С. М., Чеснова Л. М.* Осветлители-персептиватели для очистки сточных вод. — Л.: Стройиздат, 1970. — 112 с.

77. *Юценко В. Д.* Исследования по предварительной очистке сточных вод мясокомбинатов методами электрофлотации и электрокоагуляции. Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук [Рукопись]. Л., 1976, 151 л. Библиогр.: 12 л.

78. *Яковлев С. В., Воронов Ю. В.* Биологические фильтры. — М.: Стройиздат, 1975. — 136 с.

79. *Ярославский З. Я.* Исследование электрокоагуляторов для

очистки воды. — Труды ВНИИГим им. Костякова, 1965, т. 43, с. 293—301.

80. Ярославский З. Я., Николадзе Г. И., Долгонос Б. М. Электрохимическая обработка питьевых вод на электрокоагуляторах с биполярной схемой соединения электродов.—Труды ВНИИГим им. Костякова, 1970, т. 49, с. 75—94.

81. *Balvat G.* Sewage and Industrial Wastes, 1957, 29, N 7.

82. *Dhandapani Thiromurthi.* Design criterion for Waste Stabilization ponds. J. W. P. C. F. 1974, VI. 46. N 9., p. 2094—2106.

83. *Eckenfelder W. W., O'Connor D. J.* Biological Waste treatment. Oxford—London—New-Jork—Paris, 1961.

84. *Gruhler J. F., Theile G.* Abwasser aus gleichverarbeitenden Betrieben. Wasserwirtschaft—Wasser technik, 1973, N 3, p. 85—89.

85. *Oswald W. J.* Fundamental factors in Stabilization pond design. Int. j. A. Water Pollution, 1963, 5, p. 357—393.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### Предисловие 3

### ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МЯСНОЙ И МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 5

Сточные воды мясокомбинатов 5. Сточные воды предприятий молочной промышленности 11.

### ГЛАВА 2. ЛОКАЛЬНАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МЯСОКОМБИНАТОВ 19

Очистка сточных вод от навоза 19. Очистка сточных вод от каньги 20. Очистка сточных вод от жира 21. Очистка сточных вод санитарных босен от каньги, жира и бактериальных загрязнений 62

### ГЛАВА 3. ЛОКАЛЬНАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ 63

Очистка сточных вод от жира 63. Обработка использованных растворов от централизованной мойки оборудования 77.

### ГЛАВА 4. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ОБЩЕГО СТОКА ПРЕДПРИЯТИЙ МЯСНОЙ И МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ОБРАБОТКА ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД 79

Механическая очистка 79. Обработка осадка 97.

### ГЛАВА 5. БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ 99

Очистка сточных вод на полях фильтрации 99. Очистка сточных вод в биологических прудах 101. Доочистка сточных вод в биологических прудах 110.

### ГЛАВА 6. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НА БИОЛОГИЧЕСКИХ ФИЛЬТРАХ 118

Сущность процесса очистки сточных вод на биологических фильтрах 118. Конструкции биологических фильтров 128. Технологические схемы и показатели работы биологических фильтров 133. Расчет биологических фильтров 149. Биофильтры-стабилизаторы 165.

### ГЛАВА 7. ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОТЕНКАХ 170

Сущность процесса очистки сточных вод в аэротенках 170. Конструкции аэротенков, аэротенков-отстойников 182. Расчет аэротенков 192. Расчет аэраторов 200. Циркуляционные окислительные каналы 208.

### ГЛАВА 8. ДЕЗИНФЕКЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД И ВЫПУСК ИХ В ВОДОЕМ 209

Способы хлорирования сточных вод 209. Оборудование и сооружения для хлорирования сточных вод 210. Выпуск очищенных сточных вод в водоем 215.

### ГЛАВА 9. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЧИСТНЫХ СТАНЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЗА РАБОТОЙ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ 216

Схемы очистных станций 216. Техничко-экономические показатели различных схем очистных станций 228. Условия нормальной работы очистных сооружений 235. Технологический контроль за работой сооружений механической очистки сточных вод и обработки осадка 237. Технологический контроль за работой сооружений биологической очистки 243.

Лабораторный контроль за работой очистных сооружений 255.

Приложения 257.

Список использованной литературы 267.