

A lush green forest scene with a stream flowing over large, moss-covered rocks. The water is clear and creates small cascades. The surrounding vegetation is dense and vibrant green.

Б.С. Ксенофонов

ОЧИСТКА ВОДЫ И ПОЧВЫ ФЛОТАЦИЕЙ

“НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ”

Б.С. Ксенофонов

ОЧИСТКА ВОДЫ И ПОЧВ ФЛОТАЦИЕЙ

00-195
~~195~~
205

Новые технологии • Москва • 2004

НПФ "ЭКОТОН"
технический контроль
продукции

УДК 628.54: 628.33

Ксенофонтов Б.С.

К86 Очистка воды и почвы флотацией. М.: Новые технологии.

2004. 224 с., ил.

ISBN 5-94694-013-9

Рассмотрены технологические и аппаратные аспекты флотационной очистки сточных вод, почв и грунтов, преимущественно от гидрофобных загрязнений, например, нефтепродуктов, масел, жиров. Значительное внимание уделено рассмотрению флотации как многостадийного процесса и созданию на основе этой концепции комбинированных флотационных машин и аппаратов. Освещены вопросы интенсификации флотационного процесса с применением коагулянтов и флокулянтов. Приведены примеры расчета локальных очистных сооружений и устройств, применяемых при флотации.

Предназначена для инженерно-технических работников промышленных предприятий, научно-исследовательских и проектных институтов, а также для аспирантов и студентов старших курсов университетов экологического профиля.

ISBN 5-94694-013-9

© Ксенофонтов Б.С., 2004

Введение

Разработка новых способов и установок для очистки воды и почвы является актуальной проблемой для всех стран мирового сообщества, в том числе и наиболее развитых государств. То, что произошло у берегов Испании в начале XXI века, когда после аварии танкера вручную вылавливали комки мазута из морской воды, было грустно наблюдать.

Развитие новых технологий обезвреживания отработанных водных потоков, почв и грунтов, в том числе от нефтезагрязнений, должно стать одним из приоритетных направлений в практике улучшения экологической обстановки в большинстве государств, особенно нефтедобывающих.

В России в последние годы в основном разрабатываются микробиологические способы очистки воды и почвы, в том числе и от нефтезагрязнений. При этом предлагаются способы очистки не только поверхностных стоков и почвы, но и технологии обезвреживания грунтовых вод от таких вредных загрязнений как фенолы, бензин и керосин и др.

Проведенные нами исследования во ФГУП «ГосНИИсинтезбелок» и на кафедре «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э.Баумана показали, что наиболее практичной технологией обезвреживания воды и почвы, в том числе от нефтезагрязнений, является комплексная, включающая использование как физико-химических так и микробиологических способов. При этом из физико-химических способов приоритет следует отдать флотации, нашедшей весьма широкое распространение в практике обогащения полезных ископаемых при выделении гидрофобных веществ из перерабатываемых пульп.

В предлагаемой читателю книге отражены материалы как по новым способам очистки почвы, так и результаты многолетних исследований и внедрения флотационной технологии очистки сточных вод, описанных в изданной недавно книге автора «Флотационная очистка сточных вод». – М.: Новые технологии. 2003. Эта книга быстро разошлась по читательским адресам, что и побудило автора оставить материал этой книги без изменения и только дополнить новыми способами очистки почвы и грунтов.

Как и в любом издании, в предлагаемой книге могут быть отдельные неточности, и поэтому автор заранее благодарен читателям за возможные замечания и отзывы.

Глава 1. Основные способы флотационной очистки сточных вод

Флотационная техника используется при решении экологических проблем преимущественно в процессах очистки сточных вод, содержащих гидрофобные загрязнения, и при сгущении активного ила. Для очистки сточных вод чаще всего применяют флотационные машины и аппараты напорного механического, пневматического типа, а также электрофлотаторы. И только в отдельных случаях известно использование аппаратов химической и биологической флотации. Использование флотационной техники с различными способами аэрации обусловлено присутствием в сточных водах частиц, обладающих хорошо выраженными гидрофобными свойствами. К ним относятся, например, нефтепродукты, жиры, масла, а также частицы, имеющие поверхность, как с гидрофобными, так и с гидрофильными участками, например, клетки микроорганизмов, торф [1–4].

Наиболее широкое распространение в процессах очистки сточных вод и сгущения осадков получила *напорная флотация*. Это объясняется тем, что в аппаратах напорной флотации при снижении давления пузырьки выделяются непосредственно на поверхности гидрофобных частиц. В этих случаях не требуется обеспечивать столкновение частиц с пузырьками для образования флотокомплекса, обуславливающее, в конечном счете, перевод частиц в пену.

Обычно при флотационной очистке сточных вод приходится иметь дело с очень тонкими частицами, вероятность столкновения которых с пузырьками очень низкая. Мелкие частицы относятся в сторону от пузырьков омываемыми потоками и тем в большей степени, чем меньше масса частицы и больше диаметр пузырька. Для мелких частиц требуется большая поверхность раздела газ-жидкость, чем для крупных. В аппаратах напорной флотации пузырьки на порядок меньше (0,2 мм), чем в механических, пневмомеханических, пневматических флотомашинах (1...3 мм), а,

следовательно, в них при меньшей аэрированности обеспечивается значительно большая поверхность раздела газ-жидкость.

Напорная флотация применяется для флотационной очистки сточных вод от жиров, нефтяных загрязнений, масел и др.

Примущество этого способа перед другими основано на том, что выделение пузырьков газовой фазы происходит непосредственно на частицах загрязнений, находящихся в сточной воде. Образующиеся флотокомплексы «частица-пузырек газа (воздуха)» затем всплывают, образуя пенный слой.

Но скорость всплывания таких флотокомплексов, например, в случае флотационного сгущения активного ила, мала и составляет примерно 1...3 мм/с, что приводит к большим значениям времени пребывания разделяемой суспензии во флотационном аппарате и повышенным габаритам этого аппарата. Другим существенным недостатком этого способа флотации является то, что насыщение газом (воздухом) сточных вод ограничено, согласно закону Генри, давлением, при котором происходит растворение газа (воздуха) в воде, и температурой воды. В случае очистки стоков с повышенной температурой (40...60°C) резко уменьшается растворимость воздуха и, следовательно, эффект очистки падает в несколько раз.

В меньших масштабах применяются вакуумные установки, в которых флотация тоже обеспечивается пузырьками воздуха, выделяющимися из раствора. Это связано с большой сложностью аппаратного оформления. Вакуумные установки необходимо сооружать геометрически закрытыми для поддержания вакуума и для вывода очищенной воды из резервуара с пониженным давлением. Для этого необходимо поддерживать разность уровней воды во флотационной камере и сооружении, в которое поступает очищенная вода.

В этой связи вакуумная флотация не получила широкого распространения в промышленной практике.

Наряду с напорной флотацией высокой эффективностью отличается *электрофлотационный способ* очистки сточных вод. Выделяющиеся при электролизе очищаемой жидкости пузырьки водорода и кислорода отличаются высокой флотационной активностью. Эффект электрофлотационной очистки в ряде случаев бывает весьма высоким, например, при очистке нефтесодержащих сточных вод достигает

85...99%. Проведенные нами исследования по очистке нефтесодержащих сточных вод показали, что при использовании этого способа могут быть достигнуты значения концентраций нефтепродуктов в очищенной воде в пределах 0,01...0,5 мг/л. Сравнительные результаты, полученные нами при очистке нефтесодержащих сточных вод электро- и напорной флотацией, приведены в табл.1.

Таблица 1

Концентрация нефтепродуктов в исходной и очищенной воде

Режим очистки сточных вод	Концентрация нефтепродуктов, мг/л	
	исходная вода	очищенная вода
Напорная флотация: давление в сатураторе 0,3 МПа, время флотации 20 мин (без рабочей жидкости)	46,4	14,5
Напорная флотация: давление в сатураторе 0,6 МПа, время флотации 20 мин (без рабочей жидкости)	46,4	11,2
Напорная флотация: давление в сатураторе 0,6 МПа, время флотации 20 мин (с рабочей жидкостью, составляющей 50% от расхода исходной воды)	46,4	5,2
Электрофлотация: плотность тока 8 мА/см ² , время флотации 20 мин (дюралюминиевый анод)	28,3	3,6
Электрофлотация: плотность тока 20 мА/см ² , время флотации 30 мин (дюралюминиевый анод)	28,3	0,2
Электрофлотация: плотность тока 20 мА/см ² , время флотации 40 мин (дюралюминиевый анод)	28,3	0,04

Анализ представленных в табл.1 усредненных экспериментальных данных свидетельствует о высокой эффективности очистки нефтесодержащих сточных вод электрофлотацией. При этом затраты электроэнергии на 1 м³ очищаемой жидкости составляют

2,5...4 кВт·ч, а расход металла за счет растворения анода составляет 3...10 г, что характеризует этот способ как энерго- и материалоемкий. Кроме того, эффективность процесса электрофлотационной очистки с течением времени начинает уменьшаться примерно через 10...20 ч после включения установки. В этой связи в практике очистки сточных вод получили применение только электрофлотаторы небольшой производительности (примерно до 25 м³/ч), которые по ряду показателей близки к аппаратам напорной флотации.

Пневматические флотационные машины по сравнению с напорными и электрофлотационными аппаратами отличаются меньшими энергозатратами и более высокой производительностью, хотя и уступают по эффективности очистки. В этой связи пневматические флотационные машины используются преимущественно на стадии предварительной очистки для извлечения наиболее легкофлотируемых гидрофобных загрязнений.

В последние десятилетия получила развитие практика использования флотационных пневматических машин колонного типа с камерами большого объема в процессах обогащения полезных ископаемых. Однако в практике очистки сточных вод и сгущения осадков пневматические флотационные машины, в том числе и колонного типа, пока не получили такого широкого применения по сравнению, например, с напорными флотаторами из-за невысокой степени очистки сточных вод. Следует отметить, что пневматический способ получил наиболее широкое распространение в процессах биохимической очистки сточных вод, а именно в аэротенках и окситенках, а также при флотационном обогащении полезных ископаемых.

Флотационная очистка сточных вод в машинах *механического типа*, хотя известна давно, но используется гораздо реже, чем напорная флотация. Во многом это объясняется, по-видимому, более сложным аппаратным оформлением, а также меньшими возможностями применения машин этого типа для очистки сточных вод. Сущность процессов, происходящих в камере флотационной машины механического типа, состоит в диспергировании воздуха с помощью вращающегося импеллера (мешалки). При вращении импеллера с окружной скоростью порядка 10 м/с возникает разрежение в областях,

прилегающих к концам вращающихся лопастей импеллера, вследствие чего происходит подсос воздуха из атмосферы и его диспергирование на мелкие пузырьки. Такая развитая поверхность газовой фазы эффективно взаимодействует с гидрофобными веществами, например, с жирами, нефтепродуктами. Образующиеся флотокомплексы всплывают, образуя пенный слой, который удаляется специальным устройством – пеногоном.

Эффективность очистки сточных вод механической флотацией подтверждена нами при извлечении жира и других ингредиентов из промывочных вод (рис. 1 и 2).

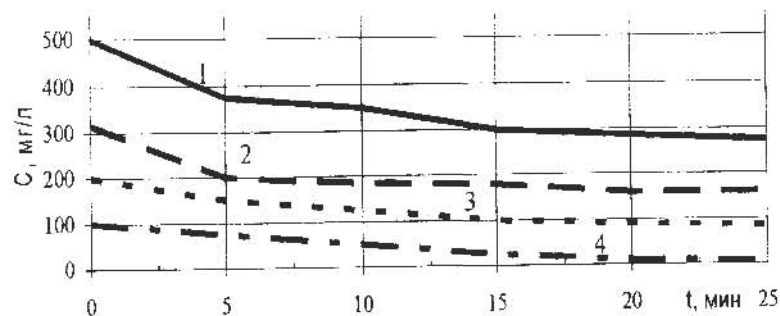


Рис. 1. Влияние времени флотации t на содержание ингредиентов C в промывочной (сточной) воде:

1 – взвешенные вещества; 2 – ХПК; 3 – БПК₅; 4 – жир

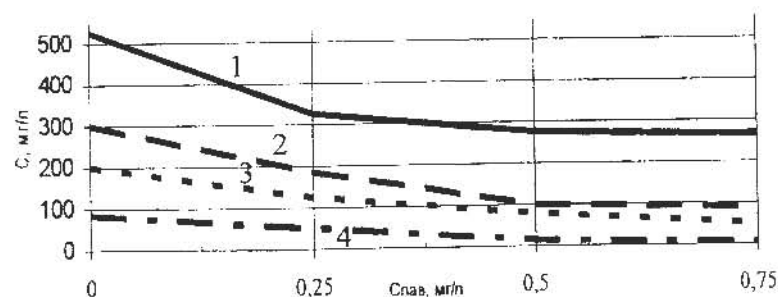


Рис. 2. Влияние концентрации ПАВ на содержание ингредиентов в промывной воде после флотоочистки:

1 – взвешенные вещества; 2 – ХПК; 3 – БПК₅; 4 – жир

Как видно из приведенных данных, основные показатели, характеризующие качество очищенных сточных вод, существенно снижаются после флотационной очистки, и в большинстве случаев их значения не превышают нормативов, установленных для сброса предварительно очищенных сточных вод в городскую канализацию.

Наряду с высокой эффективностью очистки сточных вод от гидрофобных веществ, например, жира, механическая флотация имеет существенные недостатки, связанные с уносом тонкодисперсных пузырьков, нагруженных загрязнениями, с осветленной жидкостью, а также большими энергозатратами.

Отмеченные недостатки, присущие указанным способам флотации, в определенной степени устраняются использованием химических реагентов, результаты применения которых представлены в следующих главах.

Наряду с очисткой сточных вод флотацию достаточно широко используют для сгущения избыточного активного ила на сооружениях биологической очистки сточных вод. В этом случае чаще всего используют аппараты напорной флотации.

Институтом ГосНИИсинтезбелок проведен большой комплекс работ по созданию промышленных напорных флотаторов для сгущения биомассы (активного ила) при производстве продуктов микробиологического синтеза и медицинских препаратов [2].

Были разработаны два варианта напорных флотаторов. Они отличаются по способу растворения воздуха в сгущаемой суспензии. В первом случае растворение воздуха осуществляется под давлением 0,65...0,95 МПа, причем длина отрезка трубы выбирается из расчета пребывания суспензии не менее 1,0...1,5 мин.

Проведенные исследования показали, что для промышленного использования могут применяться оба способа насыщения суспензии воздухом, т. к. они обеспечивают получение близких результатов. В табл. 2 приведены результаты испытаний напорного флотатора на Киришском биохимическом заводе.

Представляет большой интерес использование флотационных колонн со струйной системой аэрации для сгущения избыточного активного ила и очистки сточных вод.

Таблица 2
Результаты испытаний напорного флотатора

Давление в сагура- торе, МПа	Расход, м ³ /ч			Концентрация активного ила, г/л		
	исходной суспен- зии	пенного продук- та	ос- ветл. воды	исход- ной суспен- зии	пенного продук- та	осветл. воды
0,55	60	10	50	5,17	24,9	1,62
0,55	60	6	54	5,11	25,7	1,23
0,55	60	19	41	5,10	25,2	2,96
0,55	60	22	38	5,26	23,7	2,34
0,55	60	22	38	4,33	25,8	1,86

Московским государственным открытым университетом и институтом ГосНИИсинтезбелок разработана флотационная колонна со струйными аэраторами, в которой устранены недостатки стандартных колонн. В стандартных колоннах минерализация воздушных пузырьков осуществляется при противоточном движении пузырьков и частиц, из-за чего скорость нисходящих потоков очищаемой жидкости или пульпы не должна превышать 2 см/с, в противном случае происходит вынос флотокомплексов с очищенной жидкостью или хвостами. Это ограничивает их удельную производительность. Стандартные флотоколонны имеют высоту 10...12 м. Такая высота требуется для обеспечения необходимой для флотации вероятности столкновения частиц с пузырьками и их слияния. В разработанной колонне, как и в колонне австралийского профессора Джеймсона [8], осуществляется струйная аэрация нисходящими потоками в вертикальных трубах, скорость которой задается такой, чтобы все образующиеся пузырьки выносились из них с задержкой, обеспечивающей повышенное содержание (до 60%) газовой фазы в трубах. В этих трубах происходит минерализация пузырьков частицами загрязнений. Время задержки жидкости в трубах составляет 10...15 с, что является достаточным для образования флотокомплексов частица-пузырек. В целом процесс флотации в таких колоннах осуществляется быстрее, чем, например, в аппаратах напорной флотации.

Перспективы использования флотационных колонн в практике очистки сточных вод пока только выясняются и поэтому трудно предсказать возможные направления их применения.

Описанные выше различные способы флотационной очистки сточных вод применяются давно, но их потенциальная эффективность остается в большинстве случаев нереализованной. В этой связи нами многосторонне был проанализирован способ флотации и рассмотрен как многостадийный процесс, а не только как слипание частицы загрязнений с пузырьком газа (воздуха), на которое обращали основное внимание многие исследователи.

Таким образом, рассмотрению флотации как многостадийного процесса и созданию на этом подходе новой концепции флотационной очистки сточных вод с последующим использованием ее для разработки комбинированных флотационных машин и аппаратов посвящены основные исследования автора, представленные в данной работе.

Глава 2. Теоретические основы флотационного процесса и разработка новых типов флотационной техники

2.1. Разработка теоретических основ флотации как многостадийного процесса

Теоретическая основа для рассмотрения флотационного процесса как многостадийного состоит в следующем. На первой стадии (состояние A) происходит контактирование частицы с пузырьком газа. Этот процесс обратимый и поэтому при контактировании может произойти слипание частицы с пузырьком (состояние B) или после мгновенного контакта частица и пузырек расходятся в разные стороны. В процессе слипания образуется флотокомплекс частица-пузырек, который всплывает за счет выталкивающих (архимедовых) сил. Всплывшие в верхнюю часть жидкости флотокомплексы частица-пузырек образуют пенный слой (состояние C). При этом возможны переходы не только из состояния A в состояние B и далее в состояние C , но и обратные переходы, соответственно, из состояния C в состояние B и далее в состояние A . Возможные переходы из одного состояния в другое представлены на рис.3.

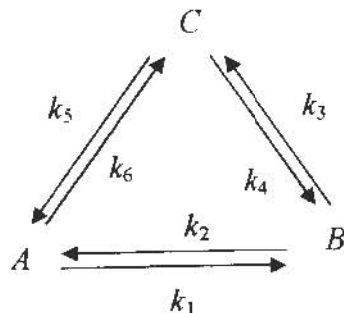


Рис.3. Схема флотационного процесса

Представленная схема флотационного процесса описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial C_A}{\partial t} = -k_1 C_A + k_2 C_B + k_5 C_C - k_6 C_A \\ \frac{\partial C_B}{\partial t} = k_1 C_A - k_2 C_B - k_3 C_B + k_4 C_C \\ \frac{\partial C_C}{\partial t} = k_3 C_B - k_4 C_C - k_5 C_C + k_6 C_A \end{cases} \quad (1)$$

где C_A, C_B, C_C — концентрации частиц, соответственно, в состояниях A, B, C ; k_1, k_2 — константы скорости перехода из состояния A в состояние B и обратно; k_3, k_4 — константы скорости перехода из состояния B в состояние C и обратно; k_5, k_6 — константы скорости перехода из состояния C в состояние A и обратно.

Определение кинетических констант флотационного процесса $k_1 - k_6$ является достаточно сложной задачей. Константа k_1 в общем случае для разных способов флотации определяется по формуле

$$k_1 = \frac{1}{T_0} P_{CN}, \quad (2)$$

где P_{CN} — вероятность образования флотокомплекса пузырек-частица в течение времени T_0 .

Вероятность разрушения образовавшихся флотокомплексов характеризуется константой k_2 , которую можно определить из соотношения:

$$k_2 = n \rho v^m G^p \frac{d_r M^2}{EN}, \quad (3)$$

где G — градиент скорости, E — эффективность захвата частиц всплывающим пузырьком газа, N — параметр, характеризующий прочность связи между частицей и пузырьком газа, M — отношение диаметра частицы к диаметру пузырька, d — диаметр частицы твердой фазы, v — кинематическая вязкость суспензии, n — концентрация флотокомплексов частица-пузырек, ρ — плотность жидкости, p, m — коэффициенты ($1 \leq p \leq 2$; $m = 2/3$).

Константа k_4 , характеризующая выпадение флотокомплексов частица-пузырек из пенного слоя при условии его мгновенного

удаления, определяется правой частью соотношения (3) при значениях $0 \leq p \leq 1$; $1/3 < m < 2/3$.

Перемещения флотокомплексов частица-пузырек из жидкости в пенный слой определяется константой k_3 :

$$k_3 = \frac{v_{\text{под}}}{h}, \quad (4)$$

где $v_{\text{под}}$ – скорость подъема флотокомплекса пузырек-частица, h – расстояние от зоны аэрации до пенного слоя (глубина флотокамеры).

Скорость подъема $v_{\text{под}}$ можно определить по формуле:

$$v_{\text{под}} = \frac{g[d_r^3(\rho_r - \rho) - d_r^3(\rho - \rho_r)]}{18\mu d_r}, \quad (5)$$

где g – ускорение свободного падения, ρ_r, ρ_r – плотность твердой и газовой фазы, μ – динамическая вязкость жидкости, d_r – диаметр газового пузырька.

Выпадение частиц твердой фазы из пенного слоя в зону аэрации характеризуется константой k_5 :

$$k_5 = \frac{v_{\text{ос}}}{h}, \quad (6)$$

где $v_{\text{ос}}$ – скорость осаждения частиц твердой фазы, выпадающих из пенного слоя. Для большинства рассматриваемых в работе практических задач $v_{\text{ос}}$ можно рассчитать по формуле Стокса.

Вероятность перехода частиц твердой фазы из жидкости в пену характеризуется константой k_6 , определяемой из соотношения (7):

$$k_6 = D \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{1}{2\sqrt{\pi Dt}} \left[\exp\left(-\frac{(x-h)^2}{4Dt}\right) - \exp\left(-\frac{(x+h)^2}{4Dt}\right) \right] \right\}, \quad (7)$$

где t – время, x – текущее расстояние от границы пенного слоя, D – коэффициент диффузии частиц твердой фазы в жидкости.

Большой практический интерес представляет значение константы k_1 для напорной флотации, которая может быть определена выражением:

$$k_1'' = \frac{k\Delta C}{2\rho_r(r_1^{-3/2} - r_2^{-3/2})}, \quad (8)$$

где k – коэффициент растворимости газа в воде, ΔC – величина, характеризующая пересыщение газа в воде, r_1 – минимальный размер пузырьков газа, устойчиво существующих (нерастворимых) в воде, r_2 – размер пузырьков газа, образовавшихся с частицами твердой фазы флотокомплексы и способных к их перемещению.

Для описания реального флотопроцесса целесообразно рассматривать его при коэффициентах k_2, k_4, k_5, k_6 , равных нулю. Тогда система (1) примет вид:

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A \\ \frac{dC_B}{dt} = -k_3 C_B + k_1 C_A \\ \frac{dC_C}{dt} = -k_3 C_B \end{cases} \quad (9)$$

и при условии $k_1 \neq k_3$ и $C_0 = C_A + C_B + C_C$, решая эту систему, получим:

$$\frac{C_A}{C_0} = 1 - \frac{k_3}{k_3 - k_1} \exp(-k_1 t) - \frac{k_1}{k_1 - k_3} \exp(-k_3 t). \quad (10)$$

Проведенный ранее анализ флотационного процесса как многостадийного показывает на достаточно удовлетворительное согласие с экспериментальными данными с точностью 8...12% [2].

Для раскрытия физического смысла полученных соотношений представляется целесообразным поэтапное рассмотрение процесса флотации.

Переход частиц из исходного состояния A в состояние B связан с созданием благоприятных условий для контакта частицы с пузырьком. Особо следует отметить, что эти условия будут отличаться при проведении различных способов флотации, а именно, механической, пневмомеханической, напорной и электрофлотации.

Первая и вторая стадии флотационного процесса связаны с оптимизацией условий взаимодействия частиц с пузырьками и особенно с коалесценцией последних. Особое значение имеет рассмотрение условий оптимизации коалесценции газовых пузырьков в процессах флотации агрегатов частиц с малой плотностью. Ввиду малой массы

таких частиц их столкновение с газовыми пузырьками затруднено из-за упругости жидкой пленки, отделяющей частицы от пузырьков. В этой связи флотационное извлечение из воды частиц или агрегатов частиц с малой плотностью связано в основном с необходимостью наличия пузырьков с размерами порядка 0,01 мм и менее. При этом флотирование агрегатов или отдельных частиц с помощью пузырьков малых размеров - чрезвычайно медленный процесс. Поэтому в большинстве случаев для ускорения флотирования таких агрегатов частиц с маленькими пузырьками применяется вторичное насыщение флотируемой среды газовыми пузырьками с размерами, значительно превосходящими 0,01 мм. В большинстве случаев вторичное насыщение осуществляется путем барботирования жидкой среды газовыми пузырьками.

Проведенный нами теоретический анализ, в том числе и с использованием указанных выше соотношений, а также экспериментальные исследования показали, что наиболее эффективно процесс коалесценции маленького пузырька с большим создается не при барботировании, а при условиях, в которых возможно образование маленького и большого пузырьков непосредственно в жидкой фазе. Такие условия могут быть реализованы различными путями, например, с помощью использования двух рабочих жидкостей, содержащих газы, имеющие различные растворимости в воде (например, такие пары, как кислород и углекислый газ, азот и сероводород).

Исследования влияния газов с различной растворимостью в воде на флотационный процесс, проведенные в 1980-1990 гг. позволили автору открыть новый эффект совместного выделения трудно- и легкорастворимых газов. Этот эффект используется для интенсификации флотационного процесса очистки сточных вод и тонкодисперсных суспензий.

2.2. Определение концентраций флотируемых ингредиентов

Одним из практических приложений решения системы уравнений (1) является определение концентраций флотируемых ингредиентов с использованием констант, характеризующих флотационный процесс

очистки сточных вод. Такое решение дает возможность ответить на вопрос, затрагивающий перспективы достижения минимальных значений загрязнений в очищаемой воде после флотационной очистки и соответственно их максимальных концентраций в пенном слое по истечении сколь угодно длительного времени (на практике не более одного часа).

Запишем систему уравнений (1) в виде

$$\begin{cases} \frac{dC_A}{dt} = -(k_1 + k_6)C_A + k_2C_B + k_5C_C \\ \frac{dC_B}{dt} = k_1C_A - (k_2 + k_3)C_B + k_4C_C \\ \frac{dC_C}{dt} = k_6C_A + k_3C_B - (k_4 + k_5)C_C \end{cases} \quad (11)$$

Обозначим

$$\vec{C} = \begin{bmatrix} C_A \\ C_B \\ C_C \end{bmatrix}, \quad d\vec{C} = K\vec{C},$$

$$\text{где } K = \begin{pmatrix} -(k_1 + k_6) & k_2 & k_5 \\ k_1 & -(k_2 + k_3) & k_4 \\ k_6 & k_3 & -(k_4 + k_5) \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Ищем решение в виде:

$$\begin{aligned} \vec{C} &= \vec{C}_1 e^{\lambda t}, \\ d\vec{C} &= \lambda \vec{C}, \\ \lambda \vec{C} &= K\vec{C}, \\ (K - \lambda I)\vec{C} &= 0. \end{aligned}$$

Существует ненулевое решение, если

$$\det(K - \lambda I) = 0,$$

$$\begin{vmatrix} -(\lambda + k_1 + k_6) & k_2 & k_5 \\ k_1 & -(\lambda + k_2 + k_3) & k_4 \\ k_6 & k_3 & -(\lambda + k_4 + k_5) \end{vmatrix} = 0.$$

Сложим 3 строку с 1 и 2

$$\begin{vmatrix} -(\lambda + k_1 + k_6) & k_2 & k_5 \\ k_1 & -(\lambda + k_2 + k_3) & k_4 \\ -\lambda & -\lambda & -\lambda \end{vmatrix} =$$

$$= -\lambda \begin{vmatrix} -(\lambda + k_1 + k_6) & k_2 & k_5 \\ k_1 & -(\lambda + k_1 + k_3) & k_4 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} k_2 & k_5 \\ -(\lambda + k_2 + k_3) & k_4 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} -(\lambda + k_1 + k_6) & k_5 \\ k_1 & k_4 \end{vmatrix} +$$

$$+ \begin{vmatrix} -(\lambda + k_1 + k_6) & k_2 \\ k_1 & -(\lambda + k_2 + k_3) \end{vmatrix} = 0.$$

Одно решение – это $\lambda_0 = 0$. Это решение присутствует всегда и не зависит от коэффициентов k_i . Равенство нулю одного собственного числа – это математическое отражение закона сохранения реагирующего вещества во всех трех фазах (состояниях).

Действительно, сложим три уравнения системы (11):

$$\frac{d}{dt}(C_A + C_B + C_C) = 0 \Rightarrow C_A(t) + C_B(t) + C_C(t) = \text{const}. \quad (13)$$

Для двух других собственных значений получим квадратное уравнение:

$$\lambda^2 + \lambda(k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6) + k_1(k_3 + k_4 + k_5) +$$

$$+ k_2(k_4 + k_5 + k_6) + k_3(k_5 + k_6) + k_4k_6 = 0.$$

Решим это уравнение:

$$\lambda_{1,2} = -\frac{k}{2} \pm \sqrt{\frac{k^2}{4} - \chi},$$

где для компактности записи использованы следующие обозначения:

$$k = k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6,$$

$$\chi = k_1(k_3 + k_4 + k_5) + k_2(k_4 + k_5 + k_6) + k_3(k_5 + k_6) + k_4k_6.$$

По своему физическому смыслу все константы k_i – положительные величины, поэтому первое слагаемое в выражении для $\lambda_{1,2}$ – отрицательная величина.

Рассмотрим, что стоит под знаком радикала: $\frac{k^2}{4} - \chi$.

Согласно выражению для χ – этот коэффициент, как и все k_i является величиной положительной. Следовательно:

$$\frac{k^2}{4} - \chi < \frac{k^2}{4} \Rightarrow \quad (14)$$

Отсюда следует, что модуль (абсолютное значение)

$$\sqrt{\frac{k^2}{4} - \chi} < \frac{k}{2}, \text{ а значит и } -\frac{k}{2} + \sqrt{\frac{k^2}{4} - \chi} < 0.$$

В принципе, возможна ситуация, когда $\frac{k^2}{4} < \chi$. В этом случае

подрадикальное выражение становится отрицательным, а собственные значения $\lambda_{1,2}$ – комплексно сопряженными. Динамика процесса становится осциллирующей с затухающей амплитудой. Случай интересный, но нужно рассмотреть конкретную зависимость χ и k от k_i ; действительно ли возможны и реализуются ли такие режимы.

Вернемся к решению системы (11). Оно записывается в виде:

$$\bar{C}(t) = \alpha_0 \bar{C}_0 + \alpha_1 \bar{C}_1 e^{\lambda_1 t} + \alpha_2 \bar{C}_2 e^{\lambda_2 t}, \quad (15)$$

где $\bar{C}_0, \bar{C}_1$ и $\bar{C}_2$ – собственные векторы, соответствующие собственным значениям 0, λ_1 и λ_2 ; $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ – произвольные константы, которые определяются начальными условиями, т.е. значениями концентрации $C_A(t)$, $C_B(t)$ и $C_C(t)$ в начальный момент времени $t=0$.

Для анализа динамической картины системы существенно, что оба собственных значения λ_1 и λ_2 отрицательны. Это значит, что при $t \rightarrow \infty$ второе и третье слагаемые в уравнении (15) стремятся к нулю и равновесные, стационарные концентрации определяются только собственным вектором $\bar{C}_0$ и константой α_0 :

$$\bar{C}(t \rightarrow \infty) = \alpha_0 \bar{C}_0. \quad (16)$$

Для упрощения процедуры вычисления константы α_0 воспользуемся законом сохранения флотируемого вещества для двух моментов времени: $t = 0$ и $t = \infty$

$$C_A(0) + C_B(0) + C_C(0) = (C_{01} + C_{02} + C_{03})\alpha_0, \quad (17)$$

где C_{01} , C_{02} , C_{03} – компоненты собственного вектора C_0 .

Из равенства (17) получим

$$\alpha_0 = \frac{C_A(0) + C_B(0) + C_C(0)}{C_{01} + C_{02} + C_{03}}.$$

Проведем конкретные вычисления. Прежде всего определим собственный вектор C_0 , который удовлетворяет уравнению:

$$K\vec{C}_0 = \begin{pmatrix} -(k_1 + k_6) & k_2 & k_5 \\ k_1 & -(k_2 + k_3) & k_4 \\ k_6 & k_3 & -(k_4 + k_5) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{01} \\ C_{02} \\ C_{03} \end{pmatrix} = 0.$$

Собственный вектор определяется с точностью до нормировки, поэтому выберем $C_{01} = 1$ и определим C_{02} и C_{03} :

$$\begin{cases} k_2 C_{02} + k_5 C_{03} = k_1 + k_6 \\ (k_2 + k_3) C_{02} - k_4 C_{03} = k_1 \end{cases} \Rightarrow$$

$$C_{02} = \frac{k_1 k_4 + k_1 k_5 + k_4 k_6}{k_1 k_4 + k_2 k_4 + k_3 k_4},$$

$$C_{03} = \frac{k_1 k_3 + k_2 k_6 + k_3 k_6}{k_2 k_4 + k_2 k_5 + k_3 k_5}.$$

Собственный вектор $\vec{C}_0$ будет иметь вид:

$$\vec{C}_0 = \begin{pmatrix} \frac{k_1 k_4 + k_1 k_5 + k_4 k_6}{k_2 k_4 + k_2 k_5 + k_3 k_5} \\ \frac{k_1 k_3 + k_2 k_6 + k_3 k_6}{k_2 k_4 + k_2 k_5 + k_3 k_5} \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Теперь определим константу α_0 . Обычно процесс начинается с $C_A(0) \neq 0$ и $C_B(0) = C_C(0) = 0$, поэтому

$$\alpha_0 = \frac{C_0}{C_{01} + C_{02} + C_{03}} = \frac{k_2 k_4 + k_2 k_5 + k_3 k_5}{K} C_A^0, \quad (18)$$

где $K = k_1 k_4 + k_1 k_5 + k_4 k_6 + k_1 k_3 + k_2 k_6 + k_3 k_6 + k_2 k_4 + k_2 k_5 + k_3 k_5$.

Рассмотрим пример расчета концентраций флотируемых ингредиентов для наиболее распространенного в практике очистки сточных вод способа напорной флотации.

Напорная флотация

$$k_2 = k_4 = k_6 = 0;$$

$$k_1 \rightarrow \max;$$

$$k_3 \approx \varepsilon (\varepsilon \rightarrow 0);$$

$$k_5 \neq 0.$$

(19)

Характеристическое уравнение упрощается и выглядит так:

$$\lambda^2 + \lambda(k_1 + k_3 + k_5) + k_1 k_3 + k_3 k_5 + k_5 k_4 = 0.$$

Собственные значения λ_1 и λ_2 :

$$\lambda_{1,2} = -\frac{k_1 + k_3 + k_5}{2} \pm \sqrt{\frac{(k_1 + k_3 + k_5)^2}{4} - k_1 k_3 - k_3 k_5 - k_1 k_5}.$$

В случае напорной флотации можно считать, что $k_3 \ll k_1$ и $k_3 \ll k_5$, и тогда выражение для $\lambda_{1,2}$ упрощается. Для этого разложим в ряд второе слагаемое, воспользовавшись следующим равенством:

$$\begin{aligned} (k_1 + k_3 + k_5)^2 - 4k_1 k_3 - 4k_1 k_5 &= (k_1 - k_3 - k_5)^2 \\ \sqrt{\frac{(k_1 + k_3 + k_5)^2}{4} - k_1 k_3 - k_3 k_5 - k_1 k_5} &= \sqrt{\frac{(k_1 - k_3 - k_5)^2}{4} - k_3 k_5} = \\ &= \frac{k_1 - k_3 - k_5}{2} \sqrt{1 - \frac{4k_3 k_5}{(k_1 - k_3 - k_5)^2}} \approx \\ &\approx \frac{k_1 - k_3 - k_5}{2} \left(1 - \frac{2k_3 k_5}{(k_1 - k_3 - k_5)^2} + \dots \right), \end{aligned}$$

Корни:

$$\lambda_1 = -k_4 + \frac{k_3 k_5}{k_1 - k_3 - k_5};$$

$$\lambda_2 = -(k_3 + k_5) - \frac{k_3 k_5}{k_1 - k_3 - k_5}.$$

Собственный вектор:

$$\vec{C}_0 = \begin{pmatrix} k_1/k_3 \\ k_1/k_5 \end{pmatrix}.$$

Константа:

$$\alpha_0 = \frac{k_3 k_5}{k_1 k_3 + k_3 k_5 + k_1 k_5} C_A(0),$$

$$C_A(t \rightarrow \infty) = \frac{k_3 k_5}{k_1 k_3 + k_3 k_5 + k_1 k_5} C_A(0),$$

$$C_B(t \rightarrow \infty) = \frac{k_1 k_5}{k_1 k_3 + k_3 k_5 + k_1 k_5} C_A(0),$$

$$C_C(t \rightarrow \infty) = \frac{k_1 k_3}{k_1 k_3 + k_3 k_5 + k_1 k_5} C_A(0). \quad (20)$$

Полученные выражения для нахождения концентраций флотируемых ингредиентов имеют важное значение для практического применения в расчетах, используемых в проектно-конструкторской документации при определении возможностей флотационной очистки сточных вод способом напорной флотации.

2.3. Разработка новых типов флотационных машин и аппаратов для очистки сточных вод

Подход к описанию флотационного процесса как многостадийного позволил создать флотационные машины и аппараты, в которых уменьшена роль лимитирующих стадий и тем самым создана возможность интенсификации флотационного процесса [2, 9].

Для очистки нефте- и жиросодержащих сточных вод с расходом 0,2...2 м³/ч в ГосНИИсинтезбелке разработаны механические флотационные машины на основе комбинированного способа извлечения гидрофобных загрязнений, например, нефтепродуктов, жиров [10].

Разработанная и выпускаемая промышленностью базовая модель механической комбинированной машины ФКМО-0,15, внешний вид которой представлен на рис.4, а вид привода азратора сверху и обсадной трубы – на рис. 5,а,б, отличается от известных наличием дополнительных струйных азраторов в виде коллектора с трубками, внутри которых установлены сопла. Новым элементом является также пластинчатый осветлитель в виде блока наклонных полок, установленных на расстоянии 5...10 см друг от друга. Использование этих элементов позволяет повысить в первой камере степень азрации и уменьшить размеры пузырьков воздуха. В последней камере применение пластинчатого осветлителя специальной конструкции позволяет уменьшить вынос комплексов частиц-микропузырьков, не успевающих всплыть в предыдущих камерах, что способствует повышению эффективности очистки сточных вод.

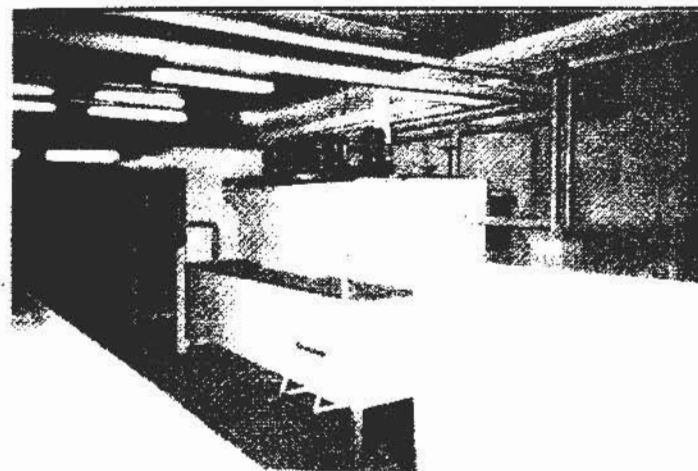


Рис.4. Внешний вид флотационной машины ФКМО-0,15

Механическая флотационная машина (рис.6) имеет корпус 1, разделенный на камеры 2, внутри которых установлены импеллерные блоки, состоящие из трубы 3, внутри которой расположен импеллер 4 с электроприводом 5. Флотатор состоит из четырех камер и пластинчатого осветлителя 6. В первой камере установлен коллектор 7 с патрубком подачи сточной воды 8 и четырьмя трубчатыми азраторами снизу.

Между камерами выполнены сквозные отверстия 9, очищенная вода отводится патрубком 10 из камеры с пластинчатым осветлителем. Исходная сточная вода под давлением 0,2...0,3 МПа через патрубок 8 подается в первую камеру флотатора, где за счет струйного истечения через трубчатые аэраторы, подсоединенные к коллектору 7, происходит турбулизация жидкости и подсос воздуха из атмосферы.



Рис. 5. Вид привода аэратора сверху (а) и вид обсадной трубы (б)

В результате вращения импеллера 4 и истечения жидкости через трубчатые аэраторы происходит тонкое диспергирование пузырьков воздуха, засасываемого из атмосферы. На образующихся микропузырьках воздуха выделяются частицы загрязнений, в том числе и нефтепродукты, которые всплывают, образуя пенный слой.

В верхней части флотокамеры пенный слой удаляется механическим лопастным пеногасителем 12 в пенный желоб 11 и далее через патрубок 13 в сборник пенного продукта. Очищенная жидкость последовательно проходит через четыре камеры и пластинчатый осветлитель 6 и через патрубок 10 выводится в сборный резервуар.

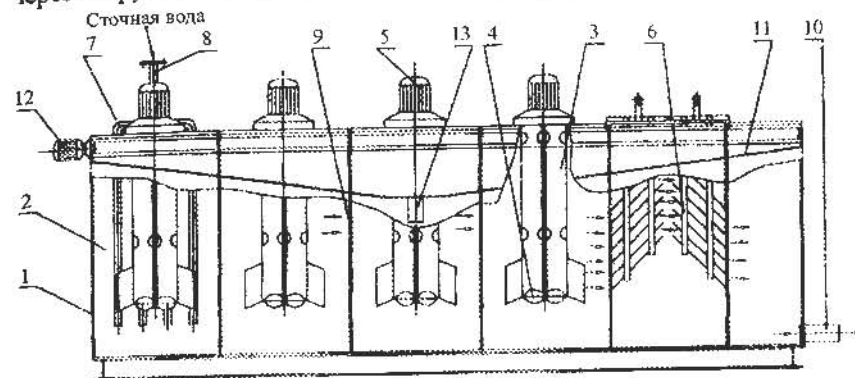


Рис. 6. Механическая флотомашина

Для очистки нефте- и жиросодержащих сточных вод нашла широкое применение машина пневматического типа [11], позволяющая получить конечную концентрацию нефтепродуктов 0,5...5,0 мг/л, что достигается за счет более мелких пузырьков воздуха.

Пневматическая флотомашина (рис. 7) состоит из корпуса 2 со входным патрубком 1, при этом корпус разделен перегородками 3 на четыре флотокамеры. Во флотокамерах происходит извлечение тонкодисперсных капель нефтепродуктов путем всплывания их вместе с пузырьками воздуха, образующимися при диспергировании воздуха подачей его под давлением через пористые аэраторы 8, выполненные из специальной резины.

Восемь аэраторов устанавливаются по два в каждой из четырех камер флотационной машины. В дополнительной камере 5 флотационной машины установлен блок тонкослойного осветления 6 для доизвлечения тонкодисперсных капель нефтепродуктов.

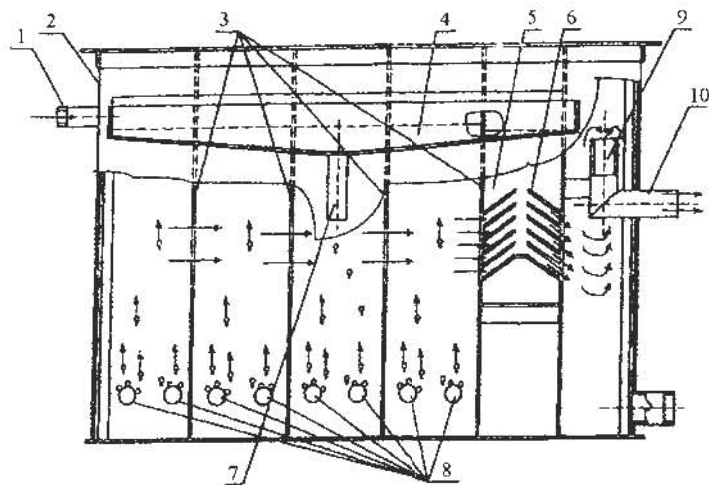


Рис. 7. Пневматическая флотомашина

Очищаемая сточная вода последовательно проходит все указанные камеры и при этом всплывающие нефтепродукты вместе с пузырьками воздуха создают пенный слой, который собирается в верхней части слоя очищаемой воды. Затем он самотеком удаляется в сборник пенного продукта 4. После отстоя пенного продукта, представляющего смесь воды и уловленных нефтепродуктов, декантированная вода сливается в специальную емкость через сливной патрубок 7. Очищенная сточная вода через устройство регулирования уровня 9 и выходной патрубок 10 выводится из флотационной машины.

Такие же, по сути, принципы подхода к разработке флотационных машин и аппаратов были заложены при разработке напорных флотационных установок.

Напорная флотационная установка, представленная на рис. 8, состоит из сатуратора 1 с входными патрубками: ГВ – для подачи исходной (грязной) сточной воды и В – для подачи воздуха и с размещенной внутри сатуратора магнитной насадкой; соединительного трубопровода 3 с источниками неоднородного поля (постоянными магнитами) 2, флотокамеры 7 с входным патрубком 4, первым блоком тонкослойного осветления 6, пеносъемным устройством 8, вторым блоком тонкослойного осветления 10, имеющим на входе сетку 9, устройством

регулирования уровня жидкости 11, фильтром 12 с решетками 13 и 14, а также с выходным патрубком 15 [12].

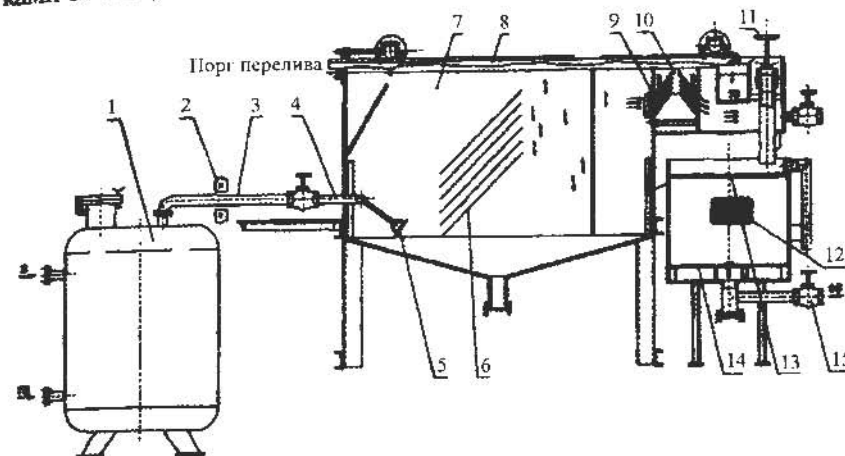


Рис. 8. Напорная флотационная установка

Флотационная установка работает следующим образом. Исходная (грязная) сточная вода поступает через патрубок ГВ в сатуратор 1, в котором она смешивается со сжатым воздухом, поступающим через патрубок В, и далее поступает в соединительный трубопровод 3, где на начальном участке подвергается воздействию неоднородного магнитного поля, создаваемого источниками (магнитами) 2. Насыщенная воздухом вода поступает во флотокамеру 7 через входной патрубок 4 и дросселирующее устройство 5.

Из воды интенсивно выделяются пузырьки воздуха, причем непосредственно на частицах (каплях) примесей. Образующиеся флотокомплексы частица-пузырек всплывают, образуя пенный слой, который удаляется пеносъемным устройством 8.

Комплексы с малой подъемной силой вместе с потоком воды попадают в первый блок 6 тонкослойного осветления, где в стесненных условиях происходит коалесценция пузырьков воздуха и, вследствие этого, увеличение подъемной силы этих комплексов.

Далее очищаемая сточная вода попадает во второй блок 10 тонкослойного осветления, предварительно проходя через сетку 9 с гидрофобной поверхностью, а затем через регулирующее устрой-

во уровня жидкости 11 – в фильтр 12 с угольной загрузкой (активированный уголь АГ-3), проходя через решетку 13 с гидрофобной поверхностью и далее через угольную загрузку выходит из установки через патрубок 15. Эффективность предлагаемой флотационной установки при очистке сточных вод от нефтепродуктов достигает 95...98% и после доочистки концентрация нефтепродуктов в очищенной воде не превышает 0,05 мг/л.

Для очистки сточных вод с небольшим расходом был разработан, испытан и внедрен на заводе «Физприбор» электрофлотационный аппарат комбинированного типа [13]. Аппарат (рис.9) состоит из горизонтального корпуса 1 с патрубками 2 и 3 для ввода соответственно сточных вод и реагента, патрубком 4 для вывода осветленной жидкости и патрубком 5 для вывода пены. Горизонтальный корпус разделен последовательно на несколько секций: секцию смешения 6, выполненную в виде усеченной пирамиды, секцию для пневмомеханической флотации 7, снабженную механическим аэратором 12, секции 8 и 9 для электрофлотации с расположенными внутри них электродами 13 и 14.

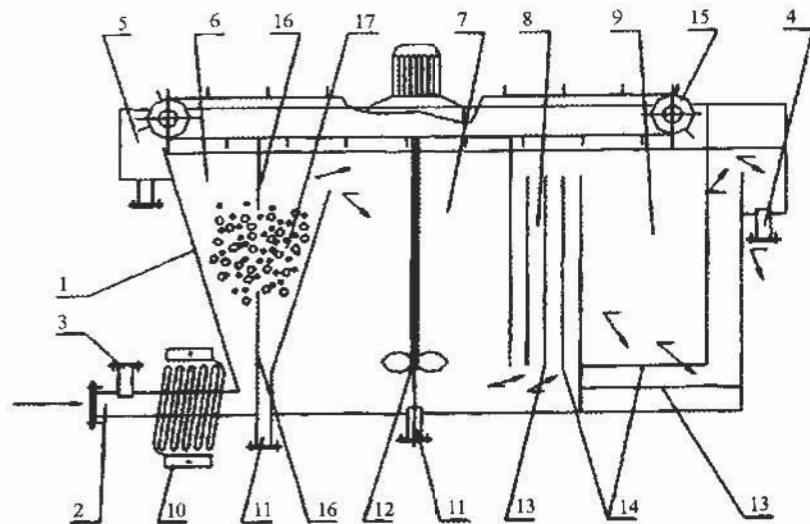


Рис.9. Электрофлотационный аппарат комбинированного типа

В верхней части аппарата установлено пеносъемное устройство 15. По всей длине внутри корпуса аппарата установлены решетки

ки 16, между которыми создается псевдоожиженный слой 17. На патрубке для ввода сточных вод установлен электромагнит 10 от стенки секции смешения на расстоянии, составляющем 50...70 диаметров входного патрубка. В секции 6 и 7 подводится воздух через патрубки 11 с находящимся внутри них пористым материалом.

Аппарат работает следующим образом. Сточные воды и реагент через патрубки ввода поступают в секцию смешения, предварительно подвергаясь обработке индуцированным электрическим полем на участке трубы, занятым электромагнитом 10, который установлен на оптимальном расстоянии от стенки секции. В секции смешения происходит интенсивное перемешивание сточных вод с реагентами и флотация наиболее легко флотируемых сфлуктурированных частиц тонкодисперсной суспензии. Вероятность слипания частиц с пузырьками воздуха повышается за счет создания псевдоожиженного слоя из полимерных частиц размером 1,5...2,5 мм между решетками. Далее происходит флотоочистка в камере с импеллером и доочистка в электрофлотационной камере. Эффективность очистки в комбинированном аппарате достигает по нефтепродуктам до 99%.

Сравнительные показатели эффективности очистки сточных вод от нефтепродуктов комбинированных флотомашин и зарубежных аналогов (фирма «Vemko», США) представлены в табл. 3.

Таблица 3
Сравнительные показатели эффективности очистки сточных вод от нефтепродуктов комбинированных флотомашин и зарубежных аналогов

Тип флотационных машин и аппаратов	Концентрация нефтепродуктов, мг/л	
	исходная	конечная
Механические ФКМО*	50...100	5...10
Пневматические ФКП*	50...100	0,5...5
Напорные*	50...100	1...5
Комбинированные электрофлотационные*	50...100	1...5
Механические (фирма «Vemko», США)**	50...100	10
* Данные испытаний. ** Рекламные данные.		

Анализ представленных в табл. 3 данных опытно-промышленных испытаний показал, что по эффективности очистки сточных вод от нефтепродуктов большинство из разработанных комбинированных флотационных машин и аппаратов превосходят современные зарубежные аналоги (фирма "Vemko", США).

Глава 3. Флотационная очистка сточных вод от фосфорсодержащих частиц

3.1. Извлечение фосфорсодержащих частиц из отработанных водных потоков

Изложенный в гл.2 подход к рассмотрению флотации как многостадийного процесса получил подтверждение при решении проблем флотационной очистки сточных вод от тяжелых металлов и минеральных загрязнений.

Проблема извлечения фосфорсодержащих частиц из отработанных водных потоков имеет важнейшее значение для доочистки сточных вод от фосфора и его соединений. Достижение концентраций фосфора в очищенных сточных водах уровня 0,5...1,0 мг/л становится в настоящее время необходимостью во многих странах мира, в том числе и в нашей стране.

Проведенные нами экспериментальные исследования в условиях Киришского биохимического завода (на хозяйственных стоках) и предприятия концерна "Мется-Серла" в г. Куопио (Финляндия) показали, что данная задача может быть решена путем использования напорной флотации предварительным добавлением алюминийсодержащего коагулянта (в общем случае – пары алюминийсодержащих коагулянтов – сернокислого алюминия и алюмината натрия).

Использование флотационной доочистки биологически очищенных сточных вод целлюлозно-бумажных производств в большинстве случаев является целесообразным и эффективным. Однако эффективность от использования в существенной мере зависит от правильного выбора системы реагентов, оптимального

соотношения сточные воды – дисперсионная жидкость (дисперсионная вода) и ведения процесса флотации в режиме доосветления.

Специфика выбора реагентов для доочистки биологически очищенных сточных вод состоит в том, что они имеют высокое значение химического потребления кислорода (ХПК) общей пробы (проба перемешивалась) и при этом различие между ХПК нефльтрованной пробы (ХПК_о) и ХПК осветленной (фильтрованной) жидкости после отстоя (ХПК_р) небольшое (рис. 10).

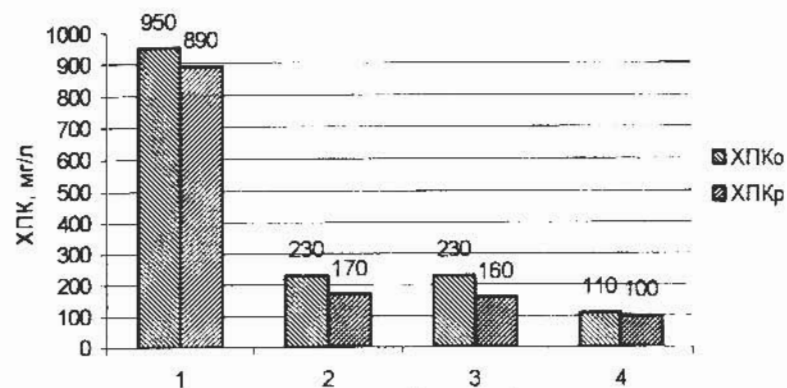


Рис. 10. Зависимость ХПК_о и ХПК_р от добавленных реагентов:

1 – исходная вода; 2 – ПАХ (1,0 мл/л) + NaAlO₂ (5 мг/л);

3 – ПАХ (1,0 мл/л) + NaAlO₂ (6 мг/л) + феннопол (1 мг/л);

4 – ПАХ (1,0 мл/л) + NaAlO₂ (6 мг/л) + лабуфлок (1 мг/л)

Как показывает опыт работы, наиболее эффективными реагентными системами для очистки сточных вод целлюлозно-бумажных производств являются различные соединения алюминия, глины, в частности глинозем, серпентинит и другие, а также флокулянты, например, полиакриламид и катионоактивные полиэлектролиты.

Исследования проводились на флотационной установке, включавшей сатуратор для приготовления дисперсионной воды и флотокамеру объемом 1 л. Большинство экспериментов проводилось путем приготовления дисперсионной воды в сатураторе и смешения ее со сточными водами, предварительно обработанными реагентами. Смешение вод с реагентами проводилось во флокуляторе, представляющем собой набор мешалок, причем частоту вращения можно регулировать в пределах 0...100 об/мин.

Предварительно было установлено, что наиболее эффективно процесс смешения сточных вод с реагентами осуществляется при двухступенчатом режиме перемешивания: на первой ступени интенсивность перемешивания составляет 90...95 об/мин в течение 2 мин, а на второй ступени - 40...45 об/мин в течение 10 мин. Особенно важно соблюдать этот режим при введении таких реагентов, как серпентонит.

Особый интерес для очистки сточных вод производств представляет использование алюмината натрия. Он содержит около 50...55% оксида алюминия и 45...50% оксида натрия. Использование алюмината натрия предпочтительно при pH в пределах 6...8. Применение реагента приводит к снижению взвешенных и растворенных веществ, а также к снижению окраски сточных вод.

Совместное использование алюмината натрия с другими соединениями алюминия (серноокислый алюминий, полиалюминийхлорид - ПАХ) дает возможность повысить эффективность очистки сточных вод, в частности уменьшить их окраску.

Приготовление алюмината натрия проводят в горячей воде при температуре 85...95°C в течение 1...2 ч. При этом концентрация рабочих растворов этого реагента может быть в пределах 0,25...5,0%. Однако наша практика работы с этим реагентом показывает, что предпочтительнее использование более низких концентраций (в пределах 0,25...1,0%).

Нами было проведено исследование процесса интенсификации флотации сточных вод (завод в г. Куопио) с различными реагентными системами (более 10). Внимания, на наш взгляд, заслуживают следующие из них: серпентонит-серноокислый алюминий ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), серпентонит-полиалюминийхлорид (ПАХ); полиалюминийхлорид (ПАХ)+ алюминат натрия (NaAlO_2); ПАХ-лабуфлок; ПАХ-феннопол; ПАХ+ NaAlO_2 +лабуфлок; ПАХ- NaAlO_2 -феннопол, финнферри.

Измерение мутности и высоты пенного слоя, характеризующего плотность (концентрацию) отделяемого (пенного) продукта загрязнений, показало (рис. 11-13), что среди исследованных систем наибольшей эффективностью отличаются системы: серпентонит-ПАХ; ПАХ- NaAlO_2 ; ПАХ-лабуфлок; ПАХ- NaAlO_2 -лабуфлок.

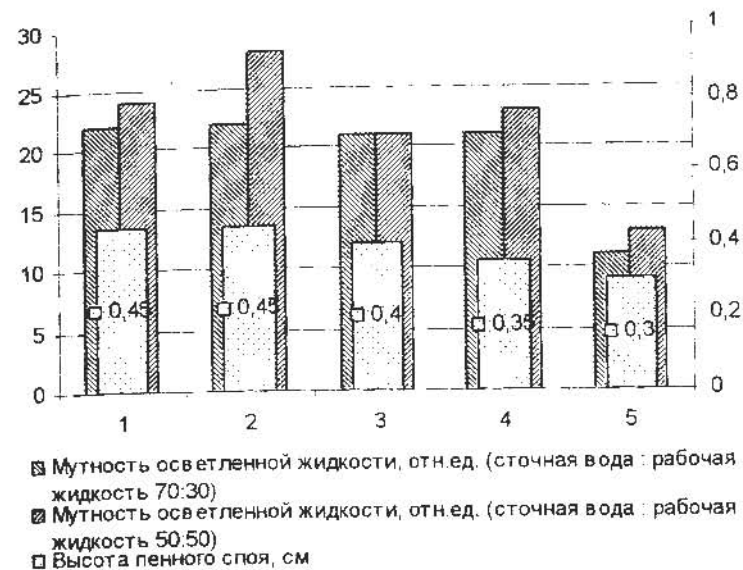


Рис. 11. Зависимость мутности осветленной жидкости и высоты пенного слоя от добавления в воду серпентонита и солей алюминия:

1 - серпентонит (30 мг/л)+ $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ (300 мг/л), 2 - серпентонит (100 мг/л)+ $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ (400 мг/л), 3 - серпентонит (200 мг/л)+ПАХ (1 мл/л), 4 - серпентонит (300 мг/л)+ПАХ (1 мл/л), 5 - серпентонит (400 мг/л)+ПАХ (1 мл/л)

В последнем случае значение мутности достигает 8...10 и плотность (высота) пенного слоя является минимальной. Концентрация в пене составляет при этом 4...5 г/л.

Использование финнферри хотя и приводит к резкому снижению мутности (рис. 14), но при этом окраска сточных вод не снижается, а наоборот увеличивается.

Использование реагентных систем ПАХ- NaAlO_2 ; ПАХ- NaAlO_2 -феннопол; ПАХ- NaAlO_2 -лабуфлок позволяет снизить ХПК_о и ХПК_р соответственно с 940 и 890 мг/л до 100...200 мг/л (рис. 10). Это позволяет рекомендовать эти системы для практического использования.



Рис. 12. Зависимость мутности осветленной жидкости и высоты пенного слоя от добавления в воду различных реагентов:
1 - ПАХ (0,8 мл/л). 2 - ПАХ (0,8 мл/л) + NaAlO₂ (6 мг/л). 3 - ПАХ (0,8 мл/л) + лабуфлок (1 мг/л). 4 - ПАХ (0,8 мл/л) + феннопол (1 мг/л). 5 - ПАХ (0,8 мл/л) + NaAlO₂ (6 мг/л) + лабуфлок (1 мг/л). 6 - серпентинит (10 мг/л)

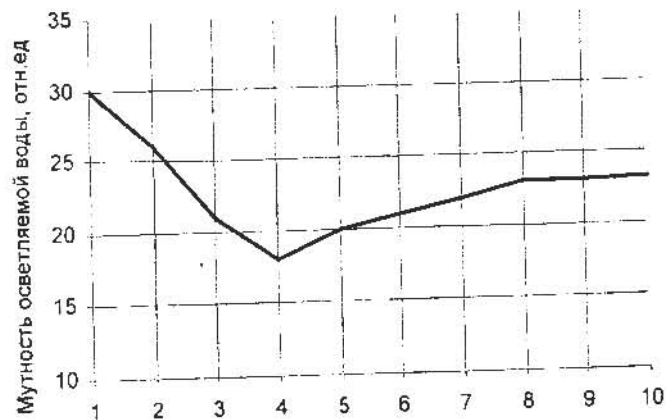


Рис. 13. Зависимость мутности осветляемой сточной воды от концентрации алюмината натрия (мг/л) при постоянной концентрации добавляемых феннопола (1 мг/л) и ПАХ (1 мл/л)

Примечание: объект - сточная вода целлюлозно-бумажной фабрики (г. Куопио, Финляндия), добавляемая реагентная система - ПАХ (1 мл/л) + NaAlO₂ (1...10 мг/л) + феннопол (1 мг/л)

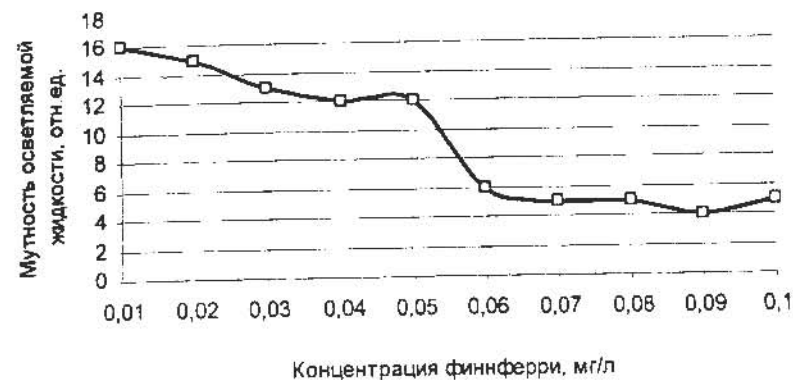


Рис. 14. Зависимость мутности осветляемой жидкости от концентрации добавляемого финнферри

Примечание: объект - сточная вода целлюлозно-бумажной фабрики (г. Куопио, Финляндия)

Исследования по удалению фосфора из сточных вод (г. Куопио, Финляндия) показывают, что для флотационной очистки этих вод целесообразно использовать серпентинит, а также такие реагенты, как различные соединения алюминия и железа (рис. 15).

Проведенные исследования по флотационной очистке сточных вод целлюлозно-бумажного предприятия концерна "Метсэ-Серла" (г. Куопио, Финляндия) позволили рекомендовать реагентный режим для работы промышленной установки напорной флотации, установленной на очистных сооружениях этого концерна.

Подобные исследования, подтвердившие описанные выше результаты, были проведены в условиях Киришского биохимического завода при доочистке сточных вод (хозбытовые стоки). В табл. 4 приведены данные по влиянию дозы сернокислого алюминия на эффект флотационной очистки сточных вод Киришского биохимического завода от фосфора.

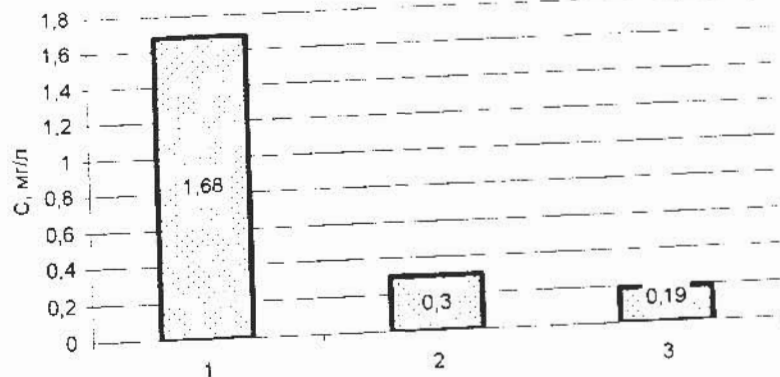


Рис. 15. Влияние добавок реагентов на концентрацию фосфора в сточной воде: 1 – контрольная проба (исходная вода), 2 – серпентинит (200мг/л) + ПАХ (1мл/л), 3 – ПАХ (1мл/л) + NaAlO_2 (5мг/л) + лабуфлок (1мг/л)

Таблица 4

Зависимость концентрации фосфора Р в хозяйственных стоках от количества добавленного 2%-ного раствора сернокислого алюминия

Исходная проба		Добавлено 2%-ный раствор $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ на 100мл пробы, мл	Проба после обработки $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$		% снижения Р
рН	Р, мг/л		рН	Р, мг/л	
7,95	7,1	1	6,45	1,80	74,6
		2	4,75	0,35	95,1
		3	4,75	0,70	90,1
		4	4,30	1,25	82,4
		5	4,25	1,90	73,2
7,8	6,0	1	6,40	2,25	62,5
		2	4,80	0,30	95,0
		3	4,40	0,80	86,7
		4	4,30	1,40	76,7
		5	4,15	2,45	59,2
7,7	4,9	1	6,2	0,45	90,8
		2	4,5	0,30	93,8
		3	4,25	0,80	83,6
		4	4,20	1,45	70,4
		5	4,15	2,10	57,1

Интерпретация полученных данных позволяет сделать выводы, что достижение описанного выше эффекта возможно благодаря тому, что в результате гидролиза соединений алюминия образуются хлопья, имеющие достаточно большие размеры. Последнее приводит к тому, что при проведении напорной флотации на хлопьях выделяются пузырьки, способные флотировать эти хлопья.

3.2. Флотационное извлечение из воды фосфоросодержащих частиц путем предварительного их взаимодействия с микроорганизмами активного ила

Применение неорганических коагулянтов для очистки сточных вод и осветления тонкодисперсных суспензий не всегда экономически выгодно. В связи с этим предпринимаются попытки использовать отходы различных производств в качестве реагентов для интенсификации сгущения суспензий. Особый интерес представляет использование микроорганизмов избыточного активного ила, образующегося при биохимической очистке сточных вод, а также других микроорганизмов (дрожжей, бактерий).

В настоящее время еще не полностью определены возможные пути утилизации избыточного активного ила. Использование микроорганизмов активного ила в качестве реагентов для сгущения суспензий является одним из наиболее перспективных методов утилизации его избыточного количества.

Учитывая большую практическую значимость рассматриваемого вопроса, были проведены исследования по влиянию дрожжевых и бактериальных культур на интенсификацию процесса сгущения различных суспензий, в том числе и фосфоритового флотоконцентрата.

Методика исследований на первом этапе состояла в наблюдении за скоростью осаждения суспензий флотоконцентрата фосфорита класса $-0,074 + 0,040\text{мм}$ в цилиндре емкостью 0,5л и определении мутности слива после осаждения твердой фазы. На втором этапе выбранный оптимальный реагентный режим использовали при флотационной очистке тонкодисперсной суспензий фосфоритового флотоконцентрата.

Микроорганизмы активного ила вводились в сгущаемую суспензию с концентрацией 7г/л. Дрожжи подавались в виде суспензии с концентрацией 12г/л. Содержание твердого в сгущаемой суспензии – 15%. Результаты экспериментальных исследований по влиянию микроорганизмов на скорость осаждения представлены в табл. 5 и 6.

Полученные результаты показывают, что скорость осаждения суспензии фосфоритового флотоконцентрата увеличивается по мере увеличения содержания микроорганизмов в суспензии.

Таблица 5

Влияние дрожжей на скорость осаждения флотоконцентрата

Расход дрожжей, кг/т фосфорита	Скорость осаждения суспензии фосфорита, м/ч	Содержание твердого в сливе после сгущения суспензии, мг/л
0	5,1	270
0,300	7,2	122
0,660	11,1	30
1,200	11,8	28
1,500	12,1	28

Таблица 6

Влияние микроорганизмов активного ила на скорость осаждения флотоконцентрата

Расход активного ила, кг/т фосфорита	Скорость осаждения суспензии фосфорита, м/ч	Содержание твердого в сливе после сгущения суспензии, мг/л
0	5,1	270
0,500	6,9	98
0,750	9,5	45
0,900	11,8	35
1,200	12,1	30
1,500	12,9	30

Эффективность обработки сгущаемой суспензии микроорганизмами в значительной степени зависит от условий оптимального контактирования. Были проведены экспериментальные исследования по изучению интенсивности перемешивания, характеризующейся

градиентом скорости, на мутность слива сгущаемой суспензии фосфорита. Методика исследований состояла в перемешивании фосфоритовой суспензии с микроорганизмами активного ила в аппарате с пропеллерной мешалкой. Градиент скорости определялся по известной методике. Мутность слива сгущаемой суспензии определялась после осаждения твердой фазы. В качестве флокулянта вводились микроорганизмы активного ила. Содержание твердого в суспензии флотоконцентрата фосфорита было постоянным и составляло 15%. Результаты этих исследований при содержании твердой фазы в суспензии 15% и расходе микроорганизмов активного ила 180мг/л представлены в табл. 7.

Таблица 7

Влияние интенсивности перемешивания на мутность слива сгущаемой фосфоритовой суспензии флотоконцентрата

Градиент скорости при перемешивании суспензии с микроорганизмами, с ⁻¹	Концентрация ВВ в сливе, мг/л
10	186
25	162
40	96
50	78
58	52
70	48
95	36
120	58
150	87

Анализ экспериментальных результатов показывает, что существует оптимальное значение градиента скорости, при котором мутность слива сгущаемой суспензии минимальна.

Полученные результаты можно рассмотреть, используя известные положения градиентной коагуляции, играющей основную роль при хлопьеобразовании тонкодисперсных суспензий. Процесс градиентной коагуляции в общем виде описывается уравнением:

$$C_t = C_0 e^{-GtX_0},$$

где C_t – концентрация частиц твердой фазы суспензии по истечении времени t ; C_0 – начальная концентрация частиц твердой фазы суспензии.

зии; X_0 – объемная концентрация микроорганизмов активного ила; G – градиент скорости.

Градиент скорости вычисляем по выражению:

$$G = \sqrt{\frac{N}{\mu V}},$$

где N – мощность, затрачиваемая на перемешивание, Вт; V – перемешиваемый объем, m^3 ; μ – динамическая вязкость суспензии, Па·с.

Приведенное уравнение, описывающее процесс хлопьеобразования, не учитывает процесс разрушения хлопьев за счет больших градиентов скорости, возникающих при перемешивании. Существование оптимальных значений градиента указывает на необходимость учета разрушения хлопьев. Однако известные уравнения не отражают в полной мере происходящие при этом явления. Ограничиваясь качественным анализом процесса хлопьеобразования с применением в качестве флокулянта активного ила отметим, что градиент скорости при перемешивании осветляемой суспензии с активным илом не должен превышать $90...100 c^{-1}$.

Большое значение при использовании активного ила в качестве флокулянта имеет его предварительное уплотнение. Известно, что одним из наиболее простых и эффективных способов уплотнения активного ила перед его использованием в качестве реагента, а точнее флокулянта, является напорная флотация. При этом флотиримость активного ила зависит от ряда факторов, в том числе и условий его культивирования. Например, при значительном накоплении в хлопьях активного ила хорошо растворимых газов таких, как углекислый газ, аммиак, активный ил склонен к самофлотиримости. Образующийся при этом пенный слой является самофлотиримости. Используя рыхлым с небольшой концентрацией активного ила. Использование самофлотиримости активного ила в сочетании с напорной флотацией также не позволяет получить компактный пенный слой с большой концентрацией активного ила.

Как известно, одним из наиболее эффективных способов интенсификации процесса уплотнения активного ила является его подкисление. При этом снижение pH особенно целесообразно при совместном использовании в качестве реагентов для сгущения фосфоритового концентрата ак-

тивного ила и кислоты, например, фосфорной.

Исследование механизма напорной флотации активного ила с его предварительным подкислением показало, что при снижении pH до $1,5...2$ резко уменьшается растворимость углекислого газа и он выделяется из жидкой фазы, в том числе и из хлопьев активного ила. При этом хлопья активного ила после выхода из них углекислого газа становятся компактными и проведение последующей напорной флотации приводит к образованию плотного пенного слоя с концентрацией активного ила в $1,5...2,0$ раза превышающей концентрацию активного ила в пенном слое без предварительного подкисления подвергаемого уплотнению флотацией активного ила. В табл. 8 приведены сведения как о влиянии pH на флотационное уплотнение активного ила, так и последующем влиянии pH на эффективность осветления суспензии фосфоритового концентрата класса минус $0,074mm$ с исходной концентрацией твердого 5% масс.

Приведенные в табл. 8 данные свидетельствуют, что предварительное подкисление активного ила до pH $1,5...2,0$ не только резко улучшает его флотационное сгущение, но и сорбционные характеристики микроорганизмов активного ила, что и приводит к заметному снижению концентрации твердого в жидкой фазе осветляемой тонкодисперсной суспензии фосфоритового концентрата.

Таблица 8
Влияние pH на флотационное уплотнение активного ила и его эффективность при дальнейшем использовании в качестве флокулянта для сгущения фосфоритового концентрата

Характеристика исходной суспензии активного ила		Концентрация активного ила в пенном слое, образующемся в результате напорной флотации (время флотации 1ч), г/л	Доза активного ила, используемого в качестве флокулянта, г/л	Концентрация твердого в активной жидкой фазе после разделения суспензии фосфоритового концентрата отстаиванием в течение 30 мин, г/л
концентрация, г/л	pH			
4,5	6,9	24,2	-	0,64
4,5	4,0	38,6	-	0,58
4,5	2,0	49,3	-	0,34
4,5	1,5	50,1	-	0,31
4,5	1,0	50,1	-	0,30

Фотографические исследования показывают, что в жидкой фазе суспензии активного ила при проведении напорной флотации могут существовать маленькие воздушные пузырьки диаметром примерно 0,001...0,05мм и пузырьки углекислого газа размером до 0,1...0,5мм. Это приводит к тому, что образуется агрегат тонкодисперсных частиц «пузырек воздуха – пузырек углекислого газа», обладающий большой подъемной силой. Это и приводит к увеличению скорости флотации активного ила и образованию плотного пенного слоя с высокой концентрацией активного ила.

Глава 4. Физико-химические особенности флотации дрожжевых и бактериальных клеток

4.1. Экспериментальное исследование флотиремости клеток микроорганизмов

Флотационный способ разделения биосуспензий имеет большое значение не только в процессах сгущения активного ила, но и при осветлении культуральной жидкости от находящихся там микроорганизмов, в том числе дрожжей и бактерий. Изучение этой проблемы имеет не только самостоятельное значение, но и весьма важно для исследования механизма флотации хлопьев активного ила, представленного совокупностью (биоценозом) различных микроорганизмов, в том числе бактерий и дрожжей. Проведенные автором исследования по флотации промышленных штаммов микроорганизмов показали на существенное влияние pH суспензии на кинетику флотации микроорганизмов, в частности штаммов дрожжей. На рис. 16–19 представлены кривые флотации исследуемых штаммов при разных значениях pH жидкой фазы суспензии, а на рис.20 и 21 – зависимость оптической плотности от времени для разных штаммов при одном и том же значении pH.

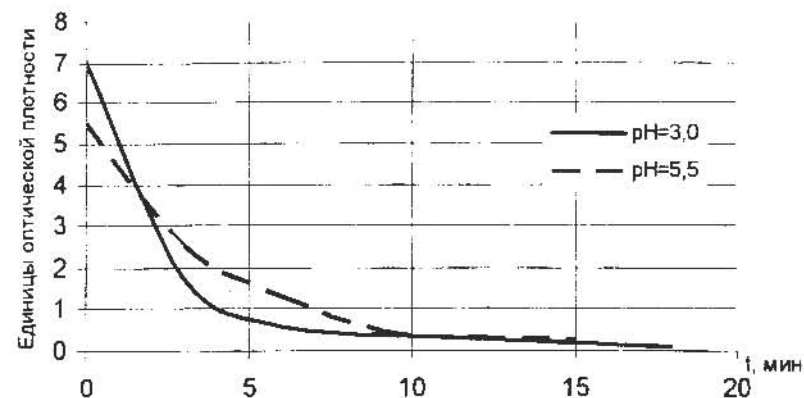


Рис. 16. Кривые флотации штамма *C. maltosa* ВСБ-777

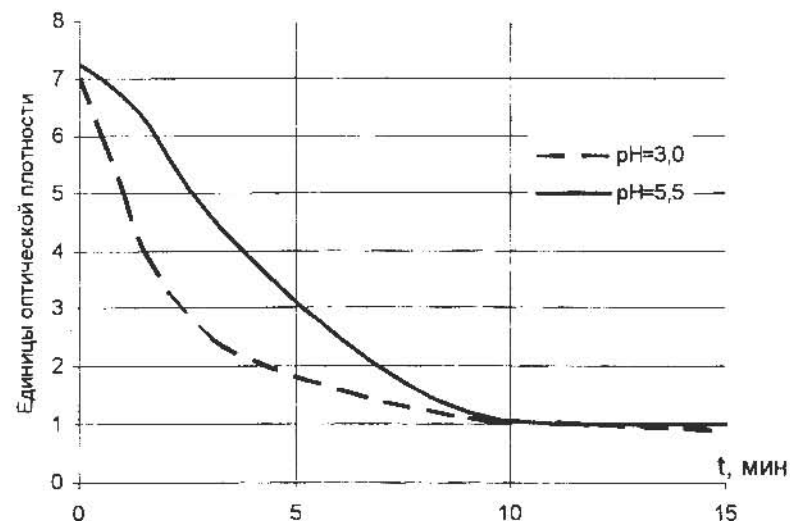


Рис. 17. Кривые флотации штамма *C. maltosa* ВСБ-893

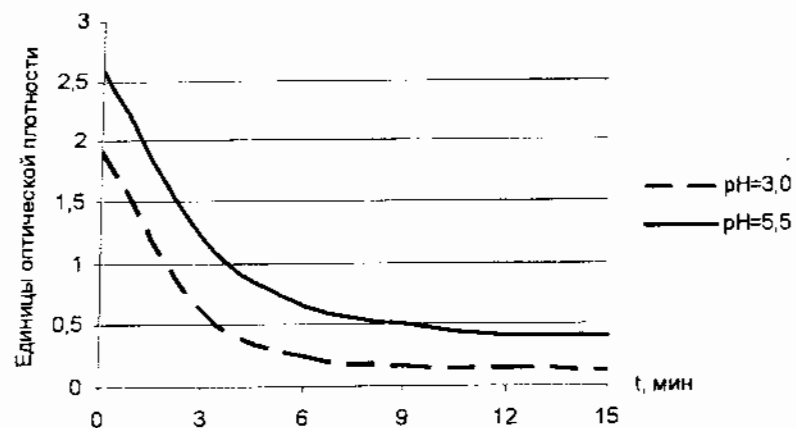


Рис. 18. Кривые флотации штамма *S.maltosa* ВСБ-928

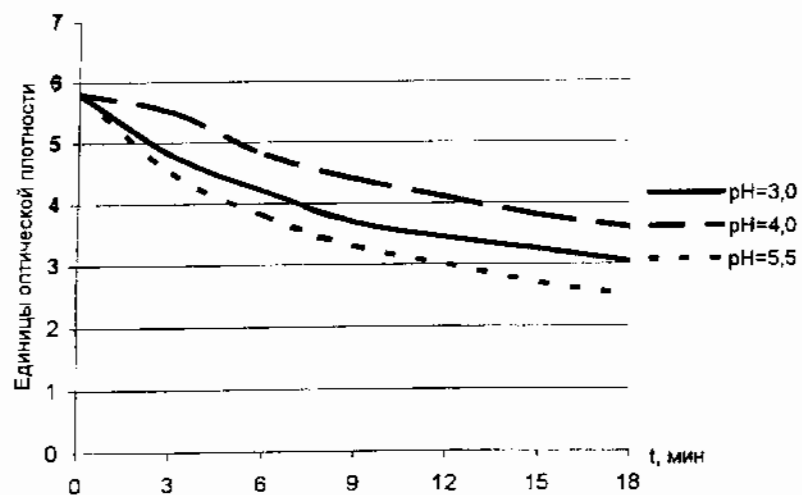


Рис. 19. Кривые флотации штамма *S.maltosa* ВСБ-744

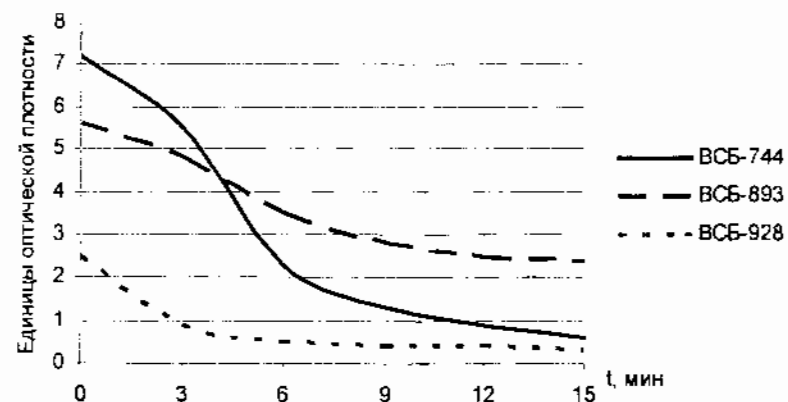


Рис. 20. Кривые флотации промышленных штаммов при рН = 5,5

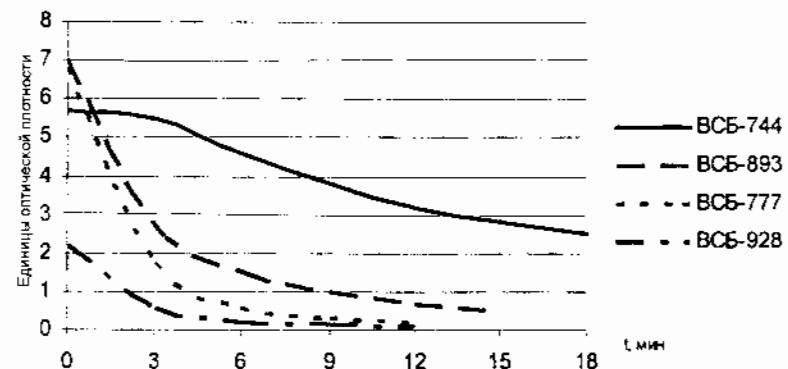


Рис. 21. Кривые флотации промышленных штаммов при рН = 3,0

Исследованные штаммы по флотируемости можно расположить в убывающий ряд: ВСБ-928 > ВСБ-777 > ВСБ-893 > ВСБ-744. Способность к седиментации в данном ряду соответственно возрастает.

Существенно хуже других флотируется штамм *S.maltosa* ВСБ-744. Оптическая плотность осветленного раствора данной культуры через 20 мин от начала флотации соответствует оптической

плотности осветленного раствора остальных исследуемых штаммов после 3 мин ведения процесса.

Полученные данные позволяют отметить влияние pH дрожжевой суспензии на время флотации. Причем для штаммов ВСБ-893, ВСБ-777 и ВСБ-928 изменение pH в щелочную сторону удлиняет период флотации, у штамма ВСБ-744 увеличение времени флотации вызывается отклонениями pH от значения 4,0 как в кислую, так и в щелочную сторону.

Интенсификация флотационного извлечения дрожжей и бактерий из культуральной жидкости связана с агрегацией дрожжевых и бактериальных клеток.

Как показали результаты сравнительных испытаний, наиболее эффективным способом доизвлечения клеток из отработанной культуральной жидкости является электрофлотация с растворимым анодом. При испытании электрофлотационных установок производительностью 1...5 м³/ч достигнута степень извлечения клеток в пределах 65...85%.

Исследование механизма извлечения дрожжевых и бактериальных клеток из отработанной культуральной жидкости показало, что на первой стадии электрофлотации наблюдается образование агрегатов клеток, в пустоты которых включаются пузырьки водорода и кислорода. Механический захват пузырьков, а не их прилипание к агрегатам в процессе электрофлотации, наблюдается при осветлении и других тонкодисперсных суспензий, например, суспензии фосфоритового концентрата класса минус 0,074 мм.

Интенсификация электрофлотационного осветления отработанной культуральной жидкости достигается использованием различных перегородок, помещаемых между электродами. Последнее приводит к перепаду значений pH в зонах катода и анода, что оказывает положительное влияние на процессы коагуляции.

В отдельных случаях электрофлотационный процесс может быть интенсифицирован путем введения в осветляемую суспензию флокулянтов. При этом, как показывают результаты исследований, наибольший эффект достигается при использовании флокулянтов катионного типа.

4.2. Интенсификация флотационного процесса разделения биосуспензий путем их предварительной обработки реагентами

Флотационные процессы широко используются в мировой практике очистки сточных вод для сгущения избыточного активного ила. Однако при ознакомлении, как с литературными данными, так и непосредственно с работой промышленных флотационных установок, как в России, так и за рубежом, можно убедиться, что возможности этого процесса еще мало используются. Одной из причин этого являются существенные отличия процесса флотации суспензий с тонкодисперсной фазой, каковыми являются сточные воды и активный ил и с другой стороны пульпы минералов в процессах обогащения. В последнем случае теория и практика флотации достаточно разработаны, причем многие положения из этой теории были перенесены и на случай флотации тонкодисперсных суспензий, хотя и не всегда обоснованно.

При флотационном осветлении тонкодисперсных суспензий, в том числе биосуспензий и сточных вод, важнейшее значение имеет размер флотируемых частиц или их агрегатов. Результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных различными авторами, показывают, что при размерах частиц, примерно менее 5...10 мкм, их флотируемость резко падает. На границе интервала флотируемости находятся размеры дрожжевых клеток. Однако в этом случае на процесс флотационного выделения этих клеток заметное влияние оказывают продукты метаболизма, некоторые из которых имеют заметно выраженные свойства поверхностно-активных веществ и флокулянтов, что интенсифицирует процесс флотации и не позволяет в этом случае проследить влияние размера дрожжевых клеток на их флотируемость.

Флотация активного ила, бактериальных клеток, а также мелкодисперсных частиц, присутствующих в сточных водах, в основном связана с присутствием этих объектов в жидкости в виде агрегатов или хлопьев. При этом в случае разрушения комплекса "агрегат частиц-пузырьки воздуха" важнейшим моментом является сохранение агрегата частиц с размером, превышающим значение

критического размера флотиремости тонкодисперсных частиц. В этой связи возникает проблема сохранения сфлуктурированных агрегатов частиц, в частности, от распада за счет действия гидродинамических сил.

Рассмотрение оценок градиента скорости для различных условий осуществления флотационной очистки сточных вод представляется целесообразным вести для двух вариантов: при аэрации воздухом (газом) и при отсутствии аэрации.

Влияние барботирования (аэрации) на разрушение агрегатов частиц рассмотрено, например, в работах Кэмп, а на флококомплексы "частица-пузырек" Н.Н. Рулевым. Согласно Кэмпу максимальное значение градиента скорости при всплывании пузырька воздуха диаметром D_B можно определить по формуле:

$$G_{\max} = \frac{g(\rho - \rho_1)D_B}{6\mu},$$

где ρ_1 — плотность пузырька воздуха, кг/м^3 ; ρ — плотность жидкости, кг/м^3 .

Для пузырьков диаметром 0,01...2,0 мм значения градиента скорости согласно Кэмпу приведены в табл.9.

Таблица 9

Значения градиента скорости в зависимости от размера пузырьков воздуха

Диаметр пузырьков, мм	Максимальное значение градиента скорости, с^{-1}
0,01	16
0,05	82
0,10	163
0,15	245
0,5	816
1,0	1633
2,0	3265

Согласно приведенным данным, уже при значениях скоростного градиента более 100с^{-1} может наблюдаться распад агрегатов частиц, образованных в результате осуществления коагуляционных и флокуляционных процессов. В этой связи анализ данных, приведенных в табл.9, показывает, что уже при размерах пузырьков, превышающих

0,1мм, скоростной градиент имеет значения, при которых возможно разрушение агрегатов частиц. Поэтому барботаж тонкодисперсных суспензий с агрегированной твердой фазой при проведении флотационных процессов не эффективен и вследствие этого пневматическая флотация не получила широкого распространения.

Гораздо большую эффективность имеет напорная флотация, при которой среда не подвергается барботажу, а пузырьки в результате перепада давления в жидкости выделяются на частицах или агрегатах частиц. При этом размер частиц также имеет существенное значение, что приводит к необходимости рассмотрения условий существования агрегатов частиц. Рассмотрим это на примере биосуспензий и сточных вод.

Агрегация клеток микроорганизмов, например, дрожжей и бактерий может происходить как за счет выделявшихся при культивировании продуктов метаболизма, в первую очередь экзополисахаридов, так и за счет введения в суспензию микроорганизмов коагулянтов и флокулянтов. Влияние экзополисахаридов на агрегацию клеток в достаточной степени проявляется при культивировании смешанных культур, например, метан- и метанолокисляющих культур, активного ила на стадии очистки сточных вод и др. При этом образующиеся экзополисахариды имеют моносакхаридный состав, который представлен в первую очередь остатками глюкозы. В последнем случае растворы обладают высокой вязкостью, которая заметно возрастает после нагревания до $120...130^\circ\text{C}$ и последующего охлаждения. Вязкость среды культивирования при этом имеет величину порядка (1...10) Па·с.

Интересно отметить, что при ферментации смешанных культур накопление экзополисахаридов может быть в 3...5 раз выше, чем при ферментации отдельных видов микроорганизмов. Такое повышенное содержание экзополисахаридов видимо связано с необходимостью защиты других популяций. Существенное влияние на процесс накопления экзополисахаридов оказывают условия культивирования микроорганизмов и, в первую очередь, состав питательной среды. Например, в процессах биологической очистки сточных вод при резко меняющемся их составе может существенно изменяться хлопьеобразование (агрегация) микроорганизмов активного ила, обусловленное главным образом накоплением экзополисахаридов.

Таким образом, оптимизация условий культивирования микроорганизмов активного ила имеет существенное значение для отделения его от водной фазы как в процессах с использованием отстаивания (центрифугирования), так и флотации, при осуществлении которых наличие хлопьев (агрегатов) является необходимым условием для успешного проведения этих процессов.

При сгущении биомассы отдельных видов микроорганизмов роль экзополисахаридов еще так явно не определена как, например, в биохимических процессах очистки сточных вод с использованием активного ила. В настоящее время имеются, как правило, только публикации в научно-технической литературе, а также ряд патентов, указывающих на возможность использования флокулирующих свойств экзополисахаридов в процессах выделения биомассы отдельных видов микроорганизмов. В процессах выделения биомассы дрожжей и бактерий в ряде случаев более эффективным является добавление коагулянтов и флокулянтов, например, введение в бактериальную суспензию коагулянтов и катионоактивных флокулянтов.

4.3. Доизвлечение дрожжей из отработанной культуральной жидкости электрофлотацией

Для осветления тонкодисперсных электропроводящих суспензий с высокой удельной электропроводностью перспективно применение электрофизических методов, к которым, в частности, относятся электрокоагуляция и электрофлотация.

Отметим основные моменты влияния электрического поля на водные системы. При наложении электрического однородного или неоднородного постоянного поля в водных системах наблюдаются эффекты, как правило, в следующей последовательности: электрофорез, поляризационная коагуляция, флокуляция, флотация. Условно процесс воздействия электрического поля на водную суспензию можно разделить на две стадии: флокуляцию и последующее осаждение укрупненных частиц или флотацию.

Стадия флокуляции для различных суспензий длится от нескольких десятков секунд до нескольких минут. В зависимости от

физико-химических свойств обрабатываемой суспензии в дальнейшем осуществляют либо осаждение, либо флотацию. При разделении суспензий или очистке сточных жидкостей от органических примесей наиболее эффективным является последовательное проведение коагуляции и флотации. Практически оба процесса можно осуществить в одном электрокоагуляторе, представляющем емкость, с находящимися в ней плоскими алюминиевыми или стальными электродами. Аппараты для электрофлотации отличаются от электрокоагуляторов применением специальных электродов, расположенных, как правило, горизонтально с расстоянием между ними 5...20 мм.

Разработанные в ГосНИИсинтезбелке электрофлотационные аппараты производительностью 1, 5, 100 м³/ч включают камеры коагуляции и флотации. Указанные аппараты были испытаны на ряде микробиологических производств.

В табл. 10 и 11 приведены результаты испытаний аппаратов производительностью 1 и 5 м³/ч на стадиях осветления отработанной культуральной жидкости и очистки сточных вод производства белково-витаминного концентрата.

Таблица 10
Результаты испытаний электрофлотационной установки
производительностью 5 м³/ч на стадии осветления отработанной
культуральной жидкости

Режим электрообработки		Концентрация абсолютно сухих веществ (АВС), %		
		отсепа-рированная культуральная жидкость	пенный продукт	слив
ток, А	напряжение, В			
68	17	0,78	3,37	0,35
68	17	0,64	3,71	0,23
65	15	0,67	5,27	0,24
80	22	0,62	4,35	0,18
80	22	0,81	2,67	0,20
100	37	0,72	1,85	0,26
100	37	0,85	2,63	0,27
35	100	0,88	2,39	0,35

Анализ результатов, представленных в табл.10 и 11, показывает, что наиболее эффективным при осветлении культуральной жидкости и очистке сточных вод является электрофлотация с предварительной электрокоагуляцией. На основании исследований, проведенных на лабораторных и опытных установках, были определены основные параметры процесса электрокоагуляционно-флотация: время электрокоагуляции 3...5 мин; время флотации 8...10 мин; плотность тока в обоих процессах $j = 10...20 \text{ мА/см}^2$

Таблица 11

Осветление культуральной жидкости и очистка сточных вод производства БВК на электрофлотационной установке производительностью $1 \text{ м}^3/\text{ч}$

Объект обработки	Условия проведения экспериментов	Концентрация взвешенных частиц, мг/л	ХПК, мг/л	Концентрация эфирорастворимых веществ, мг/л
Обработанная культуральная жидкость	Электрокоагуляция, $t=5$ мин	704/12	2712/497	-
	Электрофлотация с предварительной коагуляцией	704/24	2712/226	-
	Электрокоагуляция, $t=5$ мин с пневматическим перемешиванием	704/360	2712/542	-
	Электрокоагуляция, $t=10$ мин	176/16	2552/1206	-
	Электрокоагуляция, $t=12$ мин	176/16	2552/1156	-
	Электрофлотация с предварительной коагуляцией	176/20	2552/1020	-
Сточные воды	Электрофлотация, $t=10$ мин	120/20	1635/135	220/12
Сточные воды	Электрофлотация, $t=12$ мин	540/30	1950/410	540/65
Сточные воды	Электрофлотация, $t=15$ мин	170/12	1300/540	240/25
Примечания: t – время обработки; числитель – до, знаменатель – после электрообработки.				

Особый интерес представляет использование электрофлотационных аппаратов, содержащих расположенную между электродами перегородку.

Методика проведения экспериментов состоит в следующем. Электрообработку отработанной культуральной жидкости, отделенной сепарированием от биомассы дрожжей ВСБ-569, ВСБ-774, ВСБ-893, ВСБ-779 проводили в камере с электродами, на один из которых подавали отрицательный потенциал, на другой – положительный. Для разделения камеры на анодную и катодную ячейки использовали брезентовую перегородку. В качестве электродов использовали пластины площадью 144 см^2 из коррозионно-стойкой стали (КС) и алюминиевые.

Определение ХПК в отработанной культуральной жидкости (ОКЖ) проводили бихроматным методом, оптическую плотность определяли на фотоэлектроколориметре в кювете с толщиной слоя ОКЖ 3,00 мм с красным светофильтром. Контроль – дистиллированная вода. В результате экспериментов показано, что при электрической обработке культуральной жидкости изменяются следующие ее характеристики: рН, оптическая плотность, ХПК, причем характер изменения указанных характеристик неодинаков при электрообработке ОКЖ в камере с перегородкой и без нее.

При электрической обработке ОКЖ в камере, поделенной брезентовой перегородкой на катодное и анодное пространства, эти изменения носят более выраженный характер. Так, в ячейке с катодом весьма энергично идет процесс электрофлотации, на что указывает большое количество пены, скапливающейся на поверхности, заметное осветление культуральной жидкости (оптическая плотность ОКЖ через 1...1,5 ч электрообработки снижалась в ячейке с катодом в 10...100 раз), а также снижение ХПК в 1,5...2,0 раза. рН католита при наложении электрического поля резко увеличивается до сильнощелочного значения. В анодной ячейке через короткое время устанавливаются низкие значения рН, что вызывает частичное растворение материала анода и это способствует электрохимической коагуляции взвешенных и растворенных в культуральной жидкости веществ. На это указывает образование

хлопьевидного осадка в ОКЖ, а также незначительное изменение оптической плотности и ХПК культуральной жидкости (табл. 12).

Таблица 12
Изменение ХПК в процессе электрообработки культуральной жидкости (напряжение 25 В)

Культура	Сила тока, А	ХПК в исходной ОКЖ, мг/л	ХПК в ОКЖ после 1,5 ч электрообработки, мг/л	
			в католите	в анолите
ВСБ-569	3,0	1600	1000	1500
ВСБ-774	2,0	2200	1600	2000
ВСБ-779	3,5	2640	2400	2600
ВСБ-893	1,0	800	400	900

При электрической обработке культуральной жидкости исследованных культур в камере без разделительной перегородки изменение вышеперечисленных характеристик менее выражено (табл. 13).

Таблица 13
Характеристики культуральной жидкости дрожжей ВСБ-779, ВСБ-774 при электрической обработке (напряжение 25 В, время обработки 1,5 ч)

Культура	Материал электродов	рН ОКЖ		Оптическая плотность ОКЖ		ХПК ОКЖ, мг/л	
		исходной	обработанной	исходной	обработанной	исходной	обработанной
ВСБ-779	КС	4,2	5,3	1,1	0,8	1440	1360
ВСБ-779	Катод – КС, анод – АІ	4,3	5,0	0,6	0,09	1360	800
ВСБ-774	КС	5,0	6,1	0,9	0,2	1600	1400
ВСБ-774	Катод – КС, анод – АІ	5,3	6,9	0,75	0,01	1600	1120

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показали, что электрообработка ОКЖ с разделительной перегородкой является более эффективным способом очистки, чем

электрообработка без перегородки. Следует также отметить, что использование электрообработки с перегородкой, в частности, с ионообменной мембраной, позволяет не только очищать ОКЖ, но и регулировать ее ионный состав.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Электрообработка культуральной жидкости в камере с разделительной перегородкой является более эффективным способом очистки, чем без перегородки.

2. Количество взвешенных частиц в культуральной жидкости, оцениваемое по величине оптической плотности, уменьшается при электрообработке ОКЖ с разделительной перегородкой в 10...100 раз.

Глава 5. Очистка нефтесодержащих сточных вод

5.1. Очистка поверхностных сточных вод

Для исключения возможных экологических катастроф и уменьшения загрязнения почв и грунтов, подземного водоносного горизонта на территории промышленных предприятий, в том числе предприятий энергетики (ТЭЦ, ГРЭС и т.д.) и транспорта (автотремонтные и автотранспортные подразделения, мойки автомобилей, АЗС и др.) должны быть в обязательном порядке сооружены локальные очистные установки поверхностных сточных вод. Такие установки, как правило, включают приемную решетку, песколовку, отстойник, флотатор, коалесцентные и сорбционные фильтры доочистки [1]. Разработчики локальных очистных установок (сооружений) поверхностных сточных вод утверждают, что их использование позволяет получать очищенную сточную с нормативными показателями [2]. Однако на практике в большинстве случаев не удается достичь нормативных показателей по разным причинам, в том числе из-за неправильной эксплуатации, а также из-за низкого уровня технических решений. По нашему мне-

нию, эффективность работы локальных очистных сооружений поверхностных сточных вод во многом зависит от технического уровня устройств, с помощью которых происходит извлечение нефтепродуктов, в частности флотатора и фильтров доочистки. В этой связи нами разработан комбинированный флотатор усовершенствованной конструкции, позволяющий извлекать до 95% содержащихся в воде нефтепродуктов.

Рассмотрим более подробно предлагаемую схему очистки поверхностных сточных вод.

Поверхностные сточные воды с производственной территории, проходя через решетку, собираются в емкости-отстойнике (рис.22). Сточная вода из емкости 1 откачивается насосом 2 и подается в пневматическую флотационную машину 3 типа ПФМ-0,5 с тонкослойным блоком осветления. В указанной флотационной машине оригинальной конструкции происходит извлечение тонкодисперсных капель нефтепродуктов при всплывании их вместе с пузырьками воздуха, образующимися при диспергировании воздуха путем подачи его под давлением через пористые аэраторы, выполненные из специальной резины. 12 аэраторов устанавливают по три штуки в каждой из четырех камер указанной флотационной машины.

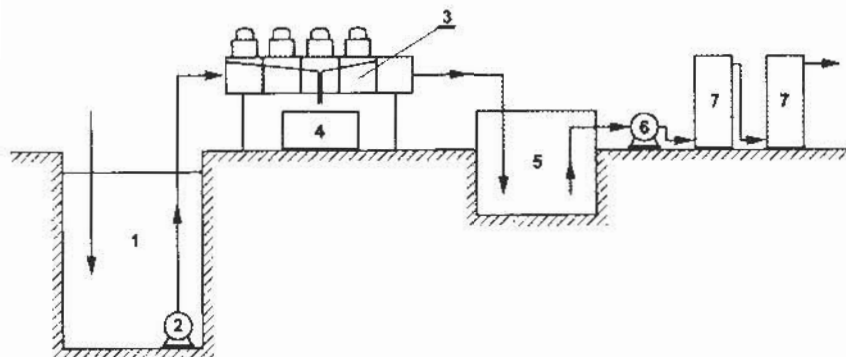


Рис.22. Принципиальная схема очистки поверхностных сточных вод

В дополнительной пятой камере флотационной машины установлен блок тонкослойного осветления для доизвлечения тонкодис-

персных капель нефтепродуктов. Очищаемая сточная вода последовательно проходит все указанные камеры и при этом улавливаемые нефтезагрязнения в виде пенного продукта собираются в верхней части слоя очищаемой воды. Всплывающие нефтепродукты вместе с пузырьками воздуха создают пенный слой, который самотеком удаляется в сборник пенного продукта 4 (поставляется вместе с флотационной машиной). После отстоя пенного продукта, представляющего собой смесь воды и уловленных нефтепродуктов, декантированная вода сливается в заглубленную емкость 1. Очищенная жидкость выводится из флотационной машины, последовательно проходя через блок тонкослойного осветления и устройство поддержания заданного уровня очищаемой жидкости во флотационной машине и самотеком поступает в промежуточный резервуар (сборник) 5 рабочим объемом не менее 3 м^3 , выполненный из монолитного или сборного железобетона.

С помощью поверхностного насоса 6 предварительно очищенная вода подается на доочистку в сорбционные фильтры 7. Первый по ходу движения жидкости фильтр имеет комбинированную загрузку, включающую слой керамзита (нижний слой) и слой активированного угля, а второй фильтр полностью загружен активированным углем. В этих фильтрах напорного типа используется уголь близкий по своим свойствам к углю марки АГ-3. Это позволяет проводить глубокую доочистку поверхностных сточных вод до остаточного содержания нефтепродуктов не более $0,05\text{ мг/л}$.

С учетом сезонной специфики работы очистной установки предлагается не регенерировать угольную загрузку, а использовать ее только в течение одного сезона. Отработанную загрузку целесообразно ликвидировать сжиганием, например, в котельной или в специальной печи, где в качестве топлива используется уголь. Очищенная сточная вода с содержанием нефтепродуктов не более $0,05\text{ мг/л}$ может быть сброшена на рельеф или в расположенный рядом водоем.

Известно, что эффективность работы флотомашин во многом зависит от типа и конструкции аэраторов. В этой связи следует более подробно рассмотреть устройство и принцип действия применяемых в этих машинах аэраторов.

Во флотомашинах пневматического типа применяются преимущественно трубчатые аэраторы, которые обычно представляют собой сварную конструкцию из труб, состоящую из каркаса с центральным коллектором, на котором установлены подводящий и конденсатный патрубки. При этом на каркасе равномерно распределены штуцеры, на которые устанавливаются и закрепляются манжетами диспергирующие элементы из перфорированных резиновых трубок.

Аэратор работает следующим образом. При подаче сжатого воздуха в центральный коллектор происходит его равномерное распределение по всем диспергирующим элементам. Отверстия в резиновых трубках раскрываются и при этом происходит выход воздуха в воду в виде пузырьков. Расход воздуха через такие аэраторы определяется давлением на входе, размером диспергирующих элементов, их количеством, а также размером пор на диспергаторе.

При прекращении подачи воздуха в аэратор поры на диспергирующем элементе закрываются и предотвращают попадание воды с находящимися в ней загрязнениями в каркас аэратора. Такие трубчатые аэраторы обеспечивают равномерность аэрации, хорошую дисперсность воздушных пузырьков и надежность в работе. Рабочее давление на входе в аэратор в зависимости от глубины погружения во флотомашину составляет 0,115...0,135 МПа.

Флотомашинка указанного типа была внедрена на различных предприятиях и в этой связи технологическая схема очистки сточных вод в отдельных случаях отличалась от представленной выше. Установки для очистки сточных вод, включающие эту флотомашину, были внедрены на различных предприятиях энергетики и транспорта, в частности в ОАО «Мосэнерго» (Подольские электросети), в фирме «Диоскан» (г. Луховицы Московской обл.), автокомбинате №13 (г. Москва) и т.д.

Одной из главных характеристик, влияющих на экономичность пневматических флотомашин, является сопротивление аэратора при продувке через его поры воздуха. В этой связи ко всем трубчатым аэраторам предъявляются следующие требования: минимальные и одинаковые размеры пор и возможно меньшее сопротивление при продувке через них воздуха. При увеличении

диаметра пор снижается их сопротивление, но увеличивается размер пузырьков.

В зависимости от эластичности резины и гидростатического давления воды размер пор в трубчатых аэраторах составляет 0,5...2,5 мм. Известно, что расход воздуха в аэраторе от давления заметно увеличивается. При этом с увеличением давления изменяется и средний эквивалентный диаметр пузырька: сначала он увеличивается и достигает максимума, а затем уменьшается до минимума. При использовании мягких трубок этот максимум соответствует давлению порядка 80 кПа, а для жестких трубок – 100 кПа [11]. Следует отметить, что с увеличением концентрации вспенивателя (поверхностно-активных веществ) размер пузырьков уменьшается.

Результаты испытаний показывают, что резиновые перфорированные трубки устойчиво работают даже в большеобъемных флотационных машинах пневматического типа. При этом обеспечивается получение пузырьков диаметром 0,3...1,5 мм.

С учетом механической прочности и максимальной аэрирующей способности аэратора для трубок с внутренним диаметром от 8 до 12 мм оптимальное количество пор составляет примерно 35...40 на 1 см² аэратора. Для больших размеров трубок количество пор увеличивается до 60...70 на 1 см². С увеличением диаметра и толщины стенок трубок (до 5...8 мм) давление возрастает от 140 до 160 кПа для обеспечения равномерности аэрации по длине аэратора.

Перфорацию эластичных трубок, устанавливаемых на трубчатых аэраторах, осуществляют на специальной машине марки МП-1. Конец трубки, подлежащей перфорации, срезается под углом 10...45° и вставляется между направляющими и протяжными роликами. Затем включается электродвигатель, который через редуктор приводит в рабочее состояние каретку с иглодержателем, после чего осуществляется перфорация трубки. Требуемый шаг между отверстиями при перфорации резиновых трубок определяется изменением диаметра протяжного барабана и установкой игл на иглодержателе с соответствующим шагом.

Машина МП-1 позволяет перфорировать трубки с использованием круглых игл диаметром 0,5...3,0мм и плоских с шириной отверстий от 0,25мм и более. Длина щели зависит от ширины используемой иглы и достигает 6мм. От количества и размеров отверстий на трубке зависит пористость аэратора. Проходные отверстия на трубках располагаются в шахматном порядке. Обычно расстояние между центрами отверстий по окружности в зависимости от диаметра трубок составляет 2...4мм.

Перфорированные трубки проверяют на газопроницаемость, которая при давлении 0,1МПа для образцов длиной 1,7м должна составлять 0,2...0,45 и 0,05...0,15 м³/мин для трубок 25×5 и 16×5мм соответственно. Перфорированные образцы трубок в течение 10...15мин испытываются на разрыв при давлении выше рабочего в 2...2,5 раза.

Указанные выше аэраторы комплектуются трубками одного типоразмера и одинаковой газопроницаемости. Допустимое отклонение по газопроницаемости перфорированных трубок не должно превышать 10%. Сборка и проверка аэраторов включали установку перфорированных резиновых трубок, опрессовку аэратора, испытание на надежность, равномерность аэрации и определение расходных характеристик.

Описанная выше подготовка аэраторов была проведена частично на стадии изготовления резиновых аэраторов 25×5мм длиной 900мм и частично – на стадии пуско-наладки. Осуществление такой подготовки обеспечило в дальнейшем эффективную работу флотомашин, что и было подтверждено результатами длительных испытаний.

Концентрация нефтепродуктов в очищенной воде, выходящей из флотомашин, составила 0,3...2,0мг/л (в отдельных случаях до 4...5мг/л). Указанное качество очистки технологического конденсата было подтверждено в результате проведения длительных испытаний опытных образцов пневматической флотационной машины и фильтра доочистки (табл. 14).

Данные испытаний, представленные в табл.14, показывают, что концентрация нефтепродуктов в воде после флотомашин равна примерно 2,0...6,5мг/л и в значительной степени зависит от их

начальной концентрации. Этот показатель, по крайней мере, не хуже подобных характеристик флотомашин крупнейшей фирмы "Vemko" (США). После доочистки на фильтрах остаточная концентрация нефтепродуктов в воде не превышает 0,05мг/л.

Таблица 14
Результаты промышленных испытаний пневматической флотационной машины ПФМ-0,5

№ пробы	Концентрация нефтепродуктов в воде, мг/л		
	до очистки	после ПФМ	после фильтров
1	6,51	2,37	0,05
2	24,9	4,1	0,01
3	29,5	5,3	0,05
4	27,8	3,9	0,04
5	43,5	6,4	0,05
6	11,2	3,7	0,03
7	5,8	1,9	0,01
8	9,5	2,7	0,03
9	7,1	2,1	0,01
10	8,4	2,8	0,02

Гарантированное качество очищенной воды во многом определяется правильной эксплуатацией локальных очистных сооружений.

5.2. Очистка конденсата турбоустановок от нефтепродуктов с использованием пневматической флотационной машины

На ряде электростанций с теплофикационными и конденсационными турбоустановками проблемой является попадание турбинного масла в линию основного конденсата. Происходит это в связи с протечкой масла по валу турбины через камеру уплотнений и пароструйные эжекторы в охладители эжекторов и далее в систему основного конденсата.

Указанные протечки масла усиливаются при нестационарных режимах, например, во время пусков и остановок турбоустановок. Обычно при установившейся нагрузке содержание нефтепродуктов

в конденсате эжекторов уплотнений не превышает 5 мг/л. При пусках и остановках турбины концентрация нефтепродуктов может возрастать до 50 мг/л и более, что приводит к значительному снижению ресурсов ионообменных смол фильтров блочной обессоливающей установки (БОУ). Наиболее рациональным решением этой проблемы является локальная очистка конденсата уплотнений эжекторов от нефтепродуктов. При этом технология очистки не должна содержать напорных фильтрующих элементов, так как это значительно усложнит эксплуатацию турбоустановки. Особенно важно, чтобы осуществлялась очистка от залповых сбросов нефтепродуктов. Для решения указанной задачи на энергоблоках Южной ТЭЦ ОАО «Ленэнерго», оснащенных турбоустановками Т-250, установлены нефтеловушки отстойного типа. Опыт эксплуатации этих нефтеловушек показал, что с их помощью решить проблему очистки конденсата не удастся. Причины две: высокая температура конденсата (55...70°C) и высокая скорость потока воды. Для обеспечения очистки конденсата уплотнений была предложена флотационная машина пневматического типа, опытный образец которой установлен на энергоблоке №2. Пневматическая флотационная машина была установлена на стадии доочистки технологического конденсата после существующей нефтеловушки.

Испытания пневматической флотомашин были проведены в два этапа. На первом этапе в основном отрабатывался режим аэрации, который существенным образом влияет на эффективность флотационной очистки конденсата. В табл. 15 представлены результаты очистки конденсата в зависимости от интенсивности аэрации при уровне воды во флотаторе 0,9 м.

Анализ данных, представленных в табл. 15, показывает, что наибольший эффект очистки конденсата флотацией достигается при интенсивности аэрации 0,8 м³ на 1 м² поверхности конденсата в минуту. При проведении итоговых испытаний в тех же условиях было установлено, что концентрация нефтепродуктов в очищенной воде, выходящей из флотомашин, составила 0,3...2,0 мг/л (в отдельных случаях до 4...5 мг/л).

Таблица 15
Зависимость эффективности флотационной очистки конденсата от интенсивности аэрации его воздухом

№ пробы	Интенсивность аэрации, м³/м²·мин	Концентрация нефтепродуктов, мг/л		Эффект очистки, %
		до очистки	после очистки	
1	0,3	7,2	4,1	43
2	0,4	7,2	3,9	46
3	0,5	7,2	2,3	68
4	0,6	7,2	1,8	75
5	0,7	7,2	1,1	84
6	0,8	7,2	0,7	90
7	0,9	7,2	1,3	82
8	1,0	7,2	1,9	74
9	1,1	7,2	2,7	63
10	1,2	7,2	3,8	47

Указанное качество очистки технологического конденсата было подтверждено в результате проведения длительных испытаний опытного образца пневматической флотационной машины в КТЦ Южной ТЭЦ на энергоблоке №2. Итоговые результаты испытаний представлены в табл. 16.

Таблица 16
Итоговые результаты промышленных испытаний пневматической флотационной машины ПФМ-0,5 на энергоблоке №2 Южной ТЭЦ ОАО «Ленэнерго»

№ пробы	Концентрация нефтепродуктов в технологическом конденсате, мг/л	
	до очистки	после очистки
1	2,34	0,36
2	41,0	3,7
3	37,0	3,2
4	51,3	4,2
5	28,6	2,0
6	10,1	0,4
7	4,7	0,7
8	8,4	1,0
9	2,6	0,3
10	4,1	0,5

Как видно качество очистки воды от нефтепродуктов не превышает 4...5 мг/л даже при их больших начальных концентрациях. Это позволяет гарантировать указанное качество при эксплуатации подобных установок на стадии очистки технологического конденсата от нефтепродуктов.

Гарантированное качество очищенной воды во многом будет определяться также правильной эксплуатацией локальных очистных сооружений. Во время эксплуатации очистных сооружений должен осуществляться постоянный контроль. Методы контроля за работой очистных сооружений включают:

- визуальный контроль за работой технологического оборудования;
- проведение анализов с помощью специальных приборов.

5.3. Очистка нефтесодержащих стоков электрофлотацией

Электрофлотационный способ, как уже отмечалось, является одним из наиболее эффективных при очистке воды от нефтепродуктов, тонкодисперсных частиц, растворенных органических соединений. Наиболее высокая степень очистки сточных вод достигается в электрофлотационных аппаратах, имеющих наряду с флотационной камерой и камеру электрокоагуляции. В этом случае сточные воды предварительно подвергаются воздействию как электрического поля, так и образующихся при осуществлении процесса электрокоагуляции оксидов металлов, являющихся продуктами растворения анодных электродных пластин. В камере электрокоагуляции происходит образование агрегатов путем адсорбции загрязнений на хлопьях гидрооксида алюминия или железа. При этом в образующиеся агрегаты включаются пузырьки, выделяющиеся при электролизе водорода и кислорода. Эти агрегаты имеют меньшую плотность, чем плотность воды. Однако, скорость их флотационного отделения от воды в большинстве случаев невелика. Для интенсификации отделения этих агрегатов от воды и доочистки осветленной жидкости используют стадию электрофлотации (далее флотации) с использованием нерастворимого анода. В большинстве случаев время пребывания сточных вод на стадии электрокоагуляции и флотации одинаково. При этом максимальное

общее время сточных вод на стадиях электрокоагуляции и флотации составляет 30...40 мин.

Электрофлотационные аппараты классифицируются по следующим признакам:

- режиму работы (периодический или непрерывный);
- направлению движения потока жидкости относительно пузырьков электролизных газов (прямоточный или противоточный);
- конструктивным признакам;
- типу и параметрам электрического поля (однородное или неоднородное) и способу включения электродов (монополярный или биполярный);
- технологическому назначению.

Основные принципы конструирования электрофлотационных аппаратов включают следующие требования:

- создание в рабочей секции благоприятного гидродинамического режима, предотвращение уноса с потоком нагруженных и ненагруженных пузырьков электролизных газов, отвод очищенной жидкости вблизи зоны электродов;
- создание во флотируемой среде оптимальной крупности и концентрации пузырьков электролитических газов целенаправленным изменением условий электролиза (рН, плотность тока, температура среды и т.д.);
- достаточный путь движения пузырьков в жидкости для максимального образования аэрофлокул, полный перевод всех взвешенных частиц в пенный слой и т.д.

Приводимая методика расчета электрофлотационных аппаратов (электрокоагуляция-флотация) позволяет получить основные параметры, необходимые для конструирования аппаратуры этого типа.

Расчет геометрических параметров электрофлотационного аппарата

Исходные требования. Производительность электрофлотационного аппарата $Q = 15 \text{ м}^3/\text{ч}$; время электрофлотации $t = 0,6 \text{ ч}$; электрофлотационный аппарат должен работать по схеме "электрокоагуляция-флотация" с одинаковым временем пребывания сточных вод на каж-

дой стадии; концентрация алюминия (максимальная), добавляемая в нефтесодержащие сточные воды – 20 мг/л.

1. Рабочий объем электрофлотационного аппарата

$$V = Q \times t = 15 \times 0,6 = 9,0 \text{ м}^3.$$

2. Объем камеры электрокоагуляции и флотокамеры.

Ранее проведенными экспериментальными исследованиями установлено, что сточные воды должны пребывать одинаковое время на стадиях электрокоагуляции и флотации, поэтому

$$V_1 = V_2 = V / 2 = 4,5 \text{ м}^3,$$

где V_1 – объем камеры электрокоагуляции; V_2 – объем флотокамеры.

3. Глубина камеры электрокоагуляции и камеры флотации выбирается с учетом проведенных испытаний пилотной электрофлотационной установки. При этом была рекомендована глубина камер электрокоагуляции и флотации в пределах 1,4...1,45 м ($h_{\text{ф}}=1,425$ м).

4. Площадь поперечного сечения камер электрокоагуляции и флотации

$$S_1 = S_2 = V / (2 \times h_{\text{ф}}) = 9,0 / (2 \times 1,425) = 3,16 \text{ м}^2.$$

5. Соотношение длины (a) и ширины (b) камер электрокоагуляции и флотации выбирается как 2:1.

$$\text{Тогда } S_1 = a \times b = 2b^2 = 3,16 \text{ м}^2, \quad b = 1,26 \text{ м}, \quad a = 2,52 \text{ м}.$$

Расчет электрических параметров электрофлотационного аппарата

1. Количество пакетов электродов в камере электрокоагуляции определяется так:

Один пакет электродов включает N электродов размером $a \times (b-0,2)$ м, причем электрическое подключение к пакету электродов – биполярное. Толщина пакета электродов d , как показывают экспериментальные исследования, должна составлять примерно 250 мм. Расстояние между электродами, в качестве которых могут быть применены дюралюминий или сталь-3, составляет около 20...22 мм в зависимости от толщины электродов d_1 . Таким образом:

$$N = a / b = 2520 / 250 \approx 10.$$

2. Продолжительность работы K анодных электродных пластин может быть определена с помощью соотношения:

$$K = (n \times d_1 \times S_{\text{ан}} \times \rho) / (Q \times D_{\text{Al(Fe)}}) \text{ (сут)},$$

где n – количество анодных электродных пластин; d_1 – толщина пластинчатых электродов (анодов); $S_{\text{ан}}$ – рабочая поверхность анодов; ρ – плотность материала анодов; Q – производительность электрофлотационной установки; $D_{\text{Al(Fe)}}$ – доза алюминия (железа).
 $K = (50 \times 2,7 \times 10^3 \times 2,52 \times 1,06 \times 3 \times 10^{-3} \times 0,7) / (20 \times 10^{-3} \times 15 \times 24) = 105 \text{ сут}.$

3. Сила тока, необходимая для поддержания концентрации алюминия в пределах до 20 мг/л:

$$I = (F \times n \times D_{\text{Al}} \times Q) / (\eta \times A \times t \times K),$$

где I – сила тока; F – постоянная Фарадея (96500 Кл); n – валентность, η – выход металла по току; A – атомный вес металла; t – время электрообработки.

$$I = (96500 \times 3 \times 20 \times 10^{-3} \times 15 \times 3600 \times 24) / (120 \times 27 \times 3600 \times 24) = 26,81 \text{ А}.$$

4. Плотность тока в камере электрокоагуляции

$$j = I / S = 26,81 / (2,51 \times 1,04) = 10,04 \text{ А/м}^2.$$

5. В камере флотации графитовый анод располагается на днище аппарата, а сетчатый катод – на расстоянии 20...40 мм от анода. Режим электрофлотации, как показывают эксперименты по очистке нефтесодержащих сточных вод, в большинстве случаев следующий: плотность тока 10...20 А/см² (100...200 А/м²); время электрофлотации 0,6 / 2 = 0,3 ч.

Расчет электрофлотационных аппаратов производительностью значительно менее 15 м³/ч, например, производительностью 1 м³/ч, можно проводить по упрощенной методике, которую приводим ниже.

Расчет электрофлотационных камер. Расчет проводится по стандартной методике.

1. Вычисляем площадь поперечного сечения

$$F_1 = Q / v_1,$$

где v_1 – скорость движения жидкости в камере электрокоагуляции.

Скорость движения жидкости не должна превышать скорость подъема пузырьков газов, выделяющихся при электролизе. Согласно [1] скорость подъема пузырьков при плотности тока 20 А/см² составляет около 1 см/с

$$F_1 = 10^6 / (1 \times 3600) = 278 \text{ см}^2.$$

2. Определяем количество секций в камере
$$N = (V_1 \times t) / h = (1 \times 150) / 50 = 3.$$

3. Отношение ширины аппарата B к длине L обычно принимают 0,5. Длина флотокамеры, как будет показано далее, составляет 0,83 м, тогда ширина – 0,4 м. Следовательно, ширина камеры электрокоагуляции также – 0,4 м. Зная площадь поперечного сечения одной секции камеры электрокоагуляции, находим количество электродов в секции.

Длина поперечного сечения камеры электрокоагуляции l_1

$$l_1 = F_1 / B = 278 / 40 \approx 7 \text{ см} = 70 \text{ мм}.$$

Количество электродов в секции n :

$$n = (l_1 - a) / a = (70 - 7) / 7 = 9.$$

4. Определяем мощность, потребляемую в камере электрокоагуляции.

Площадь электрода: $S = B \times h = 0,4 \times 0,5 = 0,2 \text{ м}^2$.

Сила тока: $I = j \times S$, т.е. $I = 10 \text{ мА/см}^2 \times 2000 \text{ см}^2 = 20 \text{ А}$.

Мощность, затрачиваемая при электрообработке в одной секции камеры электрокоагуляции, $W = I \times U$.

Падение напряжения на участке длиной 7 м для культуральных б сточных жидкостей составляет около 1...2 В.

Общее падение напряжения для секции: $U = 5 \text{ В} \times 2 = 10 \text{ В}$.

$$W_1 = 20 \text{ А} \times 40 \text{ В} = 220 \text{ Вт} = 0,2 \text{ кВт}.$$

Общая мощность, потребляемая во всей камере электрокоагуляции:

$$W = N \times W_1 = 3 \times 2 = 0,6 \text{ кВт}.$$

5. Удельный расход электроэнергии для камеры электрокоагуляции:

$$P = W / Q = 0,6 / 1 = 0,6 \text{ кВт/м}^3.$$

Расчет камеры флотации

1. Определяем объем флотокамеры $w = Q \times t$.

Время флотации $t = 1/6 \text{ ч}$.

$$W = 1 \text{ м}^3/\text{ч} \times 1/6 \text{ ч} \approx 0,167 \text{ м}^3.$$

2. Площадь поперечного сечения флотокамеры

$$F_2 = Q / v_2,$$

где v_2 – скорость очищаемой жидкости.

Обычно считают $v_2 = 1 \text{ мм/с} = 3,6 \text{ м/ч}$

$$F_2 = 1 / 3,6 = 0,278 \text{ м}^2.$$

3. Рабочая глубина жидкости во флотокамере

$$h_2 = w / F_2 = 0,167 / 0,278 = 0,6 \text{ м}.$$

4. Полная высота аппарата $H = h_0 + h_2$,

где h_0 – высота пены. Для аппаратов производительностью $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ принимают $h_0 = 0,1 \text{ м}$.

$$H = 0,6 + 0,1 = 0,7 \text{ м}.$$

5. Отношение ширины флотокамеры B к длине L принимают обычно 0,5. Тогда размеры флотокамеры:

$$B = 0,4 \text{ м и } L = 0,83 \text{ м}.$$

6. Мощность, потребляемая во флотокамере определяют при следующих параметрах:

$$j = 20 \dots 30 \text{ мА/см}^2, U = 10 \dots 12 \text{ В}.$$

Сила тока $I = j \times F$,

$$I = 20 \times 2078 = 55,6 \text{ А}.$$

Мощность: $W_2 = I \times U$,

$$W_2 = 55,6 \times 10 = 0,556 \text{ кВт}.$$

7. Удельный расход электроэнергии для флотокамеры

$$P = W_2 / Q = 0,556 / 1 = 0,556 \text{ кВт·ч/м}^3.$$

8. Удельный расход электроэнергии для всей установки

$$W_0 = W + W_2 = 0,6 + 0,556 \approx 1,15 \text{ кВт·ч/м}^3.$$

Следует отметить, что около 80% электроэнергии затрачивается на электрокоагуляцию.

Глава 6. Флотационная очистка жиросодержащих стоков

6.1. Очистка стоков после мойки тары пищевых производств

Проблема очистки сточных вод предприятий пищевой промышленности в течение последних десятилетий остается весьма актуальной. В определенной степени это обусловлено большими концентрациями жиров и жироподобных веществ в сточных водах, а также необходимостью высокой степени очистки этих стоков. В этой связи некоторые разработчики предлагают для очистки сточных вод многостадийные технологические схемы, что приводит к большим материальным и энергозатратам [1,2].

Для выбора наиболее эффективного и простого способа очистки жиросодержащих сточных вод был проведен поиск и сравнение различных способов очистки, среди которых наиболее эффективным, по нашему мнению, оказался флотационный. Для определения эффективности способа флотации были проведены лабораторные исследования по очистке промывных жиросодержащих сточных вод, образующихся после мойки отработанной полиэтиленовой пленки. Очищенная от загрязнений бывшая в употреблении пленка в дальнейшем может быть использована для производства различной тары из полиэтилена, в частности мешков для мусора.

Мойка грязной полиэтиленовой пленки проводилась по схеме, представленной на рис.23. В этот аппарат подавалась теплая вода температурой 40...60°C и в отдельных случаях стиральный порошок (использовался стиральный порошок «Новость»). Промывная вода после 20...30 мин мойки полиэтиленовой пленки загрязнялась жироподобными веществами (жир, масла и т.п.). Далее воду очищали в лабораторной флотационной машине пневматического типа (рис.24).

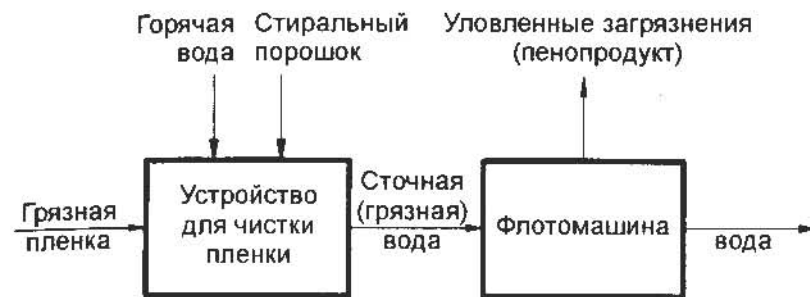


Рис.23. Схема обработки (очистки) грязной пленки

После флотационной обработки очищенную воду анализировали на содержание взвешенных веществ, жиров, а также определяли БПК₅ и ХПК по стандартным методикам, утвержденным в России.

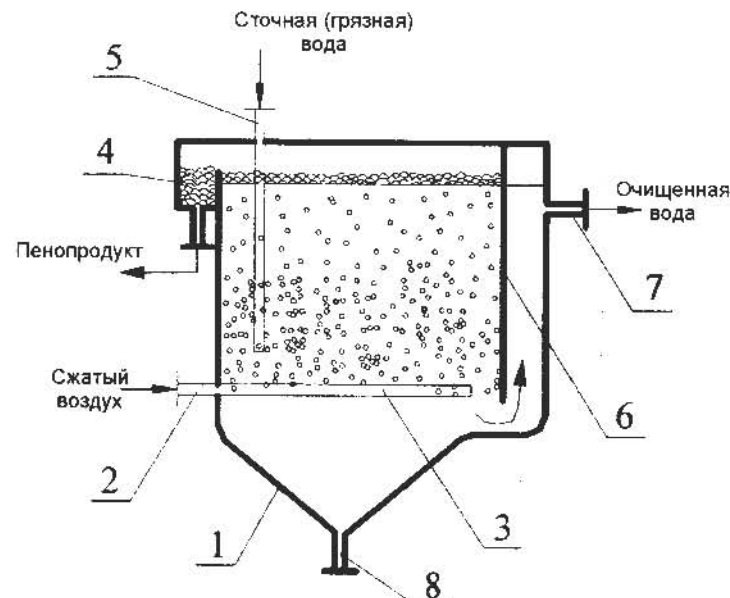


Рис.24. Пневматическая флотомашина:

1 – корпус; 2 – патрубок подачи сжатого воздуха; 3 – аэраторы; 4 – пеносорбник; 5 – патрубок подачи сточной воды; 6 – полупогружная перегородка; 7 – выходной патрубок; 8 – патрубок для вывода промывной воды

Проведенные лабораторные исследования показали, что концентрации взвешенных веществ (ВВ), жиров, а также БПК₅ и ХПК существенно снижаются после флотационной обработки, причем уменьшение этих показателей зависит от времени флотации и количества добавляемых моющих веществ, представляемых в основном поверхностно-активными веществами (рис.25–31).

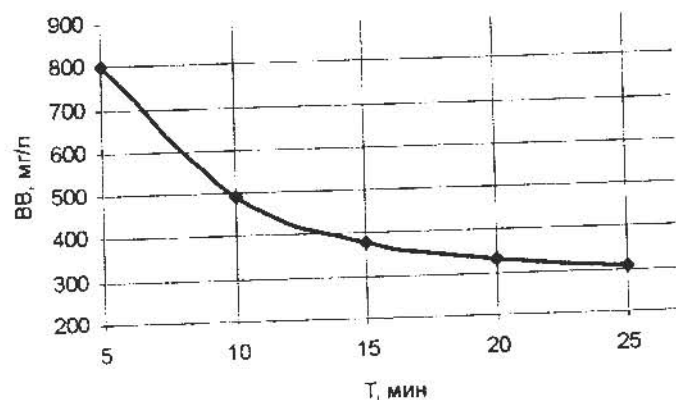


Рис.25. Влияние времени флотации на содержание взвешенных веществ в промывной воде

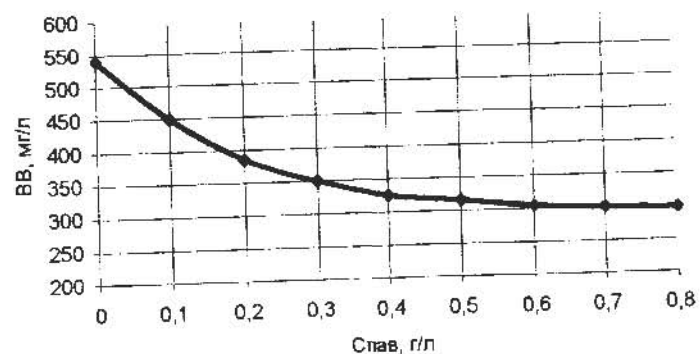


Рис.26. Влияние концентрации ПАВ на содержание взвешенных веществ в промывной воде

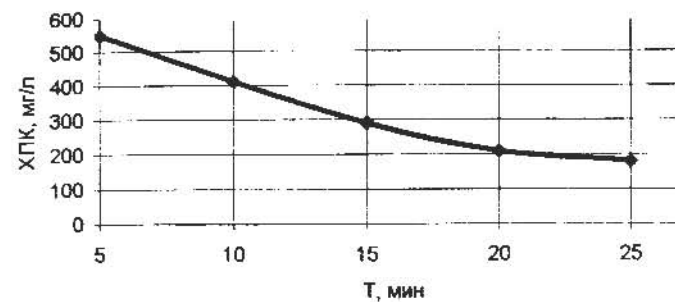


Рис.27. Влияние времени флотации на ХПК промывной воды

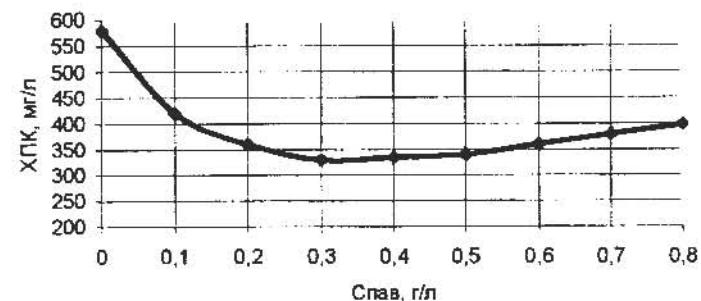


Рис.28. Влияние концентрации ПАВ на ХПК промывной воды

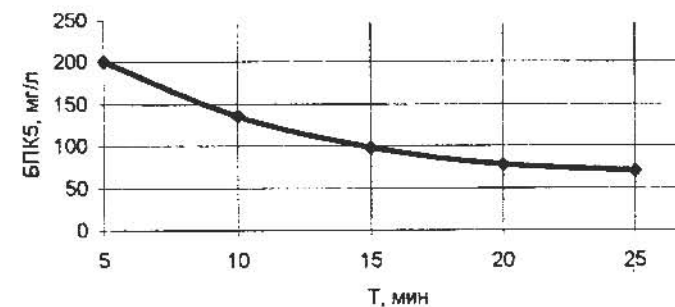


Рис.29. Влияние времени флотации на БПК₅ промывной воды

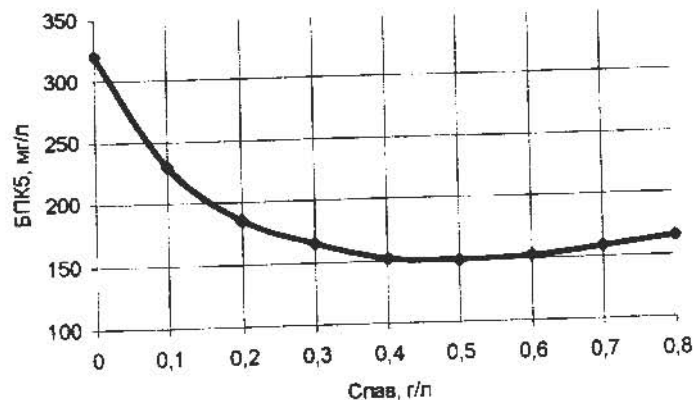


Рис.30. Влияние концентрации ПАВ на БПК₅ промывной воды

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности флотационного способа очистки сточных вод. Например, содержание жира в очищенной воде уменьшилось до значений меньших 5мг/л, взвешенных веществ – менее 300мг/л, ХПК и БПК₅ – менее 200мг/л. Эти результаты, полученные в лабораторных условиях, позволили разработать опытно-промышленную установку для очистки жиросодержащих сточных вод. При этом установка разрабатывалась для универсального использования на локальных очистных сооружениях различных производств и включает в себя не только флотомашину, но и жироловушку для предварительной очистки, а для доочистки – напорный фильтр [14].

Разработанная установка включает горизонтальный отстойник, пневматическую флотационную машину и фильтр доочистки, причем для повышения эффективности очистки отстойник и флотационная установка снабжены блоками тонкослойного осветления с гидрофобными гофрированными поверхностями полок, выполненных в виде совокупности полукругов или половин эллипсов, а флотационная машина и фильтр доочистки содержат комбинированную фильтрующую загрузку, состоящую из частиц различной крупности размером от 0,5 до 5,0мм.

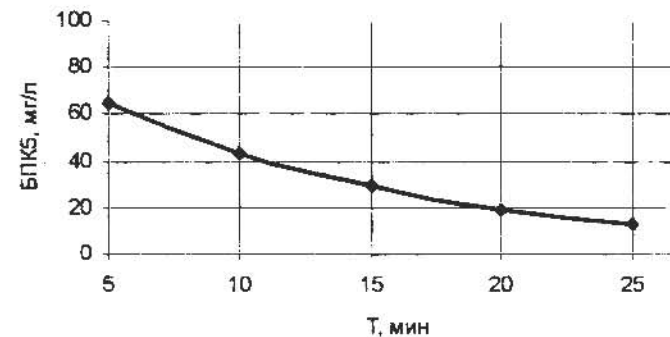
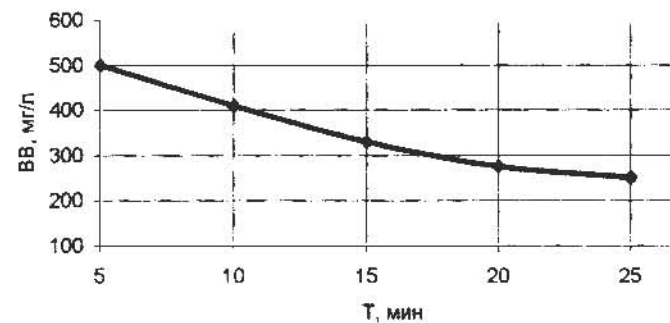
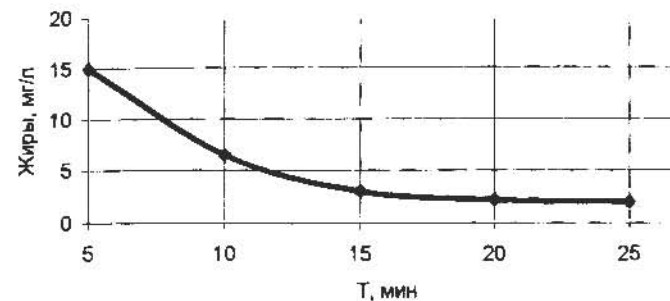


Рис.31. Влияние времени флотации на показатели качества воды (отстирывание пленки при $T=40^{\circ}\text{C}$)

Предлагаемая установка содержит следующие основные узлы (рис.32): горизонтальный отстойник, включающий корпус 2 с входным патрубком 1, тонкослойные блоки 3, донную часть для сбора осадка 4, трубопровод для откачки осадка 5, полупогружную перегородку 6, устройство для регулирования уровня жидкости 7, выходной патрубок 8, пневматическую флотационную машину, состоящую из корпуса 10 с входным патрубком 9, разделенного перегородками 11 на три секции, в нижней части которых установлены пористые аэраторы 12, а также включающего блок тонкослойного осветления 13, комбинированную фильтрующую загрузку 14, устройство для регулирования уровня жидкости 15, камеру условно чистой воды 16, выходной патрубок 17; фильтр доочистки, выполненный в виде цилиндрического корпуса 19 с магнитной 20 и немагнитной 21 частями фильтрующей загрузки и с выходным патрубком 22.

Блоки тонкослойного осветления 3 и 13 выполнены в виде совокупности полукругов или полуэллипсов с гидрофобной поверхностью, а комбинированная загрузка 14 состоит из частиц различной крупности размером от 0,5 до 5,0 мм, причем крупность уменьшается сверху вниз.

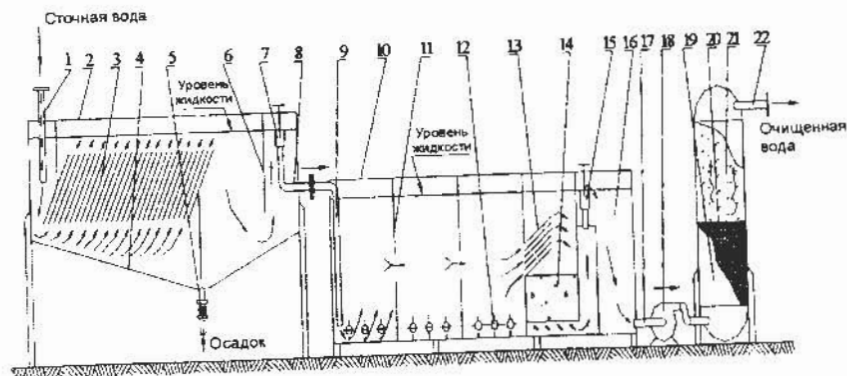


Рис.32. Установка для очистки жиросодержащих сточных вод

Установка для очистки сточных вод работает следующим образом. Исходная (грязная) вода поступает через приемный патрубок 1 в корпус 2 горизонтального отстойника, где происходит осаждение частиц твердой фазы размером примерно до 0,01...0,1 мм, а также всплы-

тие крупных капель гидрофобных загрязнений, например, жиров или нефтепродуктов, и при этом всплытие происходит в междуполочных пространствах блоков тонкослойного осветлителя 3. За счет формы полок осветлителя 3, выполненного в виде совокупности полукругов или полуэллипсов, происходит интенсивная коалесценция всплывающих капель жиров или нефтепродуктов, что ускоряет их отделение от воды. Для удаления осевшей твердой фазы из донной части 4 предусмотрен трубопровод 5. Из горизонтального отстойника предварительно осветленная жидкость самотеком, через устройство регулирования уровня жидкости 7, выходной патрубок 8 и входной патрубок 9 попадает в пневматическую флотационную машину. В этой машине происходит извлечение тонкодисперсных капель жира и нефтепродуктов путем всплывания их вместе с пузырьками воздуха, образующимися при диспергировании газа продавливанием его в жидкость через затопленные отверстия в резиновых аэраторах 12.

Капли жира вместе с пузырьками воздуха (флотокомплексы) всплывают за счет действия архимедовых сил, образуя в верхней части камеры пенный слой, который удаляется самотеком через специальный патрубок в пеносборник (на рис.32 не показаны). Очищенная жидкость выводится из флотационной машины через блок тонкослойного осветления 13 и комбинированную фильтрующую загрузку 14, в которых микропузырьки, содержащиеся в воде, взаимодействуют между собой, что в итоге приводит к интенсивной коалесценции тонкодисперсных пузырьков и образованию крупных пузырей. Такие пузыри воздуха быстро всплывают в пенный слой, что приводит к дополнительному осветлению очищаемой воды от гидрофобных загрязнений, например, жиров или нефтепродуктов.

С помощью центробежного насоса 18 через выходной патрубок 17 вода подается на доочистку в фильтр доочистки. Сначала жидкость проходит через магнитную часть 20 фильтра, выполненную из колец Рашига. В слое магнитной загрузки происходит улавливание мелкодисперсных ферромагнитных загрязнений. Затем жидкость проходит через немагнитную часть 21 фильтра, которая состоит из угольной загрузки (используется уголь предпочтительно или близкий по свойствам к марке угля АГ-3). При прохождении воды через слой угля происходит глубокая доочистка сточных вод, в частности от раство-

ренных загрязнений. Далее, через выходной патрубок 22, жидкость выводится из установки.

Описанная выше установка послужила прототипом установки для доочистки жиросодержащего конденсата (рис.33), образующегося от выпарной установки, смонтированной на стадии очистки сточных вод ЗАО «Лобненский завод растительных масел»[15]. Данная установка позволяет получать конечную концентрацию жиров в очищенной воде менее 5мг/л при начальной концентрации жиров в конденсате 50...100мг/л. Очищенная сточная вода может быть использована повторно в системах охлаждения предприятия.

На рис.34–36 показаны монтаж фильтра доочистки и отдельные узлы установки.

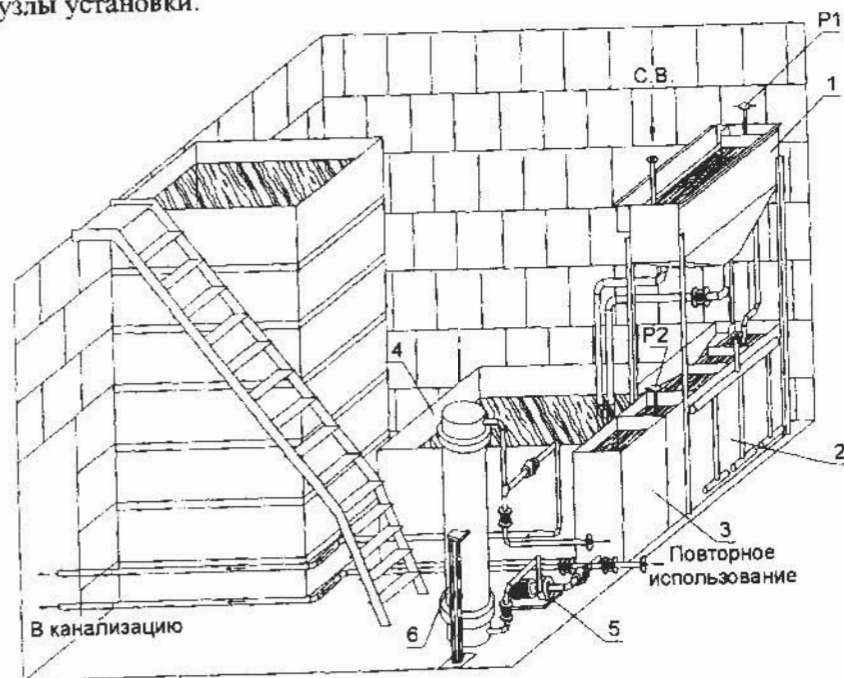


Рис.33. Установка для очистки жиросодержащих сточных вод ЗАО «ЛЗРМ»:

- 1 – жироловушка; 2 – пневматическая флотомашина; 3 – резервуар условно чистой воды; 4 – жиросборник; 5 – насос;
6 – фильтр доочистки; P1, P2 – регулятор уровня жидкости



Рис.34. Монтаж фильтра доочистки

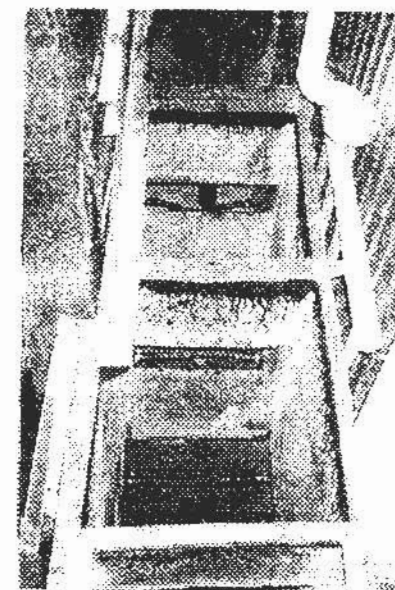


Рис.35. Флотокамеры с пористыми аэраторами

Рис.36. Флотокамеры с пористыми аэраторами и блоками тонкослойного осветления

Данная установка может быть использована для очистки не только жиросодержащих, но и нефте- и маслосодержащих сточных вод. Использование такой установки, как показывает практика, не вызывает больших затруднений как при выполнении проектно-конструкторской документации реконструируемых или вновь строящихся объектов, так и при ее изготовлении.



6.2. Очистка сточных вод мясокомбинатов и мясоперерабатывающих производств

Сточные воды предприятий мясной промышленности, и мясокомбинатов в частности, относят к категории высококонцентрированных по органическим загрязнениям. Основными загрязнениями этих сточных вод являются кровь, жиры, частицы мяса, кожи, шерсть, каньга, навоз, песок, поваренная соль, остатки готовой продукции (мясо-костная мука и т.п.). На предприятиях, имеющих консервные цеха, кроме того, образуются кислые травильные и щелочные сточные воды.

Обычно сточные воды мясокомбинатов и предприятий по переработке мяса принимают в систему горканализации, но в соответствии с существующими нормами, эти сточные воды должны быть подвергнуты локальной очистке, которая, как правило, сводится к снижению концентрации взвешенных веществ и жиров. Этим достигается защита канализационной сети от засорения и облегчается последующая очистка сточных вод на очистных сооружениях города.

Находящиеся в сточных водах мясокомбината загрязнения (жиры, кровь) являются ценным сырьем для получения технических фабрикатов, поэтому следует стремиться к наиболее полному извлечению и последующей утилизации отходов.

Сточные воды различных цехов мясокомбинатов существенно отличаются по своему составу, поэтому локальная очистка должна осуществляться отдельно для каждого вида сточных вод или для сточных вод, близких по своему составу.

Основное количество сточных вод, образующихся на предприятиях мясной промышленности (40...70% от общего количества), приходится на долю жиросодержащих сточных вод. Концентрация жиров в этих сточных водах составляет – 1300...2000, взвешенных веществ – 650...2500, БПК₅ – 800, ХПК – 2000 мг/л. На практике концентрация загрязнений может быть намного выше.

Сточные воды птицеперерабатывающих предприятий близки по составу к сточным водам мясокомбинатов.

Методы локальной очистки и схему сооружений определяют в зависимости от конкретных особенностей данного предприятия и требуемой степени очистки.

Для удаления грубодисперсных веществ (кусочков кожи, мяса, щетины) применяют решетки с прозором 10...15 мм и сита с размером ячеек 1...3 мм. При этом концентрация взвешенных веществ может быть снижена на 10...25%.

Для удаления частиц каньги и навоза применяют отстойники-навозоуловители. Продолжительность отстаивания составляет 30 мин. При этом эффективность очистки составляет 50%.

Основная часть песка задерживается на песколовках, а также в жироловках, устанавливаемых последовательно за песколовками.

Наибольшую сложность представляет улавливание жиров. Основная часть жиров в сточных водах предприятий мясной промышленности находится в эмульгированном состоянии. Устойчивости жировой эмульсии способствует достаточно высокая температура сточных вод (24...35°C) и высокое содержание белков.

Удаление плавающих жиров осуществляют в жироловках. Как показывает опыт, для локальной очистки сточных вод мясокомбинатов следует предусматривать цеховые жироловки на выпуске сточных вод отдельных цехов, рассчитанные на продолжительность пребывания сточных вод примерно до 10 мин, и центральную жироловку, куда поступают все жиросодержащие сточные воды.

Эффективность удаления плавающих жиров по нашим данным не превышает, как правило, 80...85% для сооружений отстойного типа.

Для улучшения процесса очистки и повышения эффективности улавливания жиров в жироловках используют полупогружные перегородки, а также блоки тонкослойного осветления и специальные фильтровальные сетки для коалесценции тонкодисперсных капель жиров. Иногда для интенсификации процесса проводят аэрацию воздухом. Как показали наши исследования, этот прием не всегда эффективен. Как известно, введение воздуха способствует флотации жиров и их более эффективному отделению от воды, чем в случае отстаивания.

Отделяемые при очистке сточных вод мясокомбинатов осадки необходимо быстро и систематически удалять, что приводит к необходимости проводить эти операции, как правило, каждую рабочую смену. Как показал наш опыт, осадок сточных вод мясокомбинатов и мясоперерабатывающих производств может использоваться для при-

готовления компостов, которые при правильном приготовлении являются ценнейшим удобрением.

Интенсифицировать процесс выделения жира из сточных вод можно также путем добавления реагентов. В результате проведенных нами экспериментов установлено, что при добавлении в сточные воды мясокомбинатов или мясоперерабатывающих производств таких флокулянтов, как зетаг (производство ФРГ), праестол (совместное производство ФРГ и России) приводит к ускорению процесса отделения жиров от воды в 1,5...2,0 раза.

Эффективность влияния реагентов на процесс отделения жиров от воды подтверждена исследованиями различных авторов [2].

Рассмотрим более подробно извлечение эмульгированных жиров из сточных вод флотацией. Эффективность этого способа обусловлена несмачиваемостью жиров, что является главным условием флотирования частиц загрязнений из сточных вод мясокомбинатов и мясоперерабатывающих производств.

Известно применение аппаратов различных способов флотации.

Очистка жиродержащих сточных вод во флотомашинах импеллерного типа показывает, что при продолжительности флотации 20...30 мин концентрация жиров и взвешенных веществ снижается на 80...90 и 60...75% соответственно.

Более высокая степень достигается при напорной флотации сточных вод, но только в случае флотирования сточных вод мясоперерабатывающих производств с температурой не более 25...30°C. В случае очистки горячих стоков практически не будет наблюдаться растворения воздуха в воде и, следовательно, невозможно будет осуществить процесс напорной флотации.

Напорная флотация позволяет примерно в 3...4 раза сократить продолжительность очистки по сравнению с отстаиванием, что позволяет значительно уменьшить площадь, занимаемую сооружениями, в которых используется отстаивание, а также повысить эффективность очистки сточных вод.

Как и в случае отстаивания процесс флотационной очистки можно интенсифицировать добавлением в сточную воду коагулянтов и флокулянтов.

Применение коагулянтов, в первую очередь солей железа или алюминия, а также щелочных реагентов и флокулянтов приводит к повышению эффективности очистки по жиру и белку до 92...97%.

Весьма эффективным способом интенсификации флотационного процесса является предварительная обработка сточных вод в режиме электрокоагуляции. Этот способ основан на том, что при пропуске электрического тока через сточную воду, протекающую в пространстве между электродами, материал анода растворяется. Последнее приводит к образованию гидроксида металла, являющейся эффективным сорбентом. Например, при применении алюминиевых электродов образуется гидроксид алюминия, на поверхности хлопьев которой сорбируются как гидрофобные, так и гидрофильные загрязнения.

Проведенные исследования, обследование существующих локальных очистных сооружений мясоперерабатывающих предприятий и критический анализ источников в патентной и научно-технической литературе позволили разработать новую аппаратно-технологическую схему очистки жиродержащих сточных вод мясоперерабатывающих производств.

Предлагаемая схема выбрана с учетом недостатков, присущим методам, как с использованием напорных флотаторов (низкая степень аэрации), так и с применением флотационных колонн. При этом механическую очистку предполагается осуществлять с помощью механических фильтров, а флотационную очистку вести с применением механических флотомашин и флотационных колонн новой конструкции (рис.37).

Жиродержащие сточные воды мясоперерабатывающего предприятия поступают в канализационно-насосную станцию (КНС) с концентрацией жира 1500...2000 мг/л и взвешенных веществ 2000...2500 мг/л. Из КНС частично отстоявшиеся сточные воды при помощи насоса направляют в камеру предварительного фильтрования для задержания крупных взвешенных частиц, которые в виде осадка собирают в сборник 4.

Образовавшийся в водах КНС верхний слой всплывшего жира с помощью насоса 2 подают в сборник 6, откуда жиромасса удаляется по мере накопления.

После фильтрования очищаемые сточные воды подают во флотационные жироловушки 5, в которых происходит извлечение жира на 80...90% от его концентрации в исходных сточных водах и взвешенных веществ на 50...65%.

Извлекаемые в пену, образующиеся при флотации, частицы (капли) жира и взвешенных веществ в виде жиромассы с влажностью 85...90% поступают в сборник пенного продукта 6, откуда удаляются по мере накопления.

Осветленная вода из флотационной жироловушки поступает в сборник осветленной жидкости 7 и далее с помощью насосов 8 поступает на доочистку во флотационную машину 9, в которой содержание жира уменьшается до 20 мг/л, взвешенных веществ – до 500мг/л. Очищенная вода далее поступает в городскую канализацию.

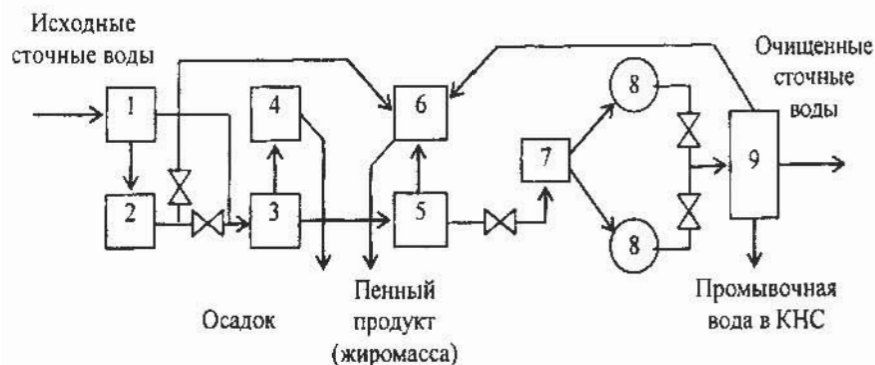


Рис.37. Принципиальная технологическая схема очистки жиросодержащих сточных вод:

1 – КНС, 2 – насос, 3 – фильтр, 4 – сборник осадка, 5 – флотационная жироловушка, 6 – сборник пенного продукта, 7 – сборник осветленной жидкости, 8 – насосы, 9 – флотомашина

В случае небольшого расхода жиросодержащих сточных вод, например, небольшого мясокомбината, проводят локальную очистку сточных вод с использованием, в частности, жироловок флотационного типа, а также применяют коагулянты и флокулянты как природные, так и синтетические.

В предлагаемом нами подходе рассматриваются различные варианты способов очистки сточных вод мясокомбината с применением реагентов и отделением образующихся хлопьев загрязнений флотацией, седиментацией или их комбинацией.

В качестве объекта исследования использовали сточные воды мясокомбината. При этом нам были предоставлены сточные воды двух видов с условными названиями «Мясокомбинат-1» и «Мясокомбинат-2». Характеристика этих сточных вод дана в табл.17.

Таблица 17
Характеристика сточных вод мясокомбинатов

Условное название сточных вод	ХПК _о мг/л	ХПК _р мг/л	ВВ, мг/л	БПК ₅ , мг/л	pH
«Мясокомбинат-1»	745	505	74	-	6,9
«Мясокомбинат-2»	2785	900	1270	-	6,5

Методика исследований состояла в обработке сточных вод реагентами с целью получения хлопьев, легко отделяемых от воды. В качестве реагентов использовали: коагулянты – финнферри, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$; H_2SO_4 и флокулянты – феннопол, зетаг, полиэлектролит (Nokia), лигносульфонаты. Концентрация рабочих растворов $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ – 2% весовых, флокулянтов – 0,01% весовых. Перемешивание реагентов с водой проводили во флокуляторе с пятью мешалками.

Отделение хлопьев от воды проводили тремя способами – седиментацией, напорной флотацией и электрофлотацией.

Особенность данного исследования заключалась в том, что после обработки реагентами сточная вода отстаивалась в течение 30 мин. После этого отбирали пробу осветленной жидкости и проводили напорную флотацию или электрофлотацию. Напорную флотацию проводили путем смешения 65...70% сточной воды, обработанной реагентами, и 30...35% дисперсионной воды, в которой был растворен воздух под давлением 600кПа.

Введение использованных в данной работе реагентов в сточную воду проводилось по стандартной методике с применением типового флокулятора. Перемешивание осуществлялось сначала при интенсивности перемешивания 90 об/мин в течение 2мин, а

дальнейший процесс хлопьеобразования происходил при интенсивности перемешивания 30 об/мин в течение 10 мин.

При перемешивании сточных вод с коагулянт и флокулянт последовательно вводили коагулянт при интенсивности перемешивания 90 об/мин в течение 2 мин, а затем аналогичную операцию проводили с флокулянт и далее в течение 10 мин при интенсивности перемешивания 90 об/мин осуществляли хлопьеобразование.

Проведенные исследования показали, что наибольший эффект очистки по ХПК и ВВ дает предварительная обработка сточных вод финниферри в количествах 0,3...0,4 мл/л с последующей напорной флотацией в течение 10 мин (рис.38). Важные результаты получены и при использовании других реагентных систем (рис.39-45).

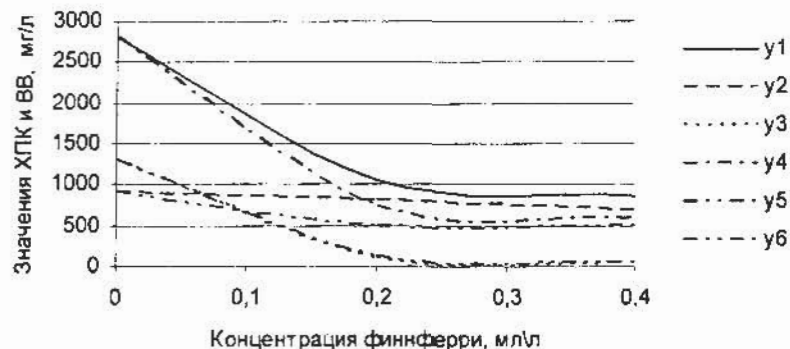


Рис.38. Сравнение основных показателей качества очистки сточной жиросо-
держащей воды с использованием седиментации (y_1, y_2, y_3) и
флотации (y_4, y_5, y_6): y_1, y_4 – ХПКo; y_2, y_5 – ХПКр; y_3, y_6 – ВВ

Весьма интересным является факт отличия ХПК общей (нефилътрированной) пробы и ХПК филътрированной пробы при флотации и седиментации (см. рис. 43,44). При этом в случае седиментации показатели ХПК общей нефилътрированной пробы (ХПКo) и ХПК филътрированной пробы (ХПКр) выше, чем при напорной флотации, что указывает на флотационное извлечение из воды растворенных в ней молекул и ионов органических веществ. В этом случае наблюдался четкий эффект так называемой ионной флотации.

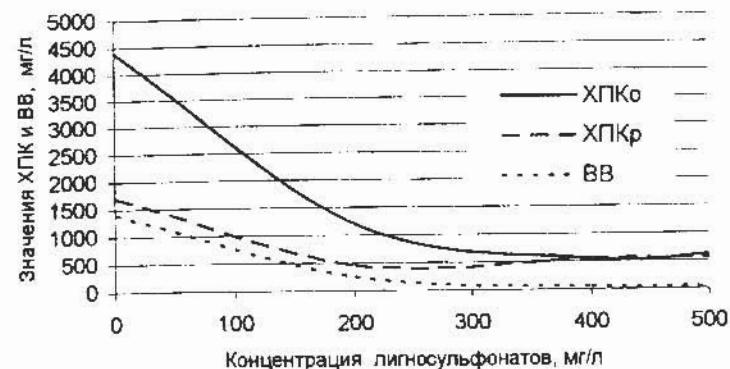


Рис.39. Зависимость ХПК и взвешенных веществ очищенной воды от
концентрации добавляемых лигносульфонатов

Флотация растворенных органических молекул в данном случае, по-видимому, связана, в основном, с извлечением из воды веществ, обладающих хорошо выраженными поверхностно-активными свойствами. Известно, что поверхностно-активные вещества (ПАВ), в частности катионного типа, особенно эффективно удаляются при флотации тонкодисперсных частиц. Характер влияния катионных ПАВ на процесс флотационного выделения мелких частиц определяется, в основном, характером влияния этих реагентов на величину и знак заряда частиц и пузырьков. Следует, однако, иметь в виду, что ПАВ оказывают также влияние на дисперсность и скорость всплывания пузырьков, на характеристики пенного слоя и т.д.

При использовании такого реагента, как финниферри возможен также и другой механизм извлечения растворенных веществ, обладающих хорошо выраженными поверхностно-активными свойствами, в частности, путем взаимодействия соединений железа с растворенными органическими веществами. В последнем варианте механизм взаимодействия между растворенным органическим веществом и реагентом типа финниферри осуществляется преимущественно в режиме ионной флотации.

Следует отметить, что уточнение механизма флотации растворенных органических веществ может привести к пониманию того,

каким путем легче всего достичь более полного извлечения растворенных органических веществ.

Использование других реагентов, в частности лигносульфонатов в сочетании с H_2SO_4 , дает также хороший эффект очистки: ХПКо и ХПКр уменьшаются в 6...7 раз (см. рис.39). При этом способе обработки сточных вод образуются хотя и менее прочные хлопья, чем в случае использования финнферри, но обладающие хорошей флотиремостью. Возможно даже осуществление самофлотиремости этих хлопьев. Однако явление самофлотации хлопьев, образованных при использовании лигносульфонатов, достаточно длительный процесс (40...60 мин) и его осуществление в промышленных условиях вряд ли целесообразно.

Более эффективным способом является флотирование этих хлопьев с помощью растворенного в воде воздуха. Результаты очистки сточных вод типа II («Мясокомбинат-2») представлены на рис.42. Наиболее оптимальными следует считать, видимо, значения концентраций лигносульфонатов в воде 300...400 мг/л. При этих значениях концентраций значения ХПКо и ХПКр достигают 465...500 мг/л, что не превышает нормативных показателей для сброса предварительно очищенных сточных вод в городскую канализацию и это является достаточно хорошим свидетельством эффективности флотационной очистки сточных вод.

Сравнительные испытания способа напорной флотации были проведены и с использованием сернокислого алюминия. Начиная с 0,02 % (весовых) $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ значения ХПК находятся в пределах 500...550 мг/л. Эти значения ХПК следует также считать вполне удовлетворительными при использовании для очистки сточных вод способа напорной флотации.

Следует особо отметить, что образующиеся при использовании сернокислого алюминия хлопья являются весьма непрочными, что и подтверждают результаты флотационной очистки сточных вод. Повышение значения мутности (рис.45) при увеличении концентрации сернокислого алюминия приводит к снижению прочности образующихся хлопьев и, как следствие, к высоким значениям ХПКо, хотя ХПКр практически не изменяется. Это указывает на разрушение хлопьев, приводящее к повышению количества взве-

шенных веществ и ХПК. Использование сернокислого алюминия при наличии таких эффективных реагентов как финнферри или лигносульфонаты в сочетании с серной кислотой вряд ли следует считать оправданным. Аналогичная ситуация наблюдается и при использовании оксида алюминия (рис.40).

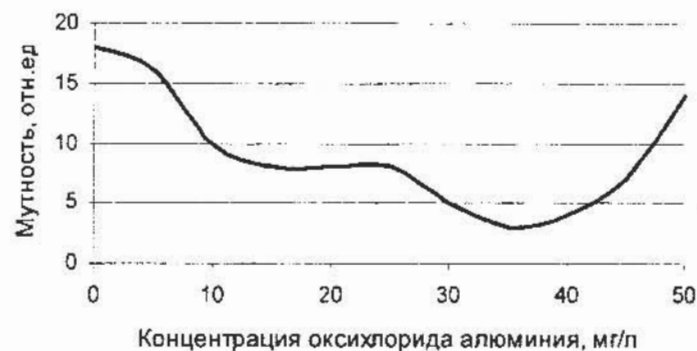


Рис.40. Зависимость мутности жиросодержащих сточных вод от концентрации оксихлорида алюминия

Интенсификация процесса отделения хлопьев от воды с использованием указанных выше реагентов может быть достигнута с использованием, например, наряду с финнферри синтетических флокулянтов, в частности, феннопола. Однако с использованием этого флокулянта эффект очистки повышается всего на 10...20%, поэтому это также вряд ли целесообразно.

Практический интерес представляет также использование в сочетании с финнферри таких эффективных адсорбентов, как бентонит. При этом, как показали экспериментальные исследования, принципиальным является порядок введения бентонита в сточную воду. Введение бентонита перед добавлением в воду финнферри приводит к повышению эффекта очистки по сравнению с вариантом, при котором используется только финнферри. При введении бентонита после добавления финнферри эффект очистки не повышается.

Нам представляется, что введение бентонита перед добавлением в воду финнферри в условиях интенсивного перемешивания (в

условиях псевдооживления) приводит к образованию центров, способствующих образованию крупных хлопьев, легко выпадающих в осадок.

На рис.43,44 представлены сравнительные данные двух способов отделения хлопьев от воды: флотацией и седиментацией. При этом как и в случае использования только финнферри ХПКо и ХПКр заметно меньше при использовании флотационного способа очистки воды, чем в случае седиментации.

Очистка сточных вод первого типа также возможна с использованием флотации с предварительным введением в воду реагентов. Однако устойчивость присутствующих в этих сточных водах коллоидных частиц, а также высокие буферные свойства, приводит к тому, что требуются повышенные дозы реагентов и, кроме того, как правило, комбинация реагентов: коагулянт и флокулянт.

Высокие буферные свойства сточных вод этого типа («Мясокомбинат-1») вынуждают использовать кислоты для снижения pH до изоточки присутствующих в них белков и клеток или финнферри (рис.41). Все изложенное выше, а также то, что удельный расход сточных вод этого типа небольшой ($10...5\text{ м}^3/\text{ч}$), заставляет искать другие более эффективные способы очистки сточных вод.

Представляется также перспективным применение электрофлотации для очистки этих протеинсодержащих сточных вод. Протеин и жиры, содержащиеся в сточных водах мясокомбинатов, адсорбируются на продуктах растворения положительного электрода □ анода, изготовленного обычно из алюминия или железа. При этом образующиеся хлопья наряду с загрязнениями содержат также пузырьки газов, выделяющихся при электролизе – кислорода и водорода.

В результате исследований было установлено, что оптимальным является режим с плотностью тока $10\text{ мА}/\text{см}^2$. Экспериментальные данные показывают (рис.46), что при электрофлотационной очистке сточных вод мясокомбинатов 1 и 2 в течение $30...40\text{ мин}$ ХПКо достигает $400...450\text{ мг}/\text{л}$. При этом мутность, определяемая с помощью турбидиметра, имеет также минимальное значение.

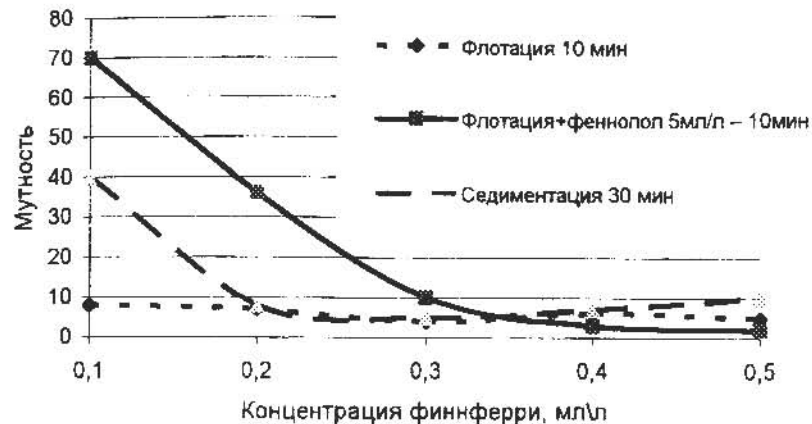


Рис.41. Влияние концентрации финнферри на мутность при очистке стоков различными способами («Мясокомбинат-1»)

При увеличении времени электрофлотации до $45...50\text{ мин}$ мутность очищаемых сточных вод увеличивается, что, по-видимому, связано с увеличением гидроокиси алюминия. В этой связи следует выбирать оптимальное время электрофлотации, при котором мутность, ХПК и другие ингредиенты являются минимальными.

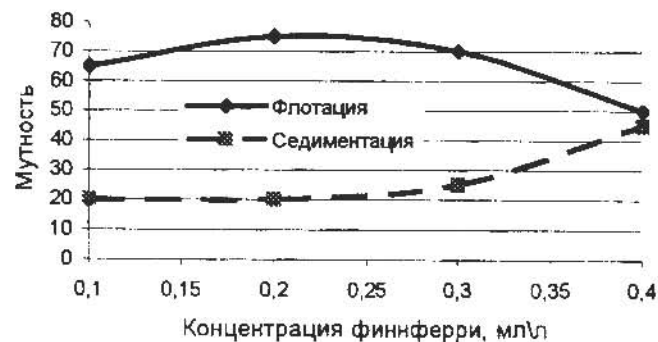


Рис.42. Влияние концентрации финнферри на мутность при очистке стоков различными способами («Мясокомбинат-2»)

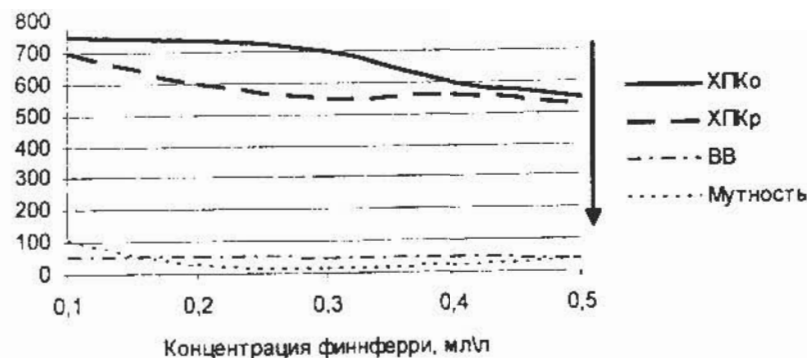


Рис.43. Влияние концентрации финнферри на эффективность очистки воды седиментацией (30 мин):
ХПК_о, ХПК_р, ВВ – мг/л; мутность – отн.ед.

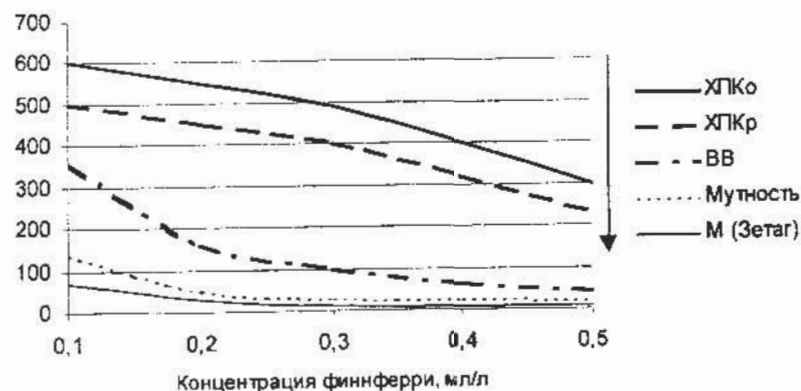


Рис.44. Влияние концентрации финнферри на эффективность очистки воды напорной флотацией (10 мин):
ХПК_о, ХПК_р, ВВ – мг/л; мутность – отн.ед.

В заключение следует отметить, что при проведении технико-экономического анализа установлено преимущество электрофлотации перед напорной флотацией в случае очистки сточных вод с небольшим расходом (примерно до 10 м³/ч).



Рис.45. Зависимость мутности осветляемой жидкости от концентрации $Al_2(SO_4)_3$

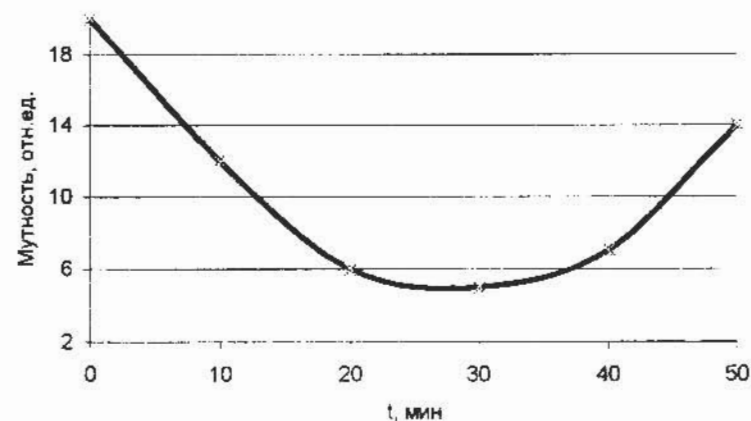


Рис.46. Зависимость мутности стоков от времени электрофлотации

6.3. Очистка сточных вод от остатков клея

Выбор режима флотации и подбор реагентов для очистки клеесодержащих сточных вод проводили на воде, содержащей клей ПВА,

АДМК и СКС-С от 10 до 15 мг/л. В опытах содержание клея в воде составляло около 10 г/л. Клеесодержащие сточные воды готовили растворением разных образцов клея в обычной водопроводной воде. Раствор клея в воде тщательно перемешивали с помощью мешалки в течение 15 мин, а затем подвергали флотационной обработке на лабораторной флотационной машине механического типа. Время флотации меняли от 20 до 60 мин. Для повышения степени очистки в сточную воду вводили коагулянты из расчета 100 мг/л.

В процессе флотации клеесодержащих вод получали два продукта: пенный, который представлял взвешенные частицы из раствора в концентрированном виде (концентрат), и камерный (очищенная вода), который сдавался на химический анализ для определения содержания взвешенных веществ и ХПК. Результаты химического анализа представлены в табл. 18.

Таблица 18

Влияние режима флотации и добавления реагентов на содержание взвешенных веществ и ХПК клеесодержащих сточных вод

Клей	Условия опыта	ВВ, мг/л	ХПК, мг/л
ПВА	Исходная сточная вода	3385	680
ПВА	Сточная вода после флотации в течение 20 мин (без реагентов)	16,3	239
АДМК	Сточная вода после флотации в течение 20 мин (без реагентов)	315	2230
АДМК	Сточная вода после флотации в течение 20 мин с добавлением $Al_2(SO_4)_3$ – 100 мг/л	25	44
АДМК	Сточная вода после флотации в течение 20 мин с добавлением $CaCl_2$ – 100 мг/л	1050	3825
СКС-С	Сточная вода после флотации в течение 20 мин (без реагентов)	25	600
СКС-С	Сточная вода после флотации в течение 60 мин (без реагентов)	25	520
СКС-С	Сточная вода после флотации в течение 20 мин с добавлением коагулянта $CaCl_2$	8,5	60

Флотационная обработка клеесодержащих сточных вод наиболее эффективна сказывается на сточных водах, содержащих ПВА: в течение

20 мин флотации без добавления реагентов количество взвешенных уменьшается с 3385 до 16,3 мг/л, а ХПК – в 3 раза.

Флотационная обработка стоков, содержащих АДМК, проходит эффективно с коагулянтом $Al_2(SO_4)_3$. При этом количество взвешенных снижается до 25 мг/л, а ХПК – до 44 мг/л. Что же касается стоков, содержащих клей СКС-С, то их очистка проходит наиболее успешно с коагулянтом $CaCl_2$. В двух последних случаях время флотации составляло 20 мин, а расход воздуха – 1 л/мин. При флотационной очистке воды, содержащей ПВА, расход воздуха составлял до 0,5 л/мин.

В случае добавления в сточную воду хлористого кальция наблюдается не только резкое ухудшение флотируемости загрязнений, но и повышение значений анализируемых ингредиентов, связанное, как показывают визуальные наблюдения, с образованием хлопьевидных комплексов, выпадающих в осадок.

Глава 7. Флотационное сгущение активного ила

7.1. Флотационные аппараты для сгущения избыточного активного ила

Влияние значительного числа факторов резко усложняет ведение биохимической очистки в оптимальном режиме. В последнее время наметился определенный прогресс в управлении биохимическими процессами, по-видимому, в связи с бурным развитием биотехнологии и, в первую очередь, промышленного культивирования микроорганизмов. Однако ведение таких процессов сопряжено со значительными трудностями. Особенно это относится к управлению такими сложными процессами, как флокуляция микроорганизмов активного ила, отделение ила от воды и последующее сгущение. Определенные преимущества перед другими способами сгущения имеет флотация, применение которой для уплотнения избыточного активного ила получает все большее распространение. При этом флотацию используют, как правило, на первой стадии сгущения активного ила перед его последующим центрифугированием или фильтрованием. Существенными недостатками сгущения активного ила флотацией являются недостаточно высокая степень сгущения, нестабильность процесса и низкая удельная производительность флотационного оборудования.

Отмеченные недостатки, по нашему мнению, могут быть решены путем разделения стадий отделения активного ила от воды и его последующего сгущения в пенном слое. Реализация такого подхода требует разработки пеноконцентрирующих устройств.

Исследованиями последних лет показано, что концентрирование активного ила флотацией имеет ряд преимуществ по сравнению с отстаиванием и центрифугированием:

- на флотацию затрачивается меньше электроэнергии и требуется меньшая площадь;

- в процессе флотационного сгущения, в том числе и в состоянии в виде пены, активный ил находится в аэробных условиях, что исключает его загнивание.

Показано, что при сгущении активного ила в напорном флотаторе могут быть получены высокие технологические результаты [2]. В напорном флотаторе суспензия с концентрацией активного ила 2,5...5 г/л сгущается до концентрации взвешенных частиц 40...45 г/л. Степень очистки в такой установке составляет 90...97%.

Фирма "Дегремон" разработала установку для сгущения активного ила с помощью напорной флотации (флотатор-отстойник - см. рис. 47), в которой флотационная камера снабжена системой скребков, закрепленных на кронштейнах и связанных с центральным приспособлением, приводящим всю систему во вращение.

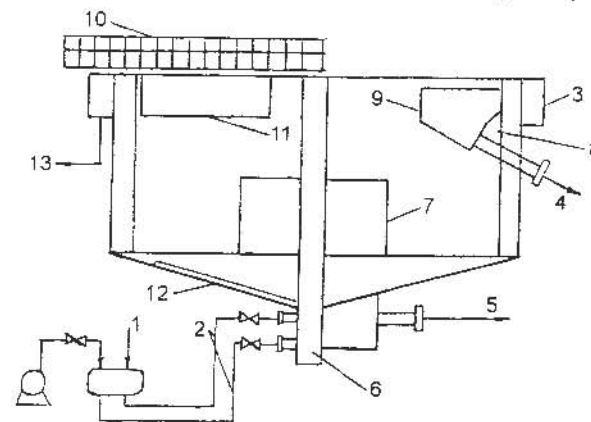


Рис. 47. Флотатор-отстойник:

1 – поступление сжатого воздуха, 2 – линии подачи отстоя под повышенным давлением, 3 – горловина для отбора вода из-под всплывшего отстоя, 4 – вывод всплывшего концентрированного отстоя, 5 – слив в дне, 6 – детандер, 7 – сифонная юбка, 8 – сифонная периферическая перегородка, 9 – воронка для извлечения всплывшего отстоя, 10 – основание для извлечения с периферии, 11 – скребки, очищающие поверхность, 12 – скребки, очищающие дно, 13 – удаление воды из-под всплывшего отстоя

С целью изоляции устройства от окружающей атмосферы флотационная установка снабжена крышкой, которая вращается вме-

сте со скребковой системой (пеногоном). Для достижения максимального концентрирования биомассы активного ила система пеносъема может работать либо непрерывно, либо периодически.

Напорная флотация, по нашему мнению, является самым экономичным способом получения мельчайших пузырьков диаметром до 0,01...0,5 мм. Расход электроэнергии составляет примерно 0,08...0,5 кВт·ч/м³. Основными параметрами, влияющими на сгущение с помощью напорной флотации, являются:

- соотношение воздух/твердое вещество;
- размер пузырьков воздуха, который зависит от разности давления на редукционном клапане, типа редукционного клапана, скорости перепуска в редукционном клапане; поверхностного натяжения, содержания солей, показателя pH;
- гидравлическая нагрузка;
- скорость подачи суспензии, которая не должна превышать 120 см/мин;
- флотируемость частиц твердых веществ.

При флотации активного ила оказалось, что на эффективность сгущения оказывает существенное влияние иловый индекс. С повышением индекса остаточное содержание взвешенных веществ в очищаемой воде падает. Максимальная толщина пенного слоя сфлотированного активного ила (флотата) достигается при высоком соотношении воздух/твердое.

Представляет интерес флотационный аппарат для сгущения осадка при биологической очистке сточных вод, разработанный фирмой «Bayer» (рис. 48). В аппарате основным рабочим элементом является сопло-воронка, благодаря которому проходящий газ диспергируется на мельчайшие пузырьки, которые распределяются по всему поперечному сечению.

Флотационная ячейка 1 разделена на зону пропускания газа и спокойную зону так, что через нее поток жидкости протекает вертикально, что приводит к особенно сильному сгущению шлама. Струя жидкости вводится в циркуляционный канал, при этом турбулентность вызывается только поднимающимися пузырьками газа.

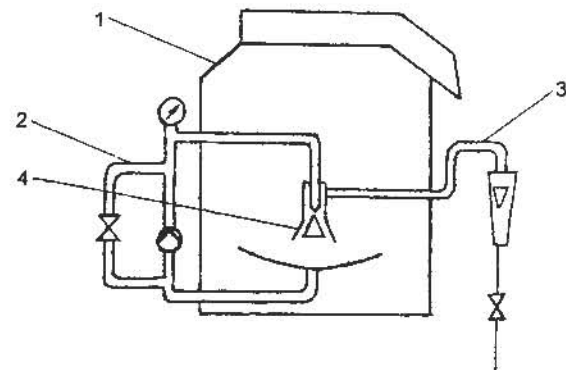


Рис. 48. Флотационная установка сгущения активного ила:
1 – флотоячейка с автоматической выдачей концентрата, 2 – трубопровод подачи жидкости, 3 – трубопровод подачи газа, 4 – сопло-воронка

Параметрами, влияющими на процесс, в данном случае являются:

- количество жидкости, проходящей через ячейку, регулируемое насосом с байпасом;

- количество проходящего газа, которое может регулироваться независимо через дросселирующий клапан.

Рядом фирм представлен реактор для биологической очистки сточных вод, отличающийся шахтной (или башенной) конструкцией и известный под названиями «глубокая шахта» (фирма ICI), «башенный реактор» (фирма «Bayer»), биологический высотный реактор (фирма «Hoechst»), колонный аппарат ГосНИИсинтезбелок.

Преимущество этого реактора заключается в том, что ему требуется меньше места и лучше используется подведенный кислород воздуха. Существенное улучшение внесения кислорода достигается в реакторе с подъемной струей за счет того, что создается очень большая турбулентность с помощью периодически движущихся перфорированных пластин, которая приводит также к мелкому диспергированию внесенного воздуха и раздроблению хлопьев бактерий. Это создает большую удельную поверхность между жидкой и газовой фазами и, соответственно, ускоряет процессы массопереноса кислорода и субстрата в жидкость.

Для бытовых сточных вод иловая нагрузка этих реакторов при одинаковых затратах энергии и равной степени очистки в 5...10 раз больше допустимой иловой нагрузки обычных аэротенков.

Реактор такого типа (рис.49) состоит из цилиндрической емкости 1 с соотношением высоты к диаметру 7:1, внутри которой находится открытая с обеих сторон труба 2, в которую входит сопло 3 для двух веществ. К этому соплу циркулярным насосом 4 через патрубок 5 подается сточная вода, причем через внутреннюю трубу сопла засасывается воздух. Текущая в центральной трубе смесь из сточной воды, воздуха и бактериальной массы у дна реактора изменяет направление движения и по наружной трубе течет вверх. У верхнего конца центральной части смесь засасывается соплом снова в центральную трубу. Остальная часть вытекает из реактора и либо снова впрыскивается как возвратная сточная вода в реактор, либо направляется в отстойник 6. Из отстойника этот поток разделяется на очищенную сточную воду и бактериальную массу. Большая часть массы возвращается в реактор, а оставшая часть массы (избыточный активный ил) выводится из установки.

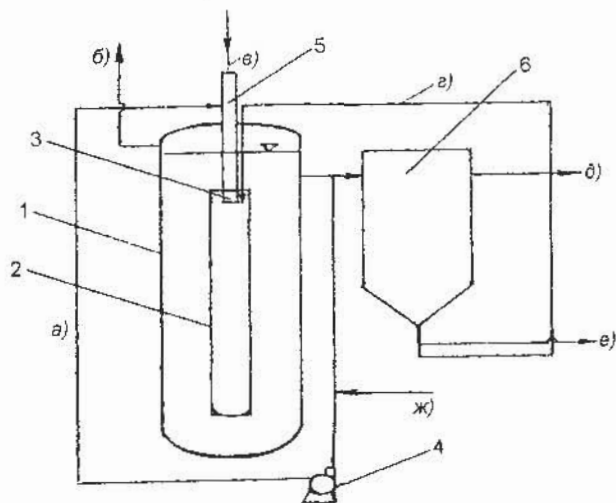


Рис.49. Схема очистки сточных вод в компактном реакторе:
а) возвратная сточная вода, б) отходящий воздух, в) подача воздуха, г) возвратный ил, д) очищенная сточная вода, е) активный ил, ж) сточная вода

Специалистами на основе большого количества экспериментальных данных доказано, что флотация наиболее пригодна для сгущения также возвратного ила. Всплывающий слой биомассы активного ила (флотат) постоянно находится в аэробных условиях и содержит высокую концентрацию твердых веществ.

Степень сгущения зависит от концентрации и качества исходной суспензии активного ила, режима флотации и предварительной обработки. При флотации суспензии, выращенной с периодом аэрации 10 ч, наблюдаются большая степень сгущения и снижение потерь биомассы с осветленной жидкостью. Содержание биомассы в концентрате зависит от продолжительности флотации микробной биомассы. Предварительная аэробная обработка заметно улучшает последующий процесс флотационного сгущения возвратного активного ила и одновременно восстанавливает (регенерирует) окислительные свойства активного ила. При этом сокращается продолжительность флотации и повышается степень сгущения.

Стабильность работы систем сгущения активного ила флотационным способом в существенной мере зависит от стабильности состава избыточного ила, его первоначальной концентрации, а также илового индекса. Если состав и свойства активного ила нестабильны, флотационный способ целесообразно заменить на отстаивание, которое применяется на практике гораздо чаще, чем флотация, в том числе по указанной выше причине.

Уплотнение избыточного ила является лишь одной из стадий переработки осадка сточных вод. Следует учитывать то обстоятельство, что слишком высокое содержание твердых веществ (более 15%) может привести к затруднениям на дальнейших стадиях, например, ухудшить их перекачку в длинных трубопроводах.

Разработка флотационной установки новой конструкции проводилась в ГосНИИсинтезбелке на основании обширных исследований. Проведенные экспериментальные исследования по флотационному сгущению активных илов с различным иловым индексом (в пределах 40...160 см³/г), отобранных как с городских очистных сооружений, так и с локальных очистных сооружений предприятий по производству белково-витаминных концентратов,

показали, что степень сгущения микробной биомассы в получаемом пенном продукте составляет 4...6.

Для достижения более высокой степени сгущения необходимо использование дополнительных устройств для сжатия пенного слоя сфлотированного активного ила и, следовательно, повышения концентрации микробной биомассы в получаемом пенном продукте.

На основании проведенных испытаний на лабораторном образце флотационного аппарата было установлено, что можно повысить концентрацию микробной биомассы при движении сфлотированного активного ила в канале с сужающимся по ходу движения пенного продукта сечением. При этом решающую роль в уплотнении пенного слоя сфлотированного активного ила играет коалесценция газовых пузырьков пены. Повышения скорости процесса коалесценции пузырьков можно достигнуть путем контактирования активного ила с гидрофобной поверхностью, а также изменением pH пены и других физических факторов, например, путем нагревания, вибрации пенного слоя сфлотированного активного ила.

В ГосНИИсинтезбелке для сгущения активного ила изготовлен и испытан опытный образец флотационной колонны, представляющей собой вертикальную камеру прямоугольной формы (рис.50) [16]. Верхняя часть колонны имеет пирамидальную форму, которая заканчивается раструбом с пенным желобом на его внешней стороне. Внутри колонны размещена азрационно-флотационная камера с плоским днищем, форма которой соответствует форме колонны. Высота камеры составляет $\frac{2}{3}$ высоты колонны и ее площадь соотносится с площадью колонны как 0,7:1,0. В азрационно-флотационной камере размещено пять вертикальных струйных азраторов. Между стенками камеры и колонны размещены пластинчатые осветлители.

Флотационная колонна работает следующим образом. Исходную суспензию (или сточные воды) подают через вертикальные азраторы в донную часть азрационно-флотационной камеры. Оттуда она в виде восходящих, равномерно рассеянных ламинарных потоков направляется к верхнему отрезку камеры, где преобразуется в боковые нисходящие потоки, движущиеся через отсеки пластинчатого сгустителя вниз к разгрузочному патрубку колонны.

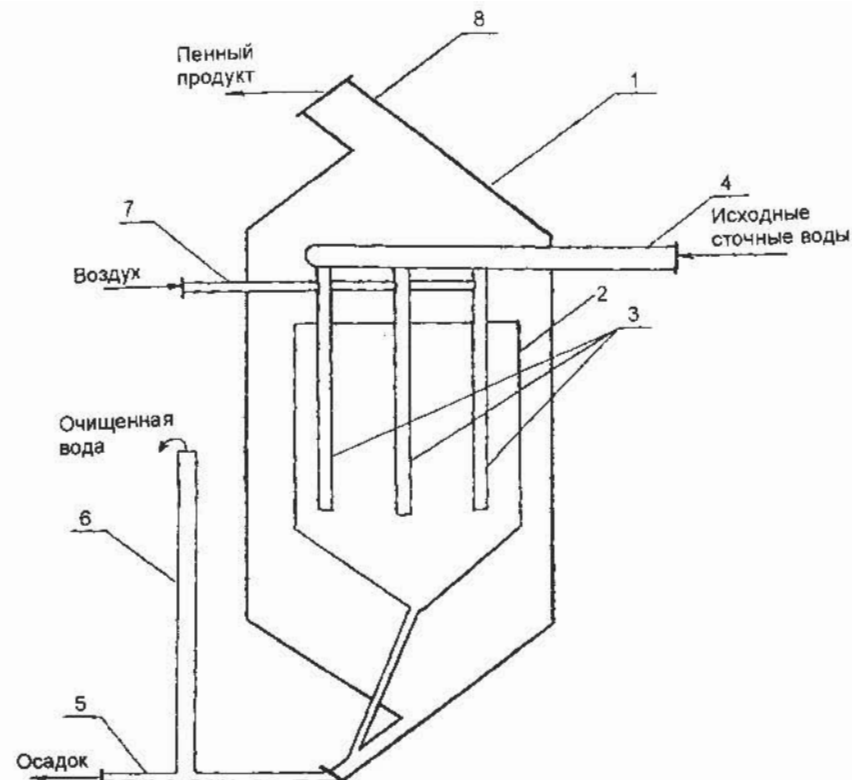


Рис.50. Схема флотационной колонны:

1 – корпус, 2 – устройство для азрации, 3 – азраторы, 4–8 – патрубки

Пузырьки с прилипшими к ним частицами всплывают из восходящих потоков на поверхность жидкости, образуя в сужающей верхней части пенный слой. Осветленная жидкость выводится из флотационной колонны через пластинчатые сгустители и далее через патрубок, расположенный в нижней части колонны. Испытание опытного образца флотационной колонны проводили в операциях очистки жиросодержащих сточных вод и сгущения активного ила. Эффективность осветления сточных вод составила от 72 до 94% в зависимости от содержания жира в исходной воде.

Степень сгущения активного ила составила от 6 до 8 по отношению к концентрации ила в исходной суспензии.

В большинстве практических случаев возникает необходимость по доукомплектованию флотационного аппарата для сгущения активного ила пеноконцентратором, который позволяет увеличить концентрацию активного ила в пенном слое в 1,2...1,5 раза. В результате исследований, проведенных в ГосНИИсинтез-белке были разработаны рекомендации по использованию пеноконцентраторов для дополнительного сгущения сфлотированного активного ила.

Использование пеноконцентратора целесообразно на станциях аэрации или на локальных очистных сооружениях, где отсутствует цех механического обезвоживания осадков сточных вод и избыточного активного ила, но имеется установка напорной флотации. Устанавливать пеноконцентратор следует в технологической цепочке за флотатором.

В качестве газообразного агента в пеноконцентратор можно подавать отработанные газозооушнные выбросы, например, выходящие из скруббера Вентури.

В зависимости от значения илового индекса режим работы пеноконцентратора должен быть рассчитан на время пребывания иловой суспензии в течение 1...2ч. Осветленную жидкость из пеноконцентратора целесообразно возвращать во флотатор для доочистки. Сгущенный пенный продукт, выводимый из пеноконцентратора, целесообразно подогревать при температуре 60...65°C в течение 30...60мин и далее направлять на сушку или утилизировать.

7.2. Разработка флотационного способа сгущения избыточного активного ила с использованием углекислого газа

Сгущение и обезвоживание активного ила является одной из актуальных проблем в процессах очистки сточных вод. Для ее решения ведутся разработки по созданию новых видов оборудования, позволяющего эффективно сгущать и обезвоживать суспензию активного ила. На начальной стадии этого процесса чаще всего используют гравитационные и флотационные илоуплотнители. Последние, хотя и являются более производительными, получили

меньшее распространение на практике, чем гравитационные, из-за слабой изученности флотационного процесса и непостоянства достигаемых технологических результатов.

Начиная с середины 80-х годов прошлого века, проводятся исследования и промышленное освоение нового флотационного способа очистки сточных вод и сгущения избыточного активного ила, предсказанного и открытого автором, с использованием хорошо растворимых в воде газов, в том числе углекислого газа [1,2].

Достоинства использования во флотационном процессе смеси двух газов, один из которых плохо растворим в воде (например, воздух), а другой – хорошо и подается в виде насыщенного раствора (например, углекислый газ), весьма четко проявляются на примере напорной флотации. Сам процесс напорной флотации отличается высокой эффективностью захвата мельчайшими пузырьками воздуха частиц загрязнений за счет того, что пузырьки выделяются из раствора непосредственно на загрязнениях, образуя хорошо сохраняющиеся флотокомплексы.

На рис.51 показана фотография, полученная при помощи стереомикроскопа в ходе экспериментальных исследований.

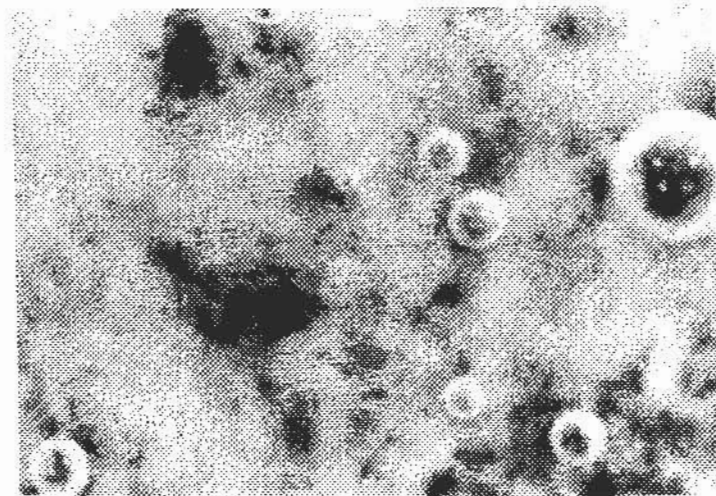


Рис.51. Газовые пузырьки различного размера, выделяющиеся при напорной флотации в объеме осветляемой жидкости

На фотографии изображены газовые пузырьки различного размера, выделяющиеся в объеме жидкости при напорной флотации с использованием добавки раствора углекислого газа. На фото справа виден большой пузырек, размер которого близок к размеру пузырьков углекислого газа, выделяющихся из обычной газированной воды.

На рис.52 в правой части видна пятимиллиметровая частица (пробная), на поверхности которой, при напорной флотации, зародились микропузырьки газа.

Прочность флотокомплексов обеспечивается за счет малости размеров пузырьков, а также за счет того, что на одной частичке может образоваться несколько пузырьков. Однако скорость подъема таких флотокомплексов довольно низкая, а порой мельчайшие пузырьки не могут поднять частицу и комплекс находится во взвешенном состоянии, что можно увидеть при помощи стереомикроскопа.

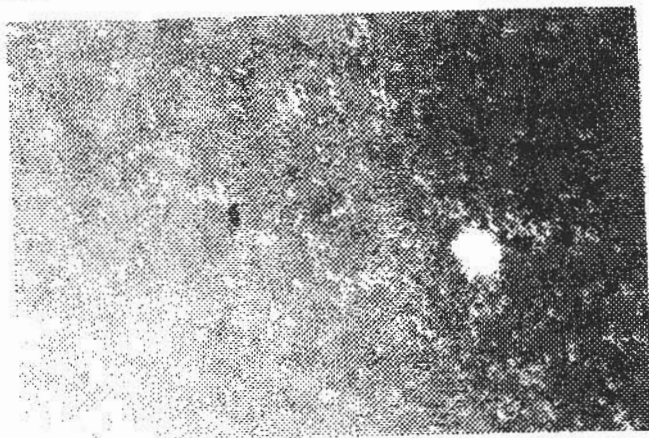


Рис.52. Выделение газовых пузырьков на частицах твердой фазы (частица на фото имеет размер 5мм)

Таким образом, при напорной флотации обеспечивается прочное слипание пузырьков с загрязнениями, но при этом наблюдается небольшая скорость подъема образующихся флотокомплексов. Это приводит к необходимости увеличения размеров флотацион-

ных камер и в целом аппаратов. Поэтому возникла задача увеличить скорость подъема, сохранив, по возможности, достоинства, обеспечиваемые мелкими пузырьками воздуха.

Введение дополнительно во флотокамеру насыщенного раствора хорошо растворимого газа (углекислого газа) приводит к увеличению размера газового пузырька, что показано на рис.51. Увеличение размера пузырьков нетрудно увидеть, сравнив рис.51 и 52. Причем пузырек увеличивается, по-видимому, после образования комплекса «частица-пузырек» и при этом обеспечивается хорошее слипание пузырька с частицей и только затем увеличивается пузырек за счет хорошо растворимого газа, что приводит к увеличению скорости всплывания. Это происходит за счет того, что растворимость воздуха и углекислого газа в воде различная и поэтому, попадая во флотокамеру, сразу же из воды выходят мельчайшие пузырьки 0,05...0,1мм воздуха – газа трудно растворимого в воде, которые выделяются именно на частицах загрязнений, образуя прочные флотокомплексы. Затем эти пузырьки воздуха увеличиваются до 2...3мм за счет углекислого газа, и скорость подъема возрастает. Кроме того, введение раствора углекислого газа интенсифицирует процессы, происходящие в пенном слое. На рис.53 показаны две пробирки: в левой находится пенный продукт, полученный флотацией жидкости с использованием раствора углекислого газа, а в правой – пенный продукт той же самой жидкости, но флотировавшейся без дополнительного введения раствора углекислого газа.

Как видно, слева слой пены более компактный, его высота меньше высоты пенного продукта, находящегося в правой пробирке. Это означает, что введение раствора хорошо растворимого газа повышает концентрацию флотируемого вещества в пенном слое. Кроме того в результате проведения опытов было установлено, что полученный пенный продукт более устойчив и сохраняет свою структуру до 10...12ч в отличие от обычного способа, при котором пенный слой сохраняется 2...3ч [2]. Этот факт также запечатлен на фотоснимке и показан на рис.54.

На фотографии видно, что пенный продукт не растекается по поверхности как в обычном случае, а сохраняет свою структуру и длительное время остается в виде комочка.

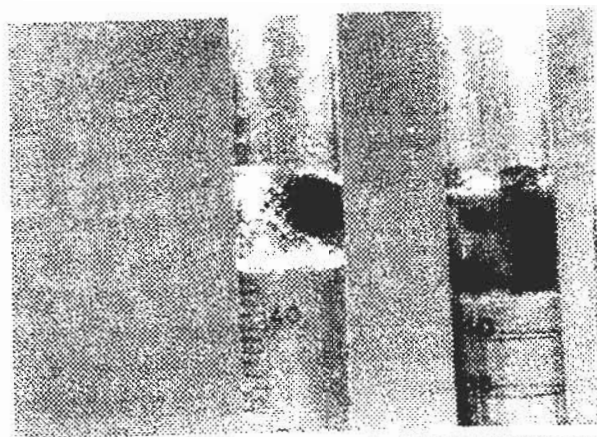


Рис 53. Сравнение высоты пенного слоя сфлотированного активного ила

Согласно проводившимся исследованиям было установлено, что процесс флотации с использованием CO_2 ускоряется в 2...2,5 раза. Необходимо отметить, что углекислый газ должен вводиться предпочтительно в виде водного раствора. Если подавать CO_2 в газообразном виде, то он в виде крупных пузырей, поднимающихся с большой скоростью, будет барботировать жидкость, увеличивая турбулентность среды, а следовательно разрушать образовавшиеся флотокомплексы.

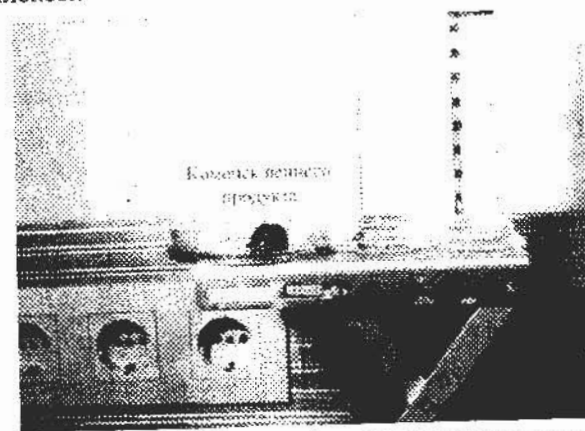


Рис 54. Сохранение пенным слоем сфлотированного активного ила с использованием раствора углекислого газа структуры после удаления пены из пробирки

Для полного изучения изменений флотационного процесса, вносимых дополнительным введением насыщенного раствора углекислого газа, необходимо проанализировать этот процесс с использованием концепции многостадийной флотации [1,2]. Такой подход заключается прежде всего в анализе изменения констант флотационного процесса $K_1 \dots K_6$.

Известно (см.гл.2), что константа K_1 характеризует процесс захвата пузырьком частицы загрязнения. В данном случае процесс образования пузырька воздуха на частице загрязнения происходит в начальный момент образования флотокомплекса и последующего выделения углекислого газа, как газа хорошо растворимого в воде. Таким образом, видно, что на начальной стадии углекислый газ не оказывает ни какого влияния на процесс слипания частицы с пузырьком. Это значит, что константа K_1 не изменяется в результате использования раствора CO_2 , хотя в формулу для определения K_1 входит диаметр пузырька газа. В случае с напорной флотацией, по нашему мнению, константа K_1 должна определяться иначе, чем это делается в большинстве случаев по формуле (2).

Процесс распада флотокомплексов на стадии их образования характеризуется константой K_2 . При напорной флотации во флотокамере обстановка спокойная, режим ламинарный из-за медленных скоростей подъема микропузырьков, поэтому K_2 стремится к нулю. После введения раствора углекислого газа и выделения самого газа увеличиваются пузырьки, входящие в состав флотокомплексов, в несколько раз и соответственно увеличиваются скорости подъема. В этом случае константа K_2 может несколько возрасть по сравнению с обычным режимом флотации (без добавления раствора углекислого газа). Но определить новое значение константы достаточно сложно из-за отсутствия данных, характеризующих гидродинамическую обстановку вблизи растущего и движущегося пузырька, несущего частицу загрязнения.

Напорная флотация отличается низкой скоростью подъема флотокомплексов, поэтому интенсификация этого процесса путем введения раствора CO_2 особенно заметна при всплытии образующихся флотокомплексов. При этом размер пузырьков увеличивается примерно от 0,05...0,1 до 2...3мм и соответственно скорость подъема

увеличивается с 1...3мм/с до 10см/с, что приводит к существенно-му повышению константы K_3 и, следовательно, интенсификации флотационного процесса.

Процессы перехода частиц и флотокомплексов из пенного слоя в жидкость и перехода частицы из жидкости в пенный слой при флотации без использования CO_2 и с использованием последнего практически не отличаются. Только за счет улучшения гидродинамики пленок при использовании раствора углекислого газа выпадение из пенного слоя снижается. Таким образом, видно, что введение насыщенного раствора углекислого газа в первую очередь существенно изменяет значение константы K_3 и в незначительной степени других констант. Если изменение значения K_3 определить относительно легко, то определить изменение, например, K_2 гораздо сложнее, так как процессы турбулизации около всплывающего флотокомплекса пока мало изучены.

Аппаратурное оформление разработанного способа может быть осуществлено в различных вариантах в зависимости от объекта и наличия источника газов, хорошо растворимых в воде.

На рис.55 представлена схема установки напорной флотации с использованием хорошо растворимого газа, в качестве которого используется газ из какого-либо природного источника. Например, газ (метан), получаемый в результате жизнедеятельности анаэробных бактерий в каком-либо водоеме или емкости. Раствор хорошо растворимого газа находится в емкости В, откуда подается во флотокамеру Б. В сатураторе А сточная вода, поступающая по трубопроводу 1, насыщается трудно растворимым газом (например, воздухом), поступающим по трубопроводу 2. Из сатуратора А водогазовая смесь поступает по трубопроводу 3 во флотокамеру Б, где смешивается с потоком водного раствора хорошо растворимого газа, поступающего из емкости В по трубопроводу 4. Часть очищенной воды может поступать в сатуратор по трубопроводу 7, остальная вода удаляется по трубопроводу 5 на доочистку в другие сооружения или на сброс в городскую канализацию. Пенный продукт удаляется по трубопроводу 6. По этой же схеме может быть реализован рассматриваемый метод при наличии источника аммиака, природного газа и других хорошо растворимых газов.

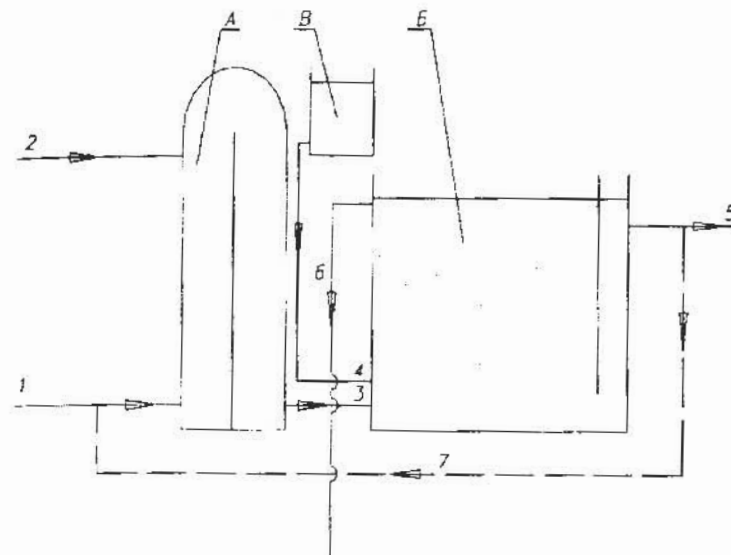


Рис.55. Схема установки напорной флотации с хорошо растворимыми газами

При отсутствии возможности использовать в рассматриваемом процессе растворимый в воде газ из природных источников или техногенных объектов, в которых газ является отходом, флотационный процесс может быть осуществлен по схеме, представленной на рис.56. В этом случае используются два сатуратора. В первом приготавливают раствор трудно растворимого газа (воздуха), аналогично как и на рис.55, а во втором – раствор хорошо растворимого газа (например, углекислого). Поток грязной (исходной) сточной воды по трубопроводу 1 поступает в сатуратор А, куда также по трубопроводу 2 подается труднорастворимый газ (например, воздух). В сатураторе происходит приготовление первого раствора. В то же время из баллона Г в сатуратор В по трубопроводу 9 поступает хорошо растворимый газ. При растворении последнего в воде происходит приготовление второго раствора. По трубопроводам 3 и 4 оба раствора подаются во флотокамеру Б, где и происходит процесс отделения загрязнений в виде флотокомплексов частица-пузырек от воды. Поток очищенной воды разделяется: часть по трубопроводу 7 поступает в сатуратор В, другая

часть – в сатуратор А по трубопроводу 8, а остальной поток (большая часть) по трубопроводу 5 направляется на доочистку или удаляется, например в канализацию. Пенный продукт по трубопроводу 6 удаляется на обработку или утилизацию.

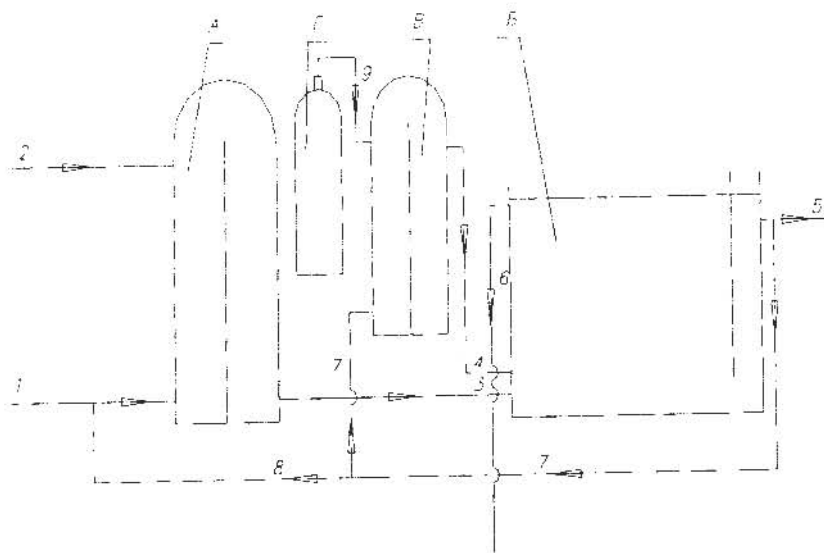


Рис.56. Схема установки напорной флотации с двумя рабочими жидкостями

При проведении испытаний в опытно-промышленных условиях сгущения активного ила по схеме с двумя рабочими жидкостями получены результаты, представленные в табл. 19 и 20.

Представленные данные свидетельствуют о том, что для достижения оптимального технологического режима сгущения активного ила напорной флотацией достаточно добавить насыщенный раствор углекислого газа в количестве 5% от расхода сточных вод. Полученные данные были подтверждены в опытно-промышленных условиях производства белково-витаминного концентрата.

Таблица 19

Влияние двух рабочих жидкостей, из которых одна насыщена воздухом, а вторая – углекислым газом, на эффективность сгущения избыточного активного ила в опытных условиях

Количество насыщенного раствора углекислого газа, % суспензии к раствору сточных вод	Концентрация биомассы, % АСВ	
	в исходной воде	в сгущенной воде
0	0,8	2,9
1	0,8	3,8
1,5	0,8	3,8
2	0,8	3,9
2,5	0,8	4
3	0,8	4,5
3,5	0,8	4,7
4	0,8	4,8
4,5	0,8	5,1
5	0,8	5,2
5,5	0,8	5,2
6	0,8	5,2

Таблица 20

Результаты опытно-промышленных испытаний способа напорной флотации с использованием второй рабочей жидкости, насыщенной углекислым газом, в условиях производства белково-витаминного концентрата

Количество насыщенного раствора углекислого газа, % суспензии к раствору сточных вод	Концентрация биомассы, % АСВ	
	в исходной воде	в сгущенной воде
0	0,84	3,1
3,2	0,72	3,8
4,1	0,94	4
4,8	0,84	4,7
5,3	0,79	4,9
5,6	0,81	4,7
5,9	0,68	4,9
6,2	0,93	4,8
7,5	1,1	4,8

7.3. Интенсификация флотационного сгущения активного ила очистных сооружений с использованием реагентов

В течение 15...20 последних лет проведены исследования по флотированию образцов активного ила, направленные на поиск возможностей улучшения этого процесса. С этой целью были испытаны добавки реагентов (коагулянтов и флокулянтов), а также различные режимы флотирования активного ила, в частности, с использованием различного соотношения «активный ил – рабочая жидкость (дисперсионная вода)» и проведения флотации при различном давлении (0,4...0,6 МПа).

Обработка суспензии активного ила реагентами проводилась при перемешивании, а затем обработанная реагентами суспензия активного ила смешивалась с рабочей жидкостью в соотношении 1:1. В качестве коагулянта использовали сернокислое железо (FeSO_4) в виде жидкости, которое было получено с целлюлозно-бумажной фабрики (г.Сумма, Финляндия), а в качестве флокулянта – феннопол, полученный также с этой целлюлозно-бумажной фабрики.

Оценка действия реагентов проводилась по высоте образующегося слоя и по ХПК жидкой фазы.

Полученные данные по уплотнению пенного слоя, образующегося при флотации активного ила с добавлением сернокислого железа и феннопола, показывают (рис.57–59), что при концентрации сернокислого железа 0,25...0,35 мг/л и концентрации феннопола 1...10 мг/л объем пенного слоя (высота) уменьшается в 1,5...2 раза по сравнению с контролем (без добавления реагентов). При этом снижается также значение мутности осветляемой жидкой фазы в 3...5 раз.

При концентрациях сернокислого железа (FeSO_4) более 0,3...0,4 мг/л достигается еще больший эффект уплотнения пенного слоя, но при этом возрастает значение мутности, что оказывается нежелательным и экономически, видимо, нецелесообразным, так как при этом значительно увеличивается расход сернокислого железа.

Представляет практический и научный интерес сравнить эффективность обработки суспензии активного ила сернокислым железом в сочетании с феннополем и серной кислотой (рис.60,61).

Обработка активного ила серной кислотой приводит к коагуляции частиц активного ила и к улучшению разделения суспензии на пенный слой и жидкость. При этом пенный слой получается в 2,0...2,5 раза плотнее при $\text{pH}=2,5...4,5$, чем при $\text{pH}=6,6...7,0$ (без добавления кислоты). При значениях $\text{pH}=2,5...4,5$ мутность осветленной жидкости снижается в 4...5 раз по сравнению с мутностью жидкости, получаемой при разделении суспензии активного ила флотацией без добавления серной кислоты.

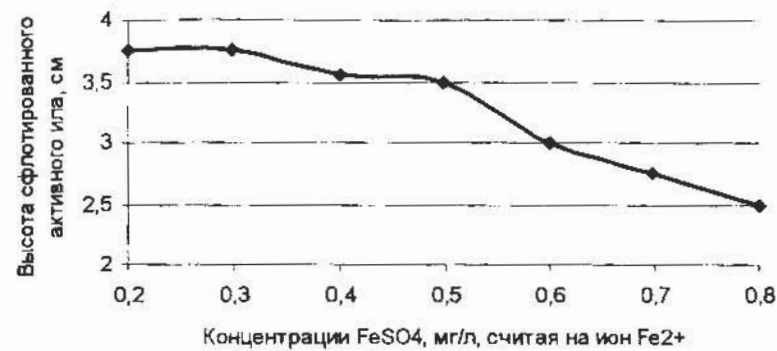


Рис.57. Зависимость высоты сфлотированного активного ила от концентрации FeSO_4

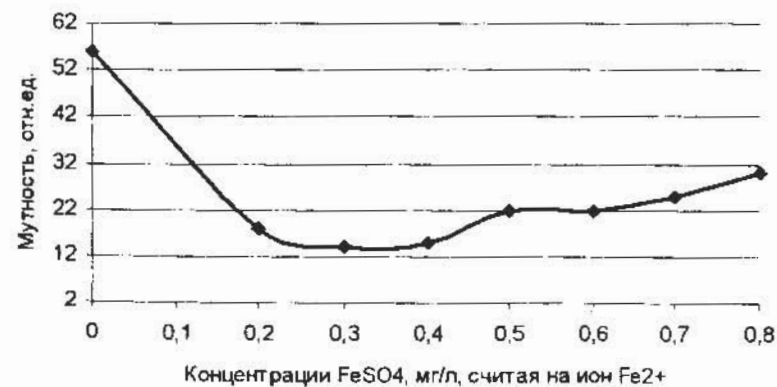


Рис.58. Зависимость мутности иловой воды от концентрации FeSO_4



Рис.59. Зависимость мутности и высоты илового слоя от концентрации FeSO_4 и фенола

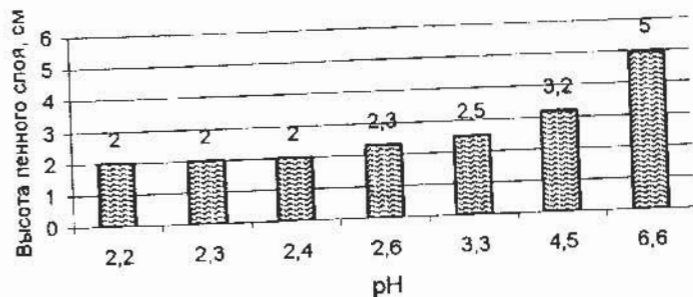


Рис.60. Зависимость высоты пенного слоя от pH

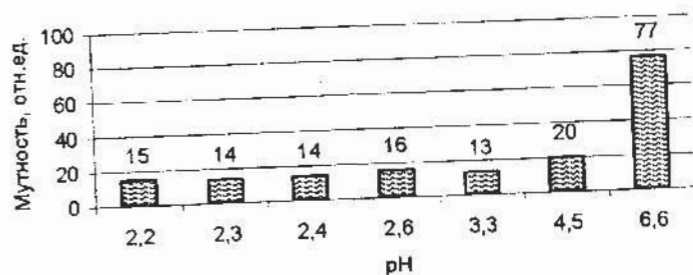


Рис.61. Зависимость мутности от pH

Имеется еще несколько возможностей для улучшения работы флотационной установки на очистных сооружениях фабрики. Например, установить в верхней части флотационной установки пе-

носящее концентрирующее устройство (рис.62). Это устройство представляет собой установленные радиально и по окружностям перегородки высотой 0,5м. Установка перегородок приводит к резкому снижению турбулизации жидкостного потока в верхней части флотационной установки, а также к возможности уплотнения пены в локальном объеме ($0,125 \dots 0,150 \text{ м}^3$), что позволяет повысить концентрацию биомассы активного ила в 1,5...2,0 раза.

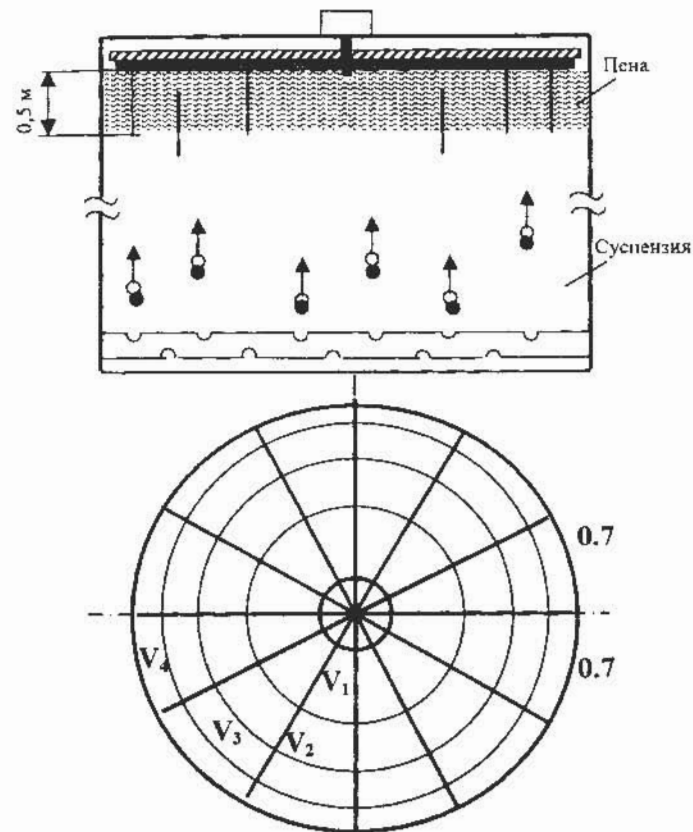


Рис.62. Вращающееся пеносъемное концентрирующее устройство
 $V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = 0,125 \dots 0,150 \text{ м}^3$

В качестве материала для перегородок может быть использован листовой пластик. Установку перегородок следует проводить

таким образом, чтобы существующее пеносъемное устройство касалось верхней части перегородок. При этом контакт осуществлялся бы только резиновой частью пеносъемного устройства. Уровень жидкой фазы при установке перегородок следует подбирать так, чтобы вода была выше нижнего края резиновой части лопаток на 10...15мм.

7.4. Исследование возможности использования флотации в процессе биологической очистки сточных вод

Отделение избыточного активного ила на очистных сооружениях биологической очистки осуществляется в настоящее время отстаиванием. При этом, как показывают практика работы очистных сооружений и наши наблюдения, эта стадия (отстаивание) работает недостаточно эффективно. При этом биологически очищенная вода имеет большое значение БПК, ХПК, а также высокие концентрации взвешенных веществ, в ряде случаев заметно превышающие нормативные требования к качеству очищенных сточных вод, сбрасываемых в открытый водоем.

Микроскопический анализ состояния активного ила показывает, что после второй ступени биологической очистки хлопья активного ила имеют размеры несколько больше, чем после первой ступени. Как показывают результаты экспериментальных исследований и флотируемость хлопьев активного ила после второй ступени лучше.

В этой связи были проведены исследования по возможности замены отстаивания избыточного активного ила флотацией. При этом флотирование осуществлялось по способу напорной флотации. Соотношение «активный ил : дисперсионная вода» составляло 1:1, время флотации – 30мин, давление в сатураторе – 0,55МПа. В качестве коагулянтов использовали полиалюминийхлорид (ПАХ), сернокислое железо (FeSO_4), а в качестве флокулянта – феннопол. Условия и результаты опытов представлены в табл.21 и на рис.63,64.

Проведенные эксперименты показали, что избыточный активный ил можно отделять флотацией от биологически очищенной

воды. При этом активный ил после второй биологической ступени флотируется заметно лучше, чем активный ил после первой ступени биологической очистки. При этом наиболее эффективной на этапе предварительных исследований явилась реагентная система ПАХ–феннопол (при более детальном исследовании не исключается и вариант использования еще более эффективной системы). Следует отметить, что ПАХ является достаточно эффективным флокулянтom и при этом имеется оптимальный диапазон концентраций, когда при небольших дозах этого реагента достигается минимальная мутность осветленной жидкой фазы (рис.65). При этом следует отметить, что использование реагентной системы ПАХ–феннопол приводит к удовлетворительным данным не только по ХПК (рис.66), но и к уменьшению окраски очищенной воды.

Полученные результаты позволили разработать и создать пилотную установку, моделирующую процесс отделения активного ила от воды на очистных сооружениях целлюлозно-бумажной фабрики г.Мента (Финляндия). Пилотная установка представляет секционированный азротенк с отстойником, где одновременно осуществляются два процесса – отстаивание и флотация (рис.67). При этом рядом с отстойником смонтированы сатуратор и дополнительная труба для вывода осветленной жидкости. Переоборудование отстойников во флотоотстойники не требует больших капитальных затрат, а лишь небольшой модернизации. На рис.68,69 представлены различные варианты флотоотстойников, в которых одновременно происходит процесс отстаивания и флотации.

Основное преимущество таких аппаратов перед отстойниками в том, что они позволяют:

- достигать более высокой степени отделения активного ила от воды;
- удалить из воды и мельчайшие, практически не поддающиеся отстаиванию частицы, например, взвешенные частицы соединений фосфора.

Схема очистки сточных вод с переоборудованием отстойников во флотоотстойники и с использованием реагентов представлена на рис.70. При этом видимо, целесообразно изучить и возможность

использования флотации в первичных отстойниках, то есть переоборудовать их во флотоотстойники.

Как показывают результаты исследований, проведенных на пилотной установке с использованием активного ила, смешение рециркулирующего активного ила с поступающей на очистку водой и последующее флотирование приводит к снижению ХПК очищенной воды до 50%.

Этот прием позволяет снизить нагрузку по органическим загрязнениям на аэротенк и тем самым интенсифицировать процесс биологической очистки.

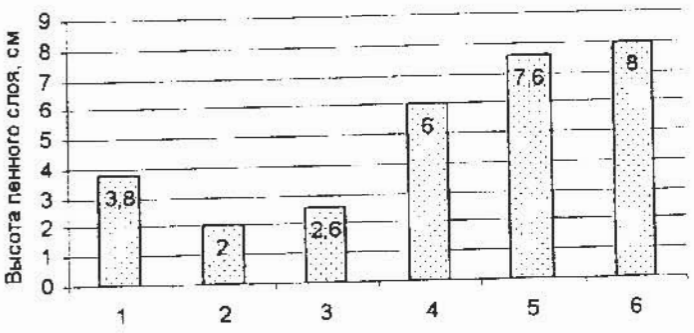


Рис.63. Влияние реагентов на высоту пенного слоя сфлотированного активного ила

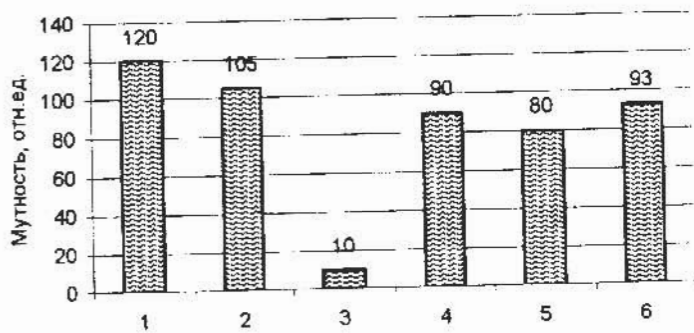


Рис.64. Влияние реагентов на мутность осветленной иловой воды

Таблица 21
Условия проведения опытов по флотации активного ила

№ опыта	1	2	3	4	5	6
Ступеней очистки	1	1	2	1	1	2
Виды реагентов	ПАХ 2мг/л+ феннопол 2мг/л	FeSO ₄ 3мг/л+ феннопол 2мг/л	ПАХ 0,15мг/л+ феннопол 1,6мг/л	FeSO ₄ 3мг/л+ феннопол 1,6мг/л	Без реаген- тов	Без реаген- тов
Примечание: время напорной флотации 30мин; Р=0,55МПа; соотношение суспензии активного ила и дисперсионной воды 1:1.						



Рис.65. Влияние концентрации полиалюминийхлорида (ПАХ) на мутность осветленной (иловой) воды

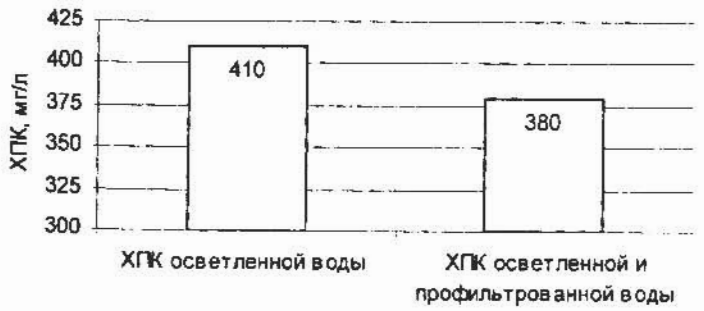


Рис.66. ХПК осветленной воды при времени напорной флотации 30мин с реагентами ПАХ+феннопол

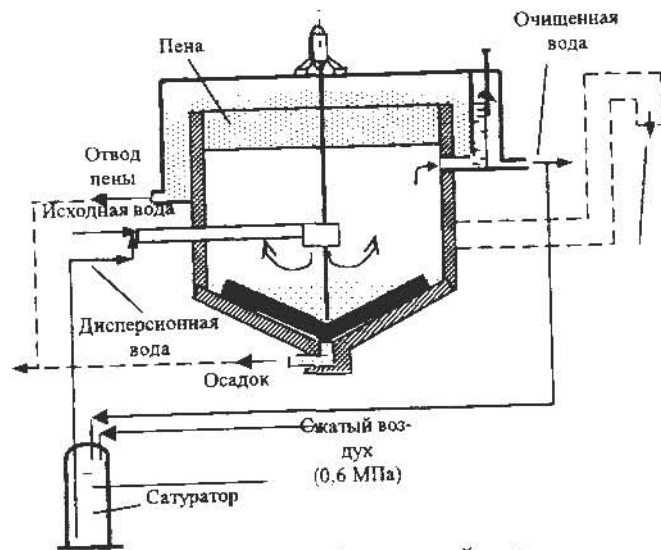


Рис.67. Схема флотоотстойника

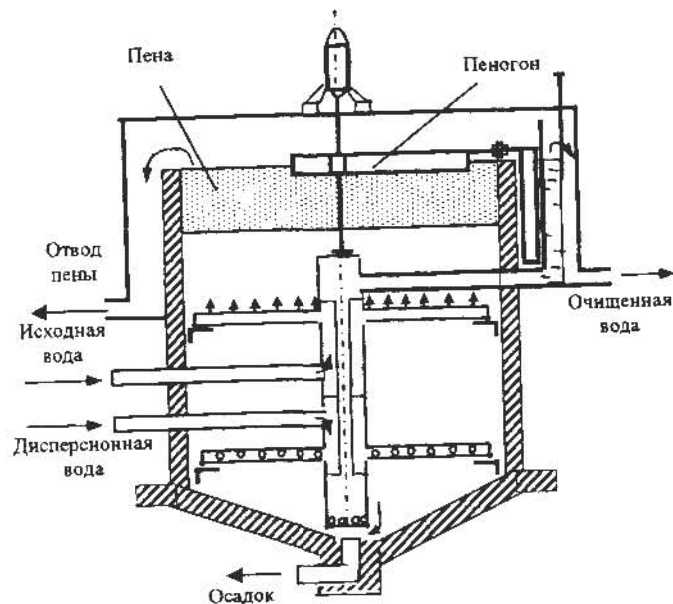


Рис.68. Схема флотоотстойника с пеногоном

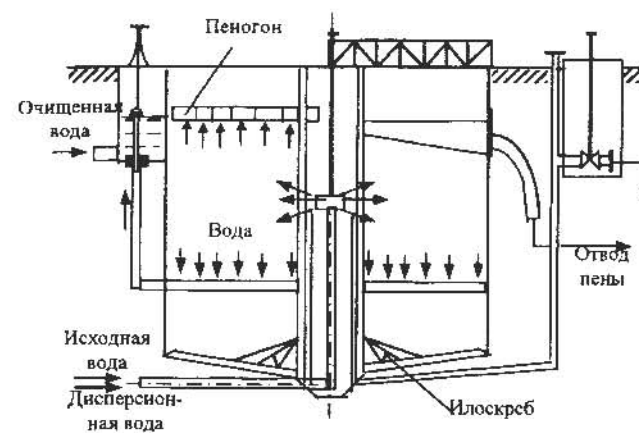


Рис.69. Схема флотоотстойника с илоскребом, совмещенным с пеногоном

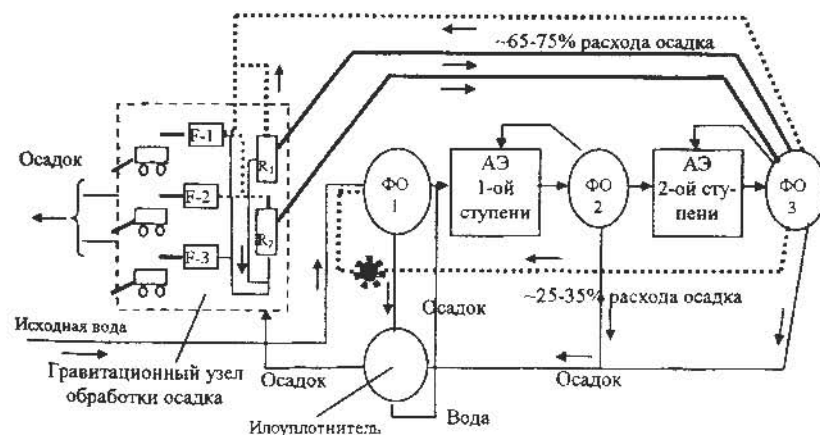


Рис.70. Схема биологической очистки после предложенной реконструкции: R_1 – коагулянт; R_2 – флокулянт, * – аэробная стабилизация, — существующие коммуникации, — . — дополнительные коммуникации после конструкции, ФО – флотоотстойник, АЭ – аэротенк

Глава 8. Создание замкнутой системы водопользования в технологии мойки машин

Самым рациональным способом расходования воды является ее повторное использование. Одним из таких примеров является использование воды в процессах мойки автомобилей с ее флотационной очисткой.

При обычной мойке автомобилей и при мойке перед проведением антикоррозионной защиты различных узлов, деталей, днища сточные воды загрязнены механическими частицами песка, мелкого щебня, глины, взвешенными веществами (ВВ), нефтепродуктами (НП), тетраэтилсвинцом (ТЭС), моющими средствами, применяющимися при мойке, которые включают поверхностно-активные вещества (ПАВ), щелочные неорганические добавки.

Концентрация загрязнений колеблется по качественному и количественному составу в зависимости от времени года, состояния машины и других условий. Колебания концентраций загрязнений в стоках после мойки автотранспорта значительные: от 400 до 10000 мг/л по ВВ, 20...9000 мг/л по НП. При применении моющих средств концентрация ПАВ достигает 0,1 г/л, щелочных электролитов – 20 г/л.

При использовании оборотных систем водоснабжения концентрация загрязнений в воде, используемой вторично для мойки легковых автомобилей, принимается в соответствии с ОНТП-01-86^{*}:

- по взвешенным веществам – 40 мг/л,
- по нефтепродуктам – 15 мг/л.

Для использования воды из технического водопровода требования к качеству воды определяются в соответствии с ОНТП-02-86[†] (табл. 22).

^{*} Общесоюзные нормы технологического проектирования автотранспортных предприятий: ОНТП-01-86/Минавтотранс РСФСР. М., 1986. 128с.

[†] Общесоюзные нормы технологического проектирования авторемонтных предприятий: ОНТП-02-86/Минавтотранс РСФСР. М., 1986. 128с.

Таблица 22
Требования к качеству воды

Температура, °С	ВВ, мг/л	НП, мг/л	pH	БПК ₅ , мг/л
5...40	70 / 40	20 / 15	6,5...8,5	20

Примечание: числитель – значения для грузовых автомобилей, знаменатель – для легковых автомобилей и автобусов.

8.1. Краткая характеристика существующих очистных систем

Типовые проекты, например, ТП 902222487.92 отличаются высокой производительностью – 36, 72, 112 м³/ч, высокой энергоемкостью, предусматривают наличие отдельного здания и рассчитаны на большие предприятия с парком автомашин от 800 штук и более. Технология очистки основана на сочетании механических и физико-химических методов.

Очистка сточных вод с применением ультрафильтрационной мембранной технологии проводится с хорошим качеством, удаляются даже некоторые виды микроорганизмов, но энергоемкость высокая. Кроме того, ультрафильтрационные мембраны быстро забиваются механическими частицами и нефтепродуктами, теряя эффективность очистки во времени.

Установка «Автостоп» фирмы «Гидротекс» представляет собой моноблочную конструкцию, в которой удачно скомпонованы все узлы. Принцип очистки основан на механической фильтрации через коалесцирующий и сорбционный фильтры.

Техническая характеристика установки «Автостоп»

Производительность, м ³ /ч	5
Мощность, кВт	3
Габаритные размеры, м	1,78×1,78×3,0
Показатели очищенной воды, мг/л:	
по взвешенным веществам	40
по нефтепродуктам	15

Установка компактна, потребляет мало электроэнергии, но качество очистки неудовлетворительное. Кроме того, требуется до-

полнительная операция по обеззараживанию, так как без этого вода пахнет и "цветет".

Установки меньшей производительности разработаны и производятся в настоящее время малыми предприятиями и фирмами. К типичным установкам такого типа относятся следующие.

Очистная установка «Дека-М» с оборотным водоснабжением (фирма «Эко») предназначена для механической очистки сточных вод от загрязнений нефтепродуктами и взвешенными веществами. Технология основана на механической очистке от твердой фазы в отстойниках, где за счет изменения скорости движения воды грязь выпадает в осадок, а взвешенные вещества, находящиеся в мелко-дисперсном состоянии, оседают на листах тонкослоя. Отделение нефтепродуктов происходит в гравитационном сепараторе. Доочистка проводится путем добавления ферментов.

Техническая характеристика установки «Дека-М»

Производительность, м ³ /ч	4
Режим работы	непрерывный, периодический
Габаритные размеры без бака первичного приема, м	3,6×0,75×3,0
Показатели очищенной воды, мг/л:	
по взвешенным веществам	8
по нефтепродуктам	0,1

Еще одна установка с оборотным водоснабжением «Дека-VIII» фирмы «Эко» имеет производительность 8 м³/ч. Установка состоит из напорного гидроциклона, емкости очистки сточных вод, емкости доочистки и контейнера, который предназначен для размещения установки вне отапливаемых помещений и поэтому предусматривает отопление электронагревателями или водяными носителями. Установка без контейнера предназначена для размещения в отапливаемых помещениях.

Установка работает следующим образом: сточная жидкость из приемного резервуара подается на гидроциклон, который отделяет жидкую фазу от твердой (песок, глина, минеральные компоненты). Пройдя ступень грубой очистки, сточная жидкость поступает в емкость очистки (гравитационный сепаратор), где за счет внутренних перегородок и пластин происходит разделение сточной жидкости

на нефтепродукты и воду. Вода, очищенная от нефтепродуктов до 10...20 мг/л, поступает на фильтр тонкой очистки и емкость биологической доочистки. Биологическая доочистка производится ферментом «Лектин-5», который представляет собой препарат каталитического действия. По мнению разработчика, этот фермент разрывает молекулярные связи С-Н в нефтепродуктах и фенолах с образованием углекислого газа и воды. Однако, по нашему мнению, такого эффекта не наблюдается даже при глубокой биологической очистке и, тем более, при действии указанного фермента.

К недостаткам установок фирмы «Эко» относится нестабильность работы фермента при колебаниях температуры, необходимость его активирования электрохимическим способом, высокая стоимость и отсутствие промышленного производства фермента.

Установка ОМ-22630 предназначена для очистки моющих растворов с использованием ультрафильтрационной технологии (разработка Тюменского филиала ЦКТВ).

Техническая характеристика установки ОМ-22630

Производительность, м ³ /ч	2
Мощность, кВт	25
Остаточная загрязненность моющего раствора по НП, мг/л	30
Габариты блока ультрафильтрации, м	2,5×1,59×1,6
Занимаемая площадь, м ²	3...25

В технологических схемах зарубежных рециркуляционных установок в качестве основной используется реагентная схема обработки сточных вод, в ряде случаев с последующей механической и адсорбционной фильтрацией.

Заслуживает внимания флотационная установка американской фирмы «Wemco». Она состоит из четырех стандартных флотационных камер, каждая из которых оснащена роторным аэратором. Вращающийся ротор действует как насос, который создает разрежение в обсадной трубе. Атмосферный воздух засасывается через входное отверстие в обсадной трубе и смешивается с водой. Эта газовоздушная смесь прогоняется через диспергатор, где образуются микропузырьки воздуха, на которых адсорбируются частицы взвешенных примесей и нефтепродуктов. Флотокомплексы части-

цы загрязнений – пузырьки воздуха всплывают и образуют пенный слой, который сбрасывается пеногоном в пеносборник. Каждая камера изготовлена из нержавеющей стали, оборудована смотровыми люками и пневматическими уровнемерами жидкости. На внутреннюю поверхность камеры нанесено антикоррозионное высокотемпературное эпоксидное покрытие. Очистка нефтесодержащих стоков в этой установке позволяет достигнуть остаточной концентрации нефти до 10 мг/л.

Следует отметить, что в отличие от других зарубежных фирм, использующих для этих целей напорную флотацию, фирма "Wemco" применяет механические флотационные машины. Это позволяет на малой площади разместить флотационную машину с большой пропускной способностью. Однако существенным недостатком этих флотационных машин является сложность конструкции импеллера и его привода. Этот недостаток устраняется в конструкции института ГосНИИсинтезбелок путем установки прямоприводных импеллерных блоков.

8.2. Обоснование проектной мощности опытно-промышленной установки

Согласно заданию заказчика пропускная способность мойки составляет 2...6 автомашин в час, что приводит к образованию сточной воды в количестве не более 1 м³/ч. При создании водоочистных систем для мойки автомобилей необходимо учитывать местные природно-климатические условия, которые, например, для Москвы, следующие: климат континентальный; отрицательные температуры наблюдаются в течение пяти месяцев - ноябрь, декабрь, январь, февраль, март; средняя температура января минус 10,8°C, относительная влажность 88%. Средняя температура июля плюс 18°C, относительная влажность 70%.

Описанные выше природно-климатические условия г. Москвы указывают на необходимость размещения флотационной установки для очистки сточных вод в помещении с температурой не ниже +10...+15°C.

Существующее положение (на примере г.Москвы). В настоящее время для московских автотранспортных предприятий (АТП) в большинстве случаев запроектирована очистка сточных вод после мойки автомобилей методом напорной фильтрации. Очистная установка располагается обычно в здании гаража или мойки. Установка чаще всего состоит из песколовки, фильтра с плавающей загрузкой и напорного фильтра. Существенным недостатком известных установок для очистки нефтесодержащих сточных вод является необходимость периодической регенерации фильтрующей загрузки, что не всегда выполняется. В результате поры загрузки забиваются и фильтр становится неработоспособным. По нашему мнению, стадию напорной фильтрации необходимо заменить на флотацию и как показывает приведенный выше анализ различных флотационных установок наибольшей эффективностью и надежностью в работе отличаются механические (импеллерные) и пневматические флотомашин.

С учетом отмеченных выше обстоятельств нами предложена технология очистки сточных вод после мойки автомашин по схеме отстаивание-флотация. При этом аппаратное оформление стадии флотации представлено комбинированной четырехкамерной флотомашинной механического или пневматического типа.

8.3. Характеристика сточных вод после мойки автомобилей

Характеристика сточных вод после мойки автомобилей, эксплуатируемых на дорогах с твердым покрытием, приведена в табл.23. Для дорог с щебеночным или гравийным покрытием применяется поправочный коэффициент 1,2, для грунтовых дорог – 1,5.

При работе автомобилей на этилированном бензине сточные воды могут содержать высокотоксичный тетраэтилсвинец (0,001...0,02 мг/л).

Приведенные в табл.23 данные являются ориентировочными и иногда заметно отличаются от наблюдаемых на практике.

Таблица 23
Характеристика оборотной сточной воды АТ

Категория автомобиля	Размеры автомобиля, м		Концентрация загрязнений, мг/л	
	длина	ширина	ВВ	нефтепродукты
I	< 6	< 2	700	75
II	6...8	2...2,8	1100	470
III	8...11	2,5...2,8	1600	850
IV	> 11	> 2,8	3000	900

В используемой для мойки грузовых автомобилей осветленной производственной сточной воде концентрация механических примесей не должна превышать 70 мг/л, для мойки легковых автомобилей и автобусов – 40мг/л. Концентрация нефтепродуктов не должна превышать соответственно 20 и 15мг/л. Содержание тетраэтилсвинца допускается до 0,001мг/л.

8.4 Общая схема локальной очистки и характеристика проектируемых сооружений

Образующиеся после мойки автомашин сточные воды направляются (рис.71) в три песколовки 1, расположенные последовательно. В песколовках, представляющих собой отстойные резервуары прямоугольной формы, осаждаются крупные фракции песка. Затем сточные воды направляются в отстойник объемом около 3м³, где происходит улавливание тонкодисперсных взвешенных веществ. Предварительно осветленную воду подают с помощью насоса 3 во флотомашину 4. В зависимости от величин начальных концентраций ВВ и НП в сточной воде используется флотационная машина механического или пневматического типа ФКМО и ПФМ, описанные в гл.2. Извлеченные при флотации из воды нефтепродукты и тонкодисперсные вещества в виде пенного продукта направляют в пеносборник 7. Осветленная вода из флотационной машины поступает в фильтр 5 на доочистку и далее в сборник очищенной воды 6, откуда по мере необходимости с помощью насоса 8 подается на мойку автомашин.

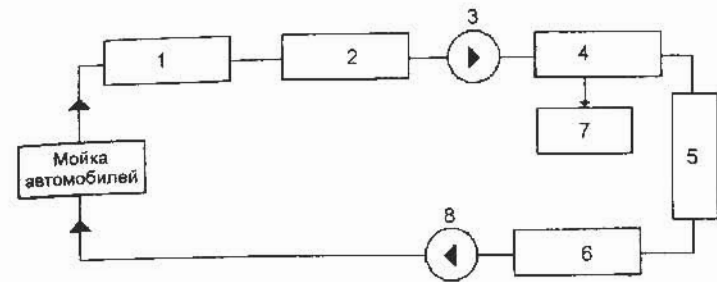


Рис. 71. Схема очистки промышленных вод после мойки автомобилей

8.5 Расчет оборудования

Расход воды до 5 м³/ч.

Песколовки

Определяем длину L проточной части песколовки по формуле

$$L = (10^3 \times v \times h \times k_1) / U_0,$$

где v – скорость движения жидкости в песколовке, h – высота песколовки, k_1 – коэффициент, принимаемый равным 1,7 при $U = 18,7$ мм/с, соответствует диаметру осаждаемых частиц $d = 0,2$ мм.

Высоту песколовки принимаем согласно рекомендациям (0,25...1м) равной 1м. Скорость движения сточных вод в песколовке находим по формуле

$$v = Q / (B \times h_0),$$

где Q – расход сточных вод ($Q = 5$ м³/ч), h_0 – глубина проточной части песколовки ($h_0 = 0,05$ м), B – ширина песколовки, которую согласно рекомендациям (0,5...2м) принимаем равной 1,5м.

Принимаем, что песколовка состоит из трех отделений ($n = 3$). Тогда ширина b одного отделения равна:

$$b = B / n = 1,5 / 3 = 0,5 \text{ м.}$$

Соответственно для скорости v движения сточных вод и длины L проточной части песколовки получаем:

$$v = 5 / (3600 \times 1,5 \times 0,05) = 18,5 \times 10^{-3} \text{ м/с,}$$

$$L = (10^3 \times 18,5 \times 10^{-3} \times 1,7) / 18,7 = 1,6 \text{ м.}$$

Таким образом, $L = 1,6$ м, $b = 0,5$ м.

С учетом возможных неучтенных факторов вводим коэффициент $k_{\text{н}} = 2$ и тогда $L = 3\text{ м}$, $b = 1\text{ м}$.

Следует отметить, что проведенный выше расчет предполагает, что в песколовках будут осаждаться не только минеральные частицы (песок) размером 0,2 мм и менее, но и органические частицы. Последнее хотя и считается нежелательным явлением, однако эффективность песколовок по нашим экспериментальным данным достигает 60...65% от общего количества взвешенных веществ в исходной сточной воде.

Предварительно очищенная от песка и тонкодисперсных органических веществ (волокон и т.п.) сточная жидкость поступает в резервуар грязной воды, выполняющий одновременно функцию отстойника и промежуточной емкости для сбора сточной жидкости перед подачей ее во флотационную машину.

Отстойник

Расчет этого резервуара (отстойника) проводится из предположения осаждения в нем тонкодисперсных минеральных и органических веществ с эффективностью осветления 15...20% и накопления сточной жидкости в объеме 5 м^3 .

С учетом конструктивных особенностей были выбраны следующие габариты резервуара:

$$B = 2,0\text{ м}, \quad L = 2,2\text{ м},$$

$$H_{\text{геом}} = 1,5 \times v \quad (H_{\text{раб}} = 1,15\text{ м}),$$

$$V_{\text{геом}} = L_0 \times B \times H_{\text{геом}} = 2,2 \times 2 \times 1,5 = 6,6\text{ м}^3,$$

$$V_{\text{раб}} = L_0 \times B \times H_{\text{раб}} = 2,2 \times 2 \times 1,15 = 5,0\text{ м}^3.$$

Эффективность работы отстойника определялась по формуле:

$$\mathcal{E}_0 = (C_0 - C_1) / C_0 \times 100\%,$$

где $\mathcal{E}_0$ – эффективность отстаивания %, C_0 – содержание взвешенных веществ в исходной воде, мг/л, C_1 – содержание взвешенных веществ в очищенной воде, мг/л.

На основании экспериментального изучения работы отстойника со временем отстаивания 1ч установлено, что $\mathcal{E}_0 = 16,5...19,3\%$, причем $C_1 = 34...60\text{ мг/л}$.

Флотомашинна импеллерного типа

В основу методики расчета положены результаты экспериментальных исследований работы флотомашинны на нефтесодержащих сточных водах. Учитывая, что в отечественной практике механические флотационные машины унифицированы в части объема камер, для достижения необходимой эффективности очистки сточных вод необходимо определить экспериментально время флотации и расчетным путем найти количество камер флотомашинны.

Очистку сточных вод от нефтепродуктов и взвешенных частиц размером порядка 0,1мм проводят в комбинированной машине ФКМО-0,15. Как показали проведенные эксперименты при содержании нефтепродуктов в исходной сточной жидкости в интервале концентраций 60...100 мг/л ($C'_{\text{ф}} = 80\text{ мг/л}$) в среднем достигается содержание нефтепродуктов в очищенной воде 9...11 мг/л ($C''_{\text{ср}} = 10\text{ мг/л}$). При этом эффективность очистки флотационным способом по нефтепродуктам составляет

$$\mathcal{E}_{\text{ф}} = (80 - 10) / 80 \times 87,5\%.$$

Расчет флотомашинны проведем для двух случаев. На производительность $Q' = 5\text{ м}^3/\text{ч}$ с достижением в осветленной воде содержания нефтепродуктов 15мг/л со временем флотации 3,5мин и $Q'' = 1\text{ м}^3/\text{ч}$ с получением остаточной концентрации нефтепродуктов в воде 5...10мг/л при времени флотации 15 мин.

1. Необходимое количество m камер машины определяется по формуле: $m = (Q \times t_{\text{ф}}) / [60 \times W \times (1 - \alpha)]$, где W – емкость камеры машины, м^3 , $t_{\text{ф}}$ – продолжительность флотации, мин, α – коэффициент аэрации (0,5)

$$m' = (5 \times 3,5) / [60 \times 0,1375 \times (1 - 0,5)] = 4,2,$$

$$m'' = (1 \times 15) / [60 \times 0,1375 \times (1 - 0,5)] = 3,6.$$

2. Продолжительность флотации задается на основании экспериментальных данных. После выбора типа машин и определения их числа фактическая продолжительность уточняется по формуле:

$$t_{\text{ф}} = [m \times W \times (1 - \alpha) \times 60] / Q,$$

$$t'_{\text{ф}} = [4 \times 0,1375 \times (1 - 0,5) \times 60] / 5 = 3,3\text{ мин},$$

$$t''_{\text{ф}} = [4 \times 0,1375 \times (1 - 0,5) \times 60] / 1 = 16,5\text{ мин}.$$

3. Количество флотоконцентрата, поступающего с флотомашины, в среднем равно 0,15...0,25 расхода сточных вод соответственно при продолжительности флотации 15...20 мин.

4. Пена с флотомашины направляется в пеносборник в количестве 150...250 л/ч.

5. Очищенная вода в количестве 750...850 л/ч поступает в резервуар очищенной воды.

Фильтр доочистки

При расчете параметров фильтров для достижения определенной степени очистки (рис.72), включая полное извлечение нефтепродуктов из воды, выбираются рекомендуемые параметры, указанные в табл.24.

Таблица 24

Используемая дисперсная загрузка для достижения нормативных значений содержания нефтепродуктов в очищенной воде

Нормативные значения концентрации нефтепродуктов в очищенной воде, мг/л	Тип загрузки	Время контактирования t , мин	Линейная скорость движения воды v , м/ч
4,0 (возможность сброса в городскую канализацию)	Антрацит 90% + торф 10%	15	10
0,05 (возможность сброса очищенных сточных вод в открытый водоем)	Активированный уголь АГ-3	20	12
Отсутствие нефтепродуктов в очищенной воде, используемой для хозяйственно-бытовых нужд	Активированный серебро-содержащий уголь АГ-8С	20	15

Исходные параметры для расчета основных габаритных размеров Фильтра: производительность Q (задается заказчиком), в данном случае $Q = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Время контактирования t_ϕ с дисперсной загрузкой и линейная скорость V_ϕ движения воды в ней выбирается исходя из экспериментальных результатов (табл. 2).

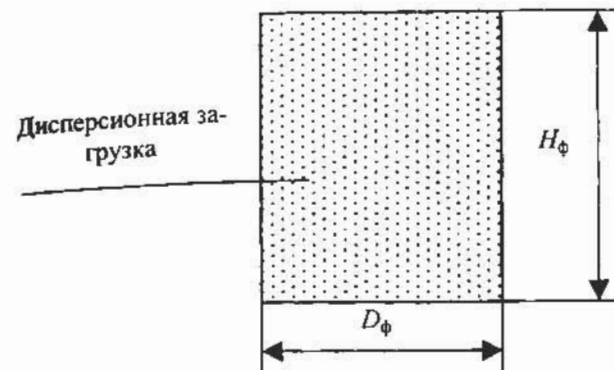


Рис.72. Схема фильтра доочистки с зернистой загрузкой

Расчет производится по следующим рабочим формулам:

$$V_p = \tau_\phi \times Q,$$

$$H_\phi = \tau_\phi \times V_\phi,$$

$$S_\phi = V_p / H_\phi,$$

$$D_\phi = V_p / H_\phi,$$

$$D_\phi = \sqrt{(4 \times S_\phi) / \pi} = \sqrt{(4 \times V_p) / (\pi \times H_\phi)}.$$

Пример 1.

$$Q = 1 \text{ м}^3/\text{ч}; \tau_\phi = 0,25 \text{ ч}; V_\phi = 10 \text{ м/ч},$$

$$V_p = 0,25 \times 1 = 0,25 \text{ м}^3; H_\phi = 0,25 \times 10 = 2,5 \text{ м},$$

$$D_\phi = \sqrt{(4 \times 0,25) / (3,14 \times 2,5)} \approx 0,36 \text{ м}.$$

Пример 2.

$$Q = 1 \text{ м}^3/\text{ч}; \tau_\phi = 0,33 \text{ ч}; V_\phi = 12 \text{ м/ч},$$

$$V_p = 0,33 \times 1 = 0,33 \text{ м}^3; H_\phi = 1/3 \times 12 = 4 \text{ м},$$

$$D_\phi = \sqrt{(4 \times 0,33) / (3,14 \times 4)} \approx 0,32 \text{ м}.$$

Пример 3.

$$Q = 5 \text{ м}^3/\text{ч}; \tau_\phi = 0,25 \text{ ч}; V_\phi = 10 \text{ м/ч},$$

$$V_p = 0,25 \times 5 = 1,25 \text{ м}^3; H_\phi = 0,25 \times 10 = 2,5 \text{ м},$$

$$D_\phi = \sqrt{(4 \times 1,25) / (3,14 \times 2,5)} \approx 0,81 \text{ м}.$$

Расчет количества пенного продукта и осадка сточных вод

1. Количество пенного продукта, образующегося при очистке нефтесодержащих сточных вод, составляет примерно 15% от количества сточных вод. При этом концентрация нефтепродуктов находится в пределах 10...20%. При исходном количестве сточных вод $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ количество пенного продукта составит:

$$1 \times 0,15 = 0,15 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

2. Количество осадка с влажностью в пределах 90...92% составляет примерно 0,5%. При производительности установки $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ количество осадка составит:

$$1 \times 0,005 = 0,005 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Разработанная технология предусматривает утилизацию загрязняющих стоки веществ.

Нефтесодержащие осадки могут быть успешно использованы при производстве строительных материалов, например, кирпича, как строительного, так и вакуумированного (введение кека – 10% по массе). Нефтеотходы (отработанные масла) широко применяют в производстве керамзита (легкий гранулированный материал с пористой ячейкой). Нефтеотходы можно также использовать для смазки неответственных механизмов, цепей, форм для изготовления бетонных плит на заводах ЖБК.

Жидкие нефтеотходы могут использоваться в качестве профилактических средств, предотвращающих смерзание углей, причем они могут заменить дорогостоящие парафиносодержащие нефти и мазут. Некоторые предприятия используют образующиеся у них нефтеотходы в качестве топлива в котельной. Неутилизированные нефтеотходы могут быть использованы в дорожном строительстве.

Очистные сооружения располагаются в здании гаража или мойки автомашин. При этом электроснабжение и теплоснабжение будут осуществляться от существующих сетей. Энергоемкость – не более 6 кВт.

Водоснабжение очистных сооружений осуществляется от существующих сетей водопровода гаража.

Эксплуатация очистных сооружений осуществляется при температурных режимах в пределах не менее $+10...+15^\circ\text{C}$.

Электропитание электрооборудования и приборов очистных устройств предусматривается от 3-х фазной сети переменного тока частотой 50 Гц с глухозаземленной нейтралью напряжением 380/220 В. Напряжение электропитания электродвигателей 380 В. Напряжение электропитания цепей управления и автоматики 220 В.

Разработанная схема управления и автоматизации работой системы очистки воды после мойки автомобилей с последующим ее использованием предусматривает и обеспечивает следующие функциональные возможности:

- режим включения – местный со шкафа управления;
- режим работы – автоматический и наладочный при управлении со шкафа управления;
- защиту и сигнализацию в аварийных ситуациях.

В состав электрооборудования очистных устройств входит: нестандартизированный шкаф управления, электродвигатели флотомашины, электродвигатели насосов, датчики и регуляторы уровня заполнения резервуаров грязной и осветленной воды. В шкафу управления размещаются блоки управления двигателями, регуляторы уровня, промежуточные электромагнитные реле, переключатели управления, кнопки управления, сигнальная арматура.

Регулятор уровня, отслеживающий заполнение резервуара грязной воды, при уровнях, указанных на чертеже:

- подает аварийный сигнал,
- включает и отключает насос подачи грязной воды с одновременным включением-отключением флотомашины.

При выполнении монтажных работ все металлоконструкции электрооборудования, не находящиеся в рабочем состоянии под напряжением, и металлоконструкции технологического оборудования должны быть надежно, в соответствии с ПУЭ, заземлены.

Необходимость очистки стоков после мойки автомашин обусловлена наличием значительного количества загрязнений, в частности, взвешенных веществ и нефтепродуктов. При этом возникает задача локальной очистки нефтесодержащих сточных вод с возвратом очищенной воды на мойку автомобилей. В этом случае требу-

ется достижение определенных концентраций взвешенных веществ и нефтепродуктов в очищенной воде согласно нормам, установленным Минавтотранспортом РФ.

Важное значение при этом имеет сгущение и утилизация образующихся отходов в виде пенного продукта, содержащего нефть и другие нефтесодержащие гидрофобные вещества, а также минеральный осадок, представленный в основном частицами песка.

В Москве указанные выше отходы принимает ГП «Промотходы», взимая за это определенную плату.

Глава 9. Примеры расчетов очистных сооружений

9.1. Очистные сооружения пищевого производства

Исходные данные

Расход сточных вод $Q = 0,6 \text{ л/с}$ ($2,16 \text{ м}^3/\text{ч}$) с расходом добавочной свежей воды – $2 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Загрязнения в исходной воде: взвешенные вещества (ВВ) – 1000 мг/л ; эфироивлекаемые (в основном жиры) вещества (ЭВ) – 150 мг/л .

После очистки стоков, содержание в оборотной воде взвешенных веществ должно быть не более $7 \dots 10 \text{ мг/л}$, жиров $1 \dots 5 \text{ мг/л}$. Очищенная вода используется в оборотных системах водопользования, действующих на предприятии, или сбрасывается в канализацию.

Схема очистки сточных вод

Предлагаемая схема очистки сточных вод пищевого производства (рис.73), включающая устройства и аппараты для механической и физико-химической очистки воды, отличается высокой эффективностью и надежностью в эксплуатации.

Производственные сточные воды в количестве $2,16 \text{ м}^3/\text{ч}$ стекают через решетку и самотеком по наклонному желобу (уклон не менее $0,01$) направляются в песколовку 1. В песколовке, представляющей отстойный резервуар прямоугольной формы, осаждаются крупные фракции песка. Далее сточные воды самотеком направляются в резервуар грязной воды 2 объемом около 2 м^3 , где накапливается грязная вода. Осажденные в резервуаре взвешенные вещества периодически удаляются погружным насосом 4 для удаления осадка.

Из резервуара грязной воды сточные воды с помощью погружного насоса 3 подаются в грязежировловушку 5, где происходит улавливание тонкодисперсных взвешенных веществ и частичное удаление из воды жиров. Осадок скапливается на дне, и периодически удаляется в сборник осадка 6, расположенный под грязежировловушкой. Объем сборника осадка составляет около $0,7 \text{ м}^3$.

Предварительно осветленная вода самотеком попадает в пневматическую флотомашину 7. Флотомашина содержит три камеры и пластинчатый осветлитель, между которыми выполнены сквозные отверстия для прохода воды. На боковой поверхности флотомшины установлен желоб для отвода пенного продукта.

В камерах флотатора установлены резиновые перфорированные аэраторы, через которые от компрессора 8 подается сжатый воздух. На микропузырьках воздуха, образующихся при прохождении через отверстия аэраторов, выделяются частицы загрязнений, в том числе жиры и жироподобные вещества.

Образующиеся флотокомплексы “частицы загрязнений - пузырьки воздуха” всплывают, образуя пенный слой. Более мелкие флотокомплексы всплывают медленно и для их удаления предусмотрен пластинчатый осветлитель.

При непрерывном удалении пенопродукта его объем составляет до 15% от расхода очищаемой воды и требует отстаивания с последующим переливом отстоянной воды в резервуар грязной воды, при этом требуется пеносборник значительных размеров. В этой связи рекомендуется периодический отвод пенного продукта, что приводит к резкому снижению его объема (до $1,5\%$ от расхода очищаемой воды). С этой целью пенный продукт переливается в желоб, а затем в сборник пенопродукта 9, расположенный под

флотомашинной. объемом около $1,2\text{ м}^3$; таким же образом в пеносорборник удаляются уловленные в грязежировловушке жиры.

Очищенная сточная вода самотеком направляется в безнапорный угольный фильтр 10 для более полной очистки от жиров. Перед фильтром установлен вентиль для регулирования скорости фильтрации воды или перекрытия трубопровода при замене загрузки.

Из фильтра доочистки вода поступает в резервуар 11 чистой воды, откуда по мере необходимости подается в оборотную систему предприятия или сбрасывается в канализацию.

На выходе из флотомашинны, как правило, достигается необходимое качество воды, и фильтр доочистки устанавливается в качестве резервного элемента. В предлагаемой системе очистки предусмотрен обходной трубопровод, подающий воду из флотомашинны непосредственно в резервуар очищенной воды, а также вентили для перекрытия того или иного трубопровода.

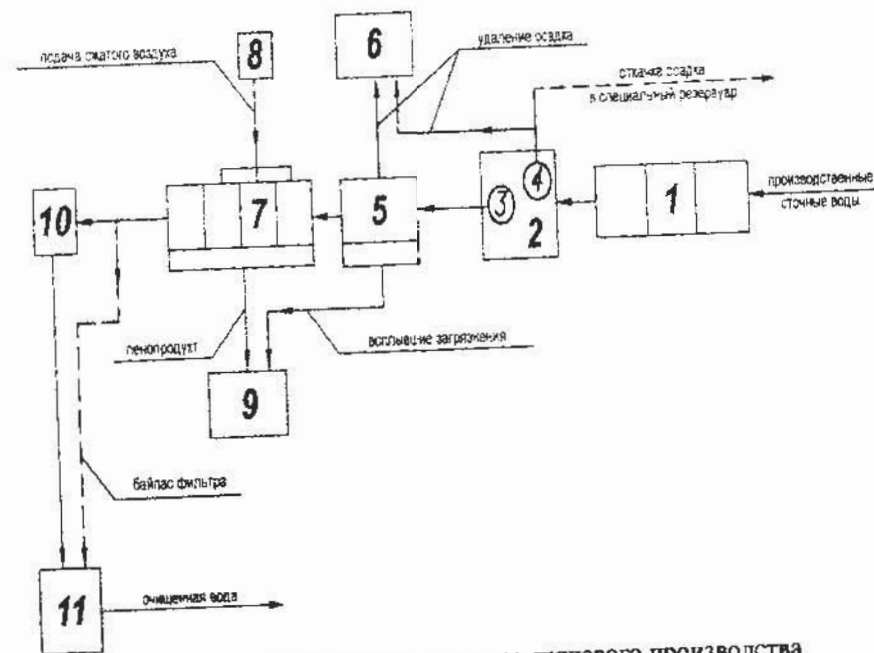


Рис. 73. Схема очистки сточных вод пищевого производства

Расчет оборудования

Расчет песколовки

Начальное содержание ВВ – 1000 мг/л , ЭВ – 150 мг/л ; требуемое конечное содержание ВВ – 400 мг/л , ЭВ – 148 мг/л^* .

1. Площадь сечения песколовки:

$$F = Q/3600 \nu n,$$

где ν – средняя скорость движения воды; n – количество параллельно установленных секций песколовки.

Для горизонтальных песколовки рекомендуемая скорость движения воды – $0,1 \dots 0,3\text{ м/с}$. Принимая $\nu = 0,1\text{ м/с}$, площадь живого сечения песколовки составляет

$$F = 2,16/(3600 \times 0,1 \times 1) = 0,006\text{ м}^2.$$

2. Ширина проточной части песколовки выбирается конструктивно:

$$B = 0,18\text{ м}.$$

3. Глубина проточной части песколовки:

$$h_1 = F/B = 0,006/0,18 = 0,033\text{ м}.$$

4. Длина песколовки определяется по формуле

$$L = k \times h_1 \frac{V}{u_0},$$

где k – коэффициент, учитывающий влияние турбулентности и других факторов на работу песколовки, для горизонтальных песколовки $k=1,7$; u_0 – гидравлическая крупность песка, при диаметре улавливаемых частиц песка $0,2\text{ мм}$ – $u_0=18\text{ мм/с}$.

$$L = 1,7 \times 0,033 \frac{0,1}{18 \times 10^{-3}} = 0,312\text{ м}.$$

Продолжительность протекания сточных вод при максимальном притоке должна быть не менее 30 с , поэтому принимаем длину песколовки $L = 3\text{ м}$:

$$t_{\text{пр}} = \frac{L}{V} = \frac{3}{0,1} = 30\text{ с}.$$

* Выбор начальных и конечных концентраций ингредиентов (ВВ и ЭВ) сделан на основе многолетнего опыта внедрения подобных установок институтом ГосНИИсинтезбелок

Из конструктивных соображений и удобства эксплуатации (выгрузки осадка) песколовка выполнена в виде трех блоков, соединяющихся желобами для течения сточной воды.

5. Определение объема контейнера песколовки.

Объем осадка, накапливаемого в песколовке

$$V_{ос} = \frac{Q \times \Delta C_{вв}}{\rho_{ос} (1 - \varphi)},$$

где $\rho_{ос}$ – плотность выпавшего осадка, кг/м³; φ – влажность выпавшего осадка ($\varphi=0,6$); $\Delta C_{вв}$ – разность концентраций взвешенных веществ на входе и выходе из песколовки, кг/м³.

Плотность выпавшего осадка

$$\rho_{ос} = \rho_{вв} (1 - \varphi) + \rho_{воды} \varphi,$$

где $\rho_{вв}$ – плотность осаждающихся взвешенных веществ, кг/м³.

Так как в песколовке осаждаются преимущественно песок, то $\rho_{вв} = 2650 \text{ кг/м}^3$. С учетом этого

$$\rho_{ос} = 2650 \times (1 - 0,6) + 1000 \times 0,6 = 1660 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда объем осадка

$$V_{ос} = \frac{2,16 \times 600 \times 10^{-3}}{1660 (1 - 0,6)} = 1,95 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{час}.$$

Так как очистная установка работает в одну смену – 7 часов в сутки, 5 дней в неделю, то объем образовавшегося за месяц осадка составит

$$V_{ос} = 1,95 \times 10^{-3} \times 5 \times 22 = 0,215 \text{ м}^3/\text{мес}.$$

Объем осадка, выпавшего в одной секции песколовки, составляет

$$V_1 = V_{ос} / 3 = 0,215 / 3 = 0,072 \text{ м}^3/\text{мес}.$$

Длина контейнера принимается равной длине секции песколовки, длина и ширина выбраны из конструктивных соображений (по 1м). Выгрузку осадка рекомендуется осуществлять по мере накопления его в песколовке до высоты 0,75...0,80 м.

Расчет грязежироловушки

Начальное содержание ВВ – 400 мг/л, ЭВ – 148 мг/л; требуемое конечное содержание ВВ – 100 мг/л, ЭВ – 20 мг/л.

1. Ширина грязежироловушки:

$$B = \frac{Q}{H \times V},$$

где V – средняя скорость движения сточных вод, в зависимости от требуемой эффективности улавливания (рекомендуется принимать $V = 5 \dots 10 \text{ мм/с}$); H – глубина проточной части.

При $V = 1 \text{ мм/с} = 3,6 \text{ м/ч}$ и $H = 1 \text{ м}$, ширина грязежироловушки:

$$B = \frac{2,16}{1 \times 3,6} = 0,6 \text{ м}.$$

Принимаем $B = 0,8 \text{ м}$ с учетом возможного увеличения расхода.

2. Длина рабочей части грязежироловушки:

$$L_0 = a \frac{V}{U_0} H,$$

где U_0 – гидравлическая крупность всплывающих частиц (капель нефти), принимаем $U_0 = 0,645 \text{ мм/с}$; a – коэффициент, учитывающий соотношение V и U_0 (при близких значениях V и U_0 коэффициент a равен 1).

При $V = 1 \text{ мм/с}$, $a = 1$:

$$L_0 = 1 \times \frac{1}{0,645} \times 1 = 1,55 \text{ м}.$$

Эффективность улавливания загрязнений (жиров и взвешенных частиц) в жироловушках по данным института ГосНИИсинтезбелок не превышает 50..60%.

3. Для повышения эффективности улавливания тонкодисперсных частиц и капель жиров устанавливаем блок тонкодисперсного осветления с углом наклона полок 60°. Достижимый эффект улавливания в зависимости от скорости движения сточных вод может составлять до 95%. Принимаем степень очистки – 75%.

Площадь сечения блока тонкослойного осветления:

$$W = \frac{Q}{V_1},$$

где V_1 – скорость движения сточных вод.

Для достижения эффективности улавливания загрязнений, равной ~ 75%, скорость движения сточных вод принимаем 1,8мм/с (6,52м/ч). Тогда площадь сечения

$$W = \frac{2,16}{6,52} = 0,33 \text{ м}^2.$$

Расстояние между полками выбирается согласно рекомендациям ГосНИИсинтезбелок:

$$H = 17 \text{ мм} = 0,017 \text{ м}.$$

Количество полок при ширине грязежировловушки $B=0,8 \text{ м}$:

$$n = \frac{W}{B \times h} + 1 = \frac{0,33}{0,8 \times 0,017} + 1 = 25,3 \text{ шт.}$$

Принимаем $n = 26 \text{ шт.}$

Общая длина грязежировловушки:

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4.$$

где l_1 и l_4 – длины приемной и выходной частей соответственно; l_2 – длина блока тонкослойного осветления; l_3 – длина зоны свободного всплывания тонкодисперсных капель нефти и осаждения взвешенных частиц.

Согласно рекомендациям ГосНИИсинтезбелка при расходах до $5 \text{ м}^3/\text{ч}$: $l_1=0,2 \text{ м}$ и $l_4=0,25 \text{ м}$.

Для достижения эффективности равной ~75%, согласно данным ГосНИИсинтезбелка, полученным при эксплуатации подобных грязежировловушек, длина элементов (полок) блока тонкослойного осветления должна быть не менее 0,9м. Тогда длина блока l_2 при угле наклона полок к горизонту 60° и их количестве, равном 26 шт. (толщина материала полок при использовании полок из пластика ~ 3...4мм) составляет 1,05м.

$$l_3 = L_0 - l_2; \quad l_3 = 1,55 - 1,05 = 0,5 \text{ м}.$$

С учетом размеров узлов сбора и отведения осадка сточных вод и жиров габариты грязежировловушки можно принять: ширина ~0,95м (ширина проточной части 0,83м+ширина пенного желоба 0,12м);

$$\text{длина } \sim L = 0,2 + 1,05 + 0,5 + 0,25 = 2,0 \text{ м};$$

высота ~1,5м (рабочая глубина 1м+отстойная зона 0,35м+зона накопления нефтепродуктов 0,15).

4. Определение объема бункера грязежировловушки.

Объем взвешенных веществ, выпадающих а грязежировловуш-

ке:

$$V_{\text{ос}} = \frac{Q \times \Delta C_{\text{вв}}}{\rho_{\text{ос}} (1 - \varphi)},$$

где $\rho_{\text{ос}}$ – плотность выпавшего осадка, кг/м^3 ; φ – влажность выпавшего осадка ($\varphi=0,95$); $\Delta C_{\text{вв}}$ – разность концентраций взвешенных веществ на входе и выходе из грязежировловушки, кг/м^3 .

Плотность выпавшего осадка

$$\rho_{\text{ос}} = \rho_{\text{вв}} (1 - \varphi) + \rho_{\text{воды}} \varphi,$$

где $\rho_{\text{вв}}$ – плотность осаждающихся взвешенных веществ, кг/м^3 .

Так как в грязежировловушке преимущественно осаждаются тонкодисперсные частицы песка, то $\rho_{\text{вв}}=2650 \text{ кг/м}^3$.

$$\rho_{\text{ос}} = 2650 \times (1 - 0,95) + 1000 \times 0,6 = 1083 \text{ кг/м}^3.$$

Тогда объем осадка

$$V_{\text{ос}} = \frac{2,16 \times 300 \times 10^{-3}}{1083 (1 - 0,95)} = 0,012 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Объем образовавшегося за месяц осадка составит

$$V_{\text{ос}} = 0,012 \times 5 \times 22 = 1,35 \text{ м}^3/\text{мес}.$$

Объем сборника осадка назначается $0,7 \text{ м}^3$, при этом рекомендуется удалять осадок не реже 2-х раз в месяц.

Расчет пневматической флотомашинны

Начальное содержание ВВ – 100мг/л, ЭВ – 20мг/л; требуемое конечное содержание ВВ – 20мг/л, ЭВ – 4,5мг/л.

Рабочий объем флотомашинны:

$$V_p = Q \times \tau,$$

где τ – время флотации, рекомендуемая продолжительность флотации 20...30мин.

При продолжительности фотации $\tau = 0,5 \text{ ч}$ рабочий объем флотатора составляет

$$V_p = 2,16 \times 0,5 = 1,08 \text{ м}^3.$$

Рабочая высота флотомашинны выбрана согласно рекомендациям [1]:

$$p = 0,8 \text{ м.}$$

Ширина флотомашины выбрана, исходя из конструктивных соображений:

$$B = 0,95 \text{ м.}$$

Рабочая длина флотомашины

$$L_p = \frac{V_p}{h \times B}, \quad L_p = \frac{1,08}{0,8 \times 0,95} = 1,42 \text{ м.}$$

Рекомендуется использовать не менее двух флотокамер, в данном проекте предусмотрено три камеры флотации длиной 0,5 м каждая, а также блок тонкослойной очистки.

С учетом размеров узлов сбора и отведения пенопродукта приняты следующие габариты флотомашин:

ширина ~ 1,08 м (ширина рабочей части 0,95 м + ширина пенного желоба 0,13 м);

длина ~ 2200 м (общая длина камер 1,5 м + длина блока тонкослойной очистки и выходной части 0,7 м);

высота ~ 1,3 м (рабочая глубина 0,8 м + зона сбора и слива пены 0,5 м).

Расчет фильтра доочистки

Начальное содержание ВВ – 20 мг/л, ЭВ – 4,5 мг/л: требуемое конечное содержание ВВ – 7 мг/л, ЭВ – 1 мг/л.

Объем сточных вод, проходящих через фильтр равен:

$$Q_\phi = Q - \Delta Q_1 - \Delta Q_2 - \Delta Q_3,$$

где ΔQ_1 , ΔQ_2 и ΔQ_3 – потери сточных вод соответственно в песколовке, грязежировловушке и флотаторе с удаленными осадком и пенопродуктом; потери в грязежировловушке складываются из потерь при удалении осадка и при сливе уловленных нефтепродуктов.

Потери с уловленными в грязежировловушке и флотаторе нефтепродуктами составляют по 1,5% от расхода сточных вод.

$$\Delta Q_2 = 0,012 + 0,015 \times 2,16 = 0,0444 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$\Delta Q_3 = 0,015 \times 2,16 = 0,0324 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$Q_\phi = 2,16 - 0,00195 - 0,0444 - 0,0324 = 2,08 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

В качестве загрузки используется активированный уголь АГ-3.

Живое сечение фильтра

$$S_\phi = \frac{Q_p}{v_n},$$

где v_n – линейная скорость движения воды в фильтре, по рекомендациям [1] линейная скорость не должна превышать 12 м/ч.

При $v_n = 10 \text{ м/ч}$

$$S_\phi = \frac{2,08}{10} = 0,208 \text{ м}^2.$$

Диаметр фильтра

$$D_\phi = \sqrt{\frac{4 \times S_\phi}{\pi}}; \quad D_\phi = \sqrt{\frac{4 \times 2,08}{\pi}} = 0,51 \text{ м.}$$

Из конструктивных соображений принимаем $D_\phi = 0,5 \text{ м}$.

Высота загрузки выбрана на основе опытных данных института ГосНИИсинтезбелок

$$H_\phi = 0,8 \text{ м.}$$

Объем рабочей части фильтра (объем загрузки) составляет

$$V = \frac{\pi \times D_\phi^2}{4} H_\phi; \quad V = \frac{\pi \times 0,5^2}{4} \times 0,8 = 0,196 \text{ м}^3.$$

Так как насыпная плотность угля АГ-3 $\rho_n = 500 \text{ кг/м}^3$, масса угля:

$$M = V \times \rho_n; \quad M = 0,19 \times 500 = 98 \text{ кг.}$$

Относительная сорбционная емкость угля АГ-3 по нефтепродуктам:

$$C_{ap} = 50 \text{ г/кг.}$$

Полная сорбционная емкость угля:

$$M_{oil} = M \times C_{ap} = 98 \times 50 = 4900 \text{ г.}$$

Объем очищаемой воды за один цикл очистки, если принять время одного цикла очистки равным одной смене, т.е. $t_{cyt} = 7 \text{ ч}$:

$$V_{liq} = 7 \times 2,08 = 14,56 \text{ м}^3.$$

Разность концентраций нефтепродуктов на входе и на выходе из фильтра:

$$\Delta C_{np} = 4,5 - 1 = 3,5 \text{ мг/л (г/м}^3\text{)}.$$

Масса нефтепродуктов, удаляемых из очищаемой воды за один цикл очистки:

$$m_{oil} = \Delta C_{np} \times V_{liq}; \quad m_{oil} = 3,5 \times 14,56 = 50,96 \text{ г.}$$

Число циклов очистки:

$$N = \frac{M_{\text{св}}}{m_{\text{пл}}}, \quad N = \frac{4900}{50,96} \approx 96.$$

Теоретический ресурс работы фильтра

$$T = N \times t_{\text{св}}, \quad T = 96 \times 7 = 672 \text{ ч.}$$

На практике ресурс работы фильтра в 1,5...2,0 раза меньше. Окончательное решение по регенерации и замене отработанной загрузки принимается на основании опытных данных.

9.2. Меры по охране окружающей среды

Отходами, образующимися на пищевых производствах, являются жиросодержащий осадок и эмульсия жиров, относящиеся к 3-ему классу опасности, а также материал загрузки фильтров, в качестве которого используется активированный уголь.

Жиросодержащий осадок сдается в местные специализированные организации, занимающиеся утилизацией и размещением отходов. При отсутствии такой возможности рекомендации по обработке осадка в местных условиях будут даны отдельно в технологической инструкции по эксплуатации.

Уловленные жиры в виде эмульсии подлежат утилизации вместе с жиросодержащими отходами очистных сооружений.

После соответствующей обработки осадок и жиры могут найти применение. Жиросодержащие осадки могут быть использованы при производстве строительных материалов, например, кирпича, как строительного, так и вакуумного. Жиры иногда применяют в производстве керамзита. Жиры можно использовать для смазки несответственных механизмов, контактирующих с водой.

Фильтрующую загрузку можно использовать как с регенерацией, так и без регенерации. Регенерацию фильтрующей загрузки предлагается осуществлять не в фильтрах, а отдельно, в специальном регенераторе по конструкции подобном фильтру. Для проведения регенерации фильтрующую загрузку выгружают из фильтров, куда она была помещена в виде слоя заполненных мешков из специальной фильтровальной ткани. Регенерация проводится острым паром или горячей водой, первый вариант предпочтительней. При отсутствии регенерации загрузку филь-

ров, как и нефтесодержащий осадок, можно сдавать в организации, занимающиеся утилизацией отходов, или отвозить на специально отведенную площадку.

Глава 10. Возможности комплексного решения проблемы очистки воды и почвы от нефтепродуктов

Многочисленные литературные данные свидетельствуют об использовании различных способов для очистки воды и почвы от нефтепродуктов [17-26]. При этом в большинстве случаев приоритетным направлением решения проблемы объявляется биологическое. Так, для ликвидации нефтяных загрязнителей применяются биопрепараты, изготовленные из нефтеекисляющих микроорганизмов, в основном бактерий и дрожжей. Это подтверждают многочисленные исследования как отечественных, так и зарубежных исследователей. Проведенные в России испытания различных биопрепаратов для обезвреживания отработанных водных потоков, почв и грунтов от нефтезагрязнений подтвердили на практике эффективность этого способа, его экономичность. Например, по данным различных исследователей, переработка 1 т промышленных и хозяйственно-бытовых отходов с помощью микробиологических методов стоит примерно 60...80 долл. США. При закапывании с соблюдением необходимых мер безопасности расходы возрастают до 200, а при сжигании – до 250...650 долл. США.

Особенно актуальной проблемой в настоящее время является борьба с нефтяными загрязнениями морских акваторий и сельскохозяйственных земель, ликвидировать которые часто невозможно ни механическими, ни химическими методами.

Экономический эффект природоохранных мероприятий, реализованных с помощью биопрепаратов, в большинстве случаев трудно поддается расчетам: помимо возвращения в народно-хозяйственное использование почв и водоемов, предотвращается отрицательное влияние загрязнений на организм человека и животных, сохраняется

биологическое разнообразие видов животных, растений, микроорганизмов. Эффект может составить миллиарды долларов уже сегодня, даже без учета прогресса в области экологической биотехнологии.

Наряду с исследованиями, проводимыми в различных лабораториях мира, к настоящему времени повсеместно переходят на получение промышленных партий препаратов и их использованию на природных объектах. В первую очередь это относится к акваториям, где необходимо срочно вносить биопрепараты для исключения расширения стихийных бедствий и экологических катастроф, возникающих в этих случаях.

Показано, что применение биопрепаратов ускоряет расщепление углеводов нефти в 5 раз на морской поверхности, в частности, применение препарата Inipol EAP 22 на прибрежных скалах, густо покрытых нефтяной пленкой, принесло впечатляющие результаты: скалы были полностью очищены через 10 дней.

Фирма "Pro Tek Environpretal" провела апробацию разработанного ею бактериального препарата на участке почвы, загрязненной нефтемаслами и дизельным топливом. В течение 2,5 мес степень загрязнения удалось снизить почти в 60 раз. Budai F. et. проводили эксперименты в период с 1975 по 1982г. на площади 2,5 га, загрязненной нефтепродуктами (НП), с помощью смеси микроорганизмов *Nocardia*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* и *Candida* sp.

Плотность суспензии составила $3,5 \times 10^9$ клеток в 1мл. Установлено, что на поверхности почвы разрушается до 98% НП в течение года, на глубине 20...40см – 60%, а на глубине 40...50см – 27%. Регенерация почвы подтверждалась восстановлением в ней флоры и фауны.

Нижне-саксонская фирма "Biodetox" создала способ очистки загрязненных почв от керосина, бензина или минеральных масел с помощью микроорганизмов. После уничтожения загрязненных веществ микроорганизмы отмирают и остаются в почве как безвредные белки. Способ очистки испытан в Ганновере и затраты на очистку составили 50DM на 1м². Для борьбы с нефтью, попавшей в озеро в окрестностях Манчестера, компания "Imbachs Biological Services" (IBS) в 1991г. применила специальную сухую бактериальную культуру. В течение двух недель бактерии уничтожили 90% нефти, загрязнявшей воду и берега озера.

Компания "AlpHa Environmental Corp" сообщила о ликвидации в июне 1990 года в Мексиканском заливе нефтяного пятна, образовавшегося после аварии танкера Mega Borg с помощью биопрепарата, представляющего собой ассоциацию из 65 штаммов бактерий. В течение месяца очищено 40 акров поверхности воды.

Предложен также способ удаления нефти путем смешения загрязненной почвы с бытовыми отходами с последующим брожением. При этом выделяется биогаз и ценное органическое удобрение (пат. Венгрии 880922 A1).

Учеными Западно-Сибирского научно-исследовательского геолого-разведочного нефтяного института запатентован препарат «Путидойл» на основе бактериального штамма *Pseudomonas putida* – 35 для ликвидации последствий аварийных разливов нефти.

Сообщается об успешном применении препарата для очистки от загрязнений побережья Баренцева моря, архипелага Шпицберген, рекультивации почв Сибири с последующим посевом культурных растений (пат. СССР 881007).

Лабораторией переработки и биотехнологической утилизации отходов ФГУП «ГосНИИсинтезбелок» проведены успешные испытания использования биопрепарата на основе бактерий рода *Pseudomonas* для обработки осадков сточных вод после мойки автомобилей. После такой обработки осадок может быть отнесен к 4-му классу опасности отходов и его складирование (депонирование) не представляет больших проблем. Применение такой технологической операции на очистных сооружениях не представляет технических трудностей и может быть осуществлено в перемешивающих аппаратах типа бетономешалок.

Таким образом, проведенные фундаментальные и прикладные исследования показали широкие перспективы применения микробиологических препаратов для борьбы с нефтяными загрязнениями.

Другими эффективными способами очистки воды и почвы от нефтепродуктов являются физико-химические методы, в частности экстракция, флотация и т.д. В практике очистки воды из физико-химических способов наиболее широкое использование получила флотация. Сущность этого способа состоит в барботировании (аэрировании) очищаемой воды пузырьками газов (воздуха). К газовым пу-

зырькам прилипают нефтезагрязнения и другие вещества, которые не смачиваются водой. Образующиеся флотокомплексы газовые пузырьки — нефтезагрязнения всплывают, образуя на поверхности воды пенный продукт, который самотеком или принудительно удаётся в специальный сборник для уловленных загрязнений. Флотационным способом можно очистить воду от нефтезагрязнений до остаточных концентраций примерно 3...5 мг/л. Важно отметить, что основная операция при флотационном процессе аэрация способствует также усилению жизнедеятельности микроорганизмов, всегда присутствующих в очищаемой сточной воде. Последнее в конечном счете способствует снижению концентрации растворенных органических веществ, в том числе и нефтепродуктов.

Для реализации флотационного способа очистки воды от гидрофобных загрязнений, в том числе и от нефтепродуктов, как уже отмечалось, разработаны различные типы машин и аппаратов, в частности механического и пневматического типа производительностью до 100 м³/ч и более. Для очистки сточных вод с большим расходом (100 м³/ч и более) разработаны аппараты напорной флотации, причем с использованием нескольких рабочих жидкостей, содержащих газы с различной растворимостью в воде. Способ флотации с использованием газов с различной растворимостью в воде впервые был предложен и испытан автором в 1987 — 1988 гг. В дальнейшем этот способ был апробирован в промышленных условиях и внедрен на предприятиях микробиологической промышленности. Существенным преимуществом этого способа перед другими является повышение скорости флотационного процесса в 1,5...2,0 раза и, кроме того, объем образующегося пенного продукта в 2...3 раза меньше, чем при очистке воды обычным способом напорной флотации. В процессе освоения этого способа выявился и основной его недостаток — необходимость иметь источники газов с различной растворимостью в воде. В этой связи указанный способ будет иметь неоспоримые преимущества перед другими в случае наличия производств, где в качестве отходов образуются такие газы, как, углекислый газ, метан, сероводород и другие, хорошо растворимые в воде газы.

Особой эффективностью отличается этот способ при использовании его для сгущения осадков сточных вод, в том числе и нефте-

содержащих. При сгущении избыточного активного ила по этому способу концентрация твердой фазы в сгущенном продукте достигает 4,5...6,0% АСВ с небольшими потерями микробной биомассы с осветленной жидкостью в пределах 0,1...0,2% АСВ. В этом случае содержание твердой фазы в сгущаемом продукте примерно в 2 раза больше, чем при обычном способе напорной флотации. Последнее имеет важнейшее значение для последующих стадий обезвреживания осадков, например, уменьшается количество используемых дорогостоящих фильтр-прессов.

Применение флотационных аппаратов в голове станций аэрации (очистных сооружений биологической очистки) позволяет существенно интенсифицировать процесс очистки за счет снижения концентрации трудноокисляемых жиро- и нефтезагрязнений в сточной воде, поступающей в аэротенк. При этом немаловажное значение имеет предварительная аэрация воды перед стадией биологической очистки. Использование флотационного способа для доочистки биологически очищенных сточных вод также приносит положительный эффект, заключающийся в снижении концентрации взвешенных веществ в воде, в том числе и микроорганизмов активного ила. При этом в большинстве случаев отпадает необходимость в дополнительном насыщении воды кислородом.

Для очистки почвы от нефтезагрязнений известно применение экстракции. Этим способом можно очистить почву до остаточных концентраций нефтепродуктов, которые уже существенным образом не влияют на дальнейшее произрастание травяного покрова.

В последние годы некоторые западные фирмы разработали мобильные установки для обезвреживания почв и грунтов с достаточно большой производительностью, превышающей в некоторых случаях несколько тонн загрязненной почвы в час. Такие установки из-за их дороговизны пока не нашли широкого применения в отличие от непосредственного использования биопрепаратов путем их распыла или разбрызгивания в виде суспензии.

В заключение следует отметить, что проблема обезвреживания воды, почвы и грунтов от нефтепродуктов прошла различные этапы развития и в настоящее время является отработанным технологическим процессом. Однако при обезвреживании отдельных участков

водных акваторий и участков суши со специфическими условиями, в некоторых случаях требуется проведение дополнительных исследований, которые позволяют оптимально применить биопрепараты с учетом конкретных особенностей того или иного объекта.

Глава 11. Очистка почвы и грунтов

11.1. Проблемы очистки почвы и грунтов от нефтезагрязнений

Загрязнение почвы и грунтов нефтью и нефтепродуктами в большинстве случаев носит антропогенный характер и связано, в первую очередь, с неорганизованной хозяйственной деятельностью. Нефть и нефтепродукты, попадая в почву и грунты, угнетают жизнедеятельность микроорганизмов и растений, что в конечном итоге приводит к отчуждению загрязненных участков и невозможности их использования для хозяйственной деятельности. Однако, отдельные виды микроорганизмов, как было установлено нашим соотечественником В.О. Таусоном, могут окислять углеводороды нефти. Дальнейшие исследования, проведенные в различных отечественных и зарубежных организациях и особенно во Франции и СССР, окончательно подтвердили, что отдельные микроорганизмы могут развиваться на средах, где единственным источником углерода являются углеводороды нефти. При этом было установлено, что окисляемость различных классов углеводородов достаточно сильно различается.

В СССР в начале 60-х годов XX века была поставлена задача получения кормового и пищевого белка из углеводородов нефти и газа. В связи с поставленной задачей в 1963 г. был создан специальный Научно-исследовательский институт биосинтеза белковых веществ (ГосНИИсинтезбелок). Благодаря, в первую очередь, разработкам этого института были созданы промышленные производства (8 заводов) по получению кормовых дрожжей на углеводородах нефти и опытно-промышленные установки кормового белка из природного газа.

В процессе проводимых во ФГУП «ГосНИИсинтезбелок» и других научно-исследовательских организациях исследований было также установлено, что наиболее универсальными источниками питания являются нормальные парафины. Хорошо потребляются также углеводороды, молекулы которых состоят из длин-

по сравнению с другими бактериями в процессах микробиологического окисления углеводородов нефти, находящихся в почве. Эти бактерии наряду с высокой окислительной способностью способствуют эмульгированию нефтепродуктов в случае культивирования в водных средах. При этом микобактерии способны ассимилировать не только нормальные алканы, но и фенол, бензойную кислоту, нафталин, циклогексан, высшие жирные кислоты.

Препарат «Нафтокс» получают по технологической схеме, принятой для производства биомассы азотфиксирующих бактерий [30]. Технология получения сводится к следующему. Нейтрализованный до pH 6,8...7,0 стерильный торф в полиэтиленовых пакетах инокулируют жидкой культурой нефтеокисляющих бактерий с одновременным введением источника углерода и энергии, например, n-алканов в количестве 1...2% от массы сухого торфа, перемешивают и инкубируют при комнатной температуре. Препарат «Нафтокс» получают с влажностью 55...60%.

Наряду с отмеченными выше достоинствами препарат «Нафтокс», как и другие подобные препараты, не дает возможности получить гарантированный эффект очистки почвы в какие-либо прогнозируемые сроки из-за множества неблагоприятных факторов, влияющих на жизнедеятельность внесенных в почву микроорганизмов.

В литературе описаны десятки способов защиты почв и грунтов от нефтепродуктов с использованием различных биопрепаратов. В отечественной практике хорошо известны препараты «Деворойл», «Лестан» и др. В состав таких препаратов чаще всего входят несколько культур, среди которых, как правило, используются бактерии рода *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Rhodococcus* и др.

Препарат «Деворойл» позволяет реализовать технологию очистки, основанную на применении микробных ассоциаций, активно

утилизирующих углеводороды нефти, и позволяющий в достаточно короткий срок очищать от нефтепродуктов почву и воду.

Препарат получают путем культивирования в специальных аппаратах-ферментерах в условиях интенсивной аэрации на средах, содержащих источники углерода, азота, фосфора, калия и микроэлементы.

Микроорганизмы, входящие в состав препарата «Деворойл», имеют природное происхождение. Установлены их нетоксичность и непатогенность. Технология использования этого препарата, как и многих других, основана на распылении высушенной биомассы с использованием механизированных средств.

При использовании «Лестана» (по данным В.Н. Иванова, У.В. Стабниковой и др.) для обработки почвы, загрязненной УГВ, в виде пульпы эффективность очистки была 90...95% при средней скорости деградации нефти 69...72 мг/кг в день, что намного превышало результаты, полученные при обработке почвы без «Лестана». Эффективность очистки 15,7%, скорость деградации нефти 9 мг/кг в день (табл. 25).

Препарат «Лестан» можно применять для очистки воды от нефтепродуктов. Полученные данные (табл. 26) указывают на повышение скорости деградации нефти на 20...30% в пробах воды, содержащих «Лестан». Эффективность очистки и скорость деградации нефти зависят от дозы «Лестана», введенной в очищенную воду (табл. 27). Увеличение дозы в 10^4 раз (от 1 мг/л воды до 10 г/л) позволило повысить эффективность очистки за 30 дней с 63,3 до 93,3%, а скорость деградации нефти - в 1,5 раза. Эффективность применения «Лестана» подтверждается и данными, приведенными на рис. 74 и 75.

Таблица 25

Использование "Лестана" для очистки почвы в виде пыли*

Образец	Содержание нефти в образце, мг/кг	Эффективность деградации нефти, %	Скорость деградации нефти, мг/кг в день
Контроль 1 (вода загрязненная нефтепродуктами)	23,07	12,9	10
Контроль 2 (с почвой и без "Лестана")	23,34	15,7	9
Контроль 3 (с "Лестаном" и без почвы)	124,00	95,3	72
Супесчаная почва	204,00	92,3	70
Суглинок	249,00	90,6	69
Арктическая почва	125,00	95,3	72

* Начальное общее содержание углеводородов в образцах – 2650 мг/кг.

Таблица 26

Использование "Лестана" для очистки воды*

Образец	Содержание нефти в образце, мг/кг	Эффективность деградации нефти, %	Скорость деградации нефти, мг/кг в день
Контроль 1 (пресная вода без "Лестана")	320	65,9	21

Контроль 2 (морская вода без "Лестана")	345	63,3	20
Свежая вода с "Лестаном"	184	80,4	25
Морская вода с "Лестаном"	123	86,9	27

* Начальное общее содержание углеводородов в воде – 940 мг/л.

Таблица 27

Влияние дозы "Лестана" на процесс очистки воды от углеводородов*

Внесение "Лестана", мг/кг	Содержание нефти в образце, мг/кг	Эффективность деградации нефти, %	Скорость деградации нефти, мг/кг в день
Контроль (пресная вода без "Лестана")	320	65,9	21
1,0	347	56,1	15
10,0	290	63,3	17
100,0	268	66,1	17
1000,0	200	74,7	20
10000,0	48	93,9	25

* Начальное общее содержание углеводородов в воде – 790 мг/л.

Известен ряд микробных препаратов, рекомендуемых для очистки почвы и воды, загрязненных нефтью. Краткие сведения о них даны в табл.28.

Таблица 28

Краткие сведения о микробных препаратах, рекомендуемых для очистки почвы и воды от углеводородов нефти (по В.Н. Иванову, Е.В. Стабниковой и др.)

Название препарата	Краткая характеристика
Noggies Biodetox	Сухие смешанные культуры микроорганизмов безвредные для людей и животных. В почву (до глубины 0,4 м) вносят в виде пены с питательными веществами и ПАВ. Для очистки грунтовых вод препарат вводится через колодцы, грунтовая вода откачивается, очищается в биореакторе и возвращается в водоносный слой
Noggies Horrepat	Для разложения в почве мазута, дизельного топлива, бензина, керосина, фенолов, формальдегида, каменноугольного масла; вводится в почву в виде пены
Путидойл	Для очистки окружающей среды от нефти
Cytocultur	Бактериальные композиции для очистки окружающей среды от ароматических углеводородов
Microbe Inc.	Коммерческие штаммы для очистки почвы от бифенола, крезоло, пентахлорфенола
Konsan	Бактериальный препарат с питательными добавками для очистки грунта

Положительным отличием "Лестана" от других препаратов является его стабильность в экстремальных температурных условиях, а также эмульгирующая и пенообразующая способность. В результате проведенных исследований можно рекомендовать препарат "Лестан" для обработки почв и водоемов от нефтяных загрязнений с целью ускорения очистки их от углеводородов нефти.

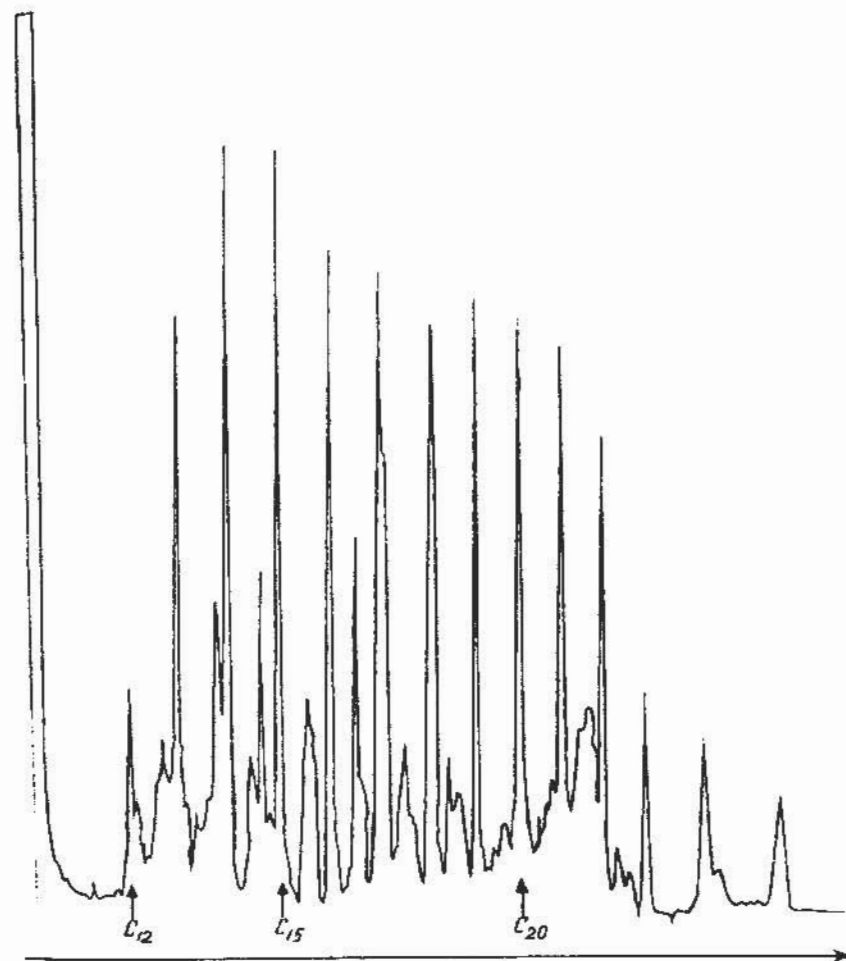


Рис. 74. Газовая хроматограмма буферной среды, содержащей 1% нефти

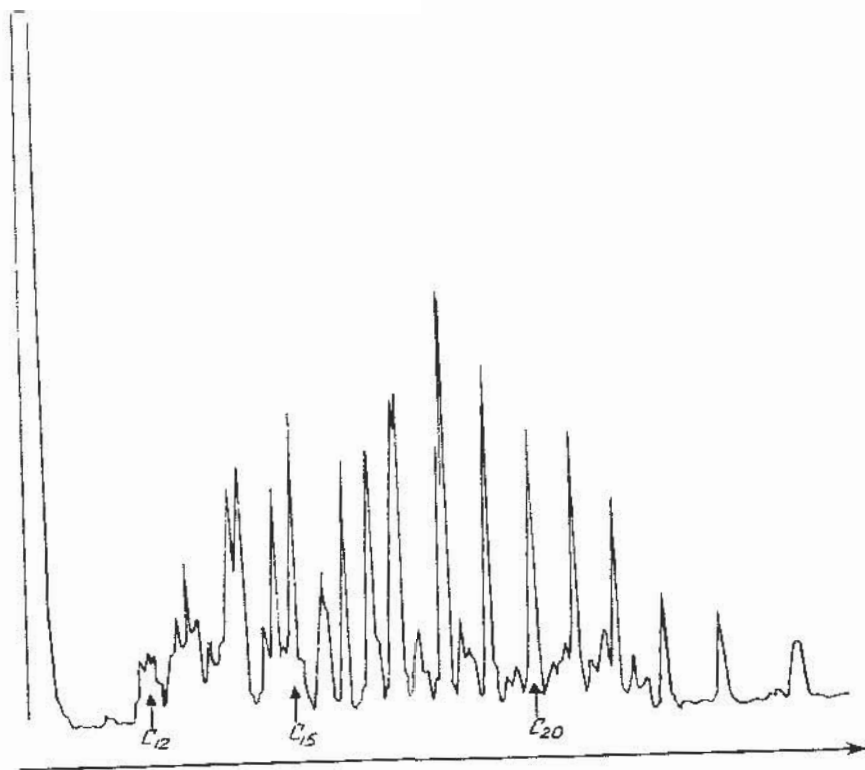


Рис.75. Газовая хроматограмма культуральной жидкости *Bacillus megaterium* после культивирования в течение 12 дней на буферной среде, содержащей 1% нефти

Описанные препараты, как и способы их применения имеют существенные недостатки, связанные с тем, что часть микроорганизмов в распыляемом биопрепарате могут быть уже мертвыми, а живые микроорганизмы, попадая в почву, осуществляют свою жизнедеятельность в неоптимальных условиях, связанных как с несбалансированностью питательных веществ, так с неоптимальным содержанием влаги в почве.

При этом следует особо отметить, что разработчики биопрепаратов, как правило, декларируют более качественные показатели эффекта очистки почвы и грунтов от нефтепродуктов, чем это обычно достигается на практике. По-видимому, это связано с проведением испытаний в более благоприятных условиях по сравнению с наиболее часто наблюдаемыми в реальных практических ситуациях. Эти обстоятельства в определенной степени породили неверие у покупателей биопрепаратов в получение гарантированного эффекта очистки почвы и грунтов в пределах запланированного срока.

Одной из банальных причин отсутствия или малой величины эффекта очистки почвы и грунтов является проведение работ в прохладное время года, как правило, в начале осени (из-за отсутствия финансирования этих мероприятий в теплый период). Другими, не менее частыми, причинами являются трудная доступность обрабатываемого участка почвы из-за бездорожья и заболоченности, а также невозможность по разным причинам внести необходимые элементы питания для нормальной жизнедеятельности внесенных в почву или грунт микроорганизмов.

Сравнивая технологические приемы биологической очистки почвы и грунтов с уже отработанной технологией биологической очистки воды, следует отметить, что первая проблема находится на стадии решения, а вторая — на стадии совершенствования. По нашему мнению, возможно и комплексное решение, когда адаптированный к окислению нефтепродуктов активный ил биологических очистных сооружений производственных вод, преимущественно нефтеперерабатывающих предприятий, вносят в загрязненную почву или грунт в виде суспензии. При этом транспортировка суспензии активного ила может быть осуществлена как по трубопроводам, так и с помощью специальных автомобилей.

В случае удаленности объектов, на которых необходимо провести биологическую очистку почвы или грунтов, активный ил поставляется в виде высушенной биомассы с влажностью не более 10%. Технология получения сухой биомассы активного ила с влажностью не более 10% разработана в 1980 – 1990 гг. во ФГУП «ГосНИИсинтезбелок». Указанная технология включает следую-

щие основные стадии. Суспензию избыточного активного ила из вторичных отстойников биологических очистных сооружений с концентрацией примерно 0,8...1,0% по абсолютно сухим веществам (АСВ) сгущают с использованием напорного флотационного аппарата до 2,5...3,5% АСВ и сгущенный концентрат направляют на дальнейшее сгущение в вакуум – выпарную установку. Полученную сгущенную суспензию активного ила с концентрацией примерно 8...10% по АСВ подают в распылительную сушилку. Получаемая биомасса активного ила имеет влажность не более 10%. Срок хранения такой биомассы составляет не менее 6 месяцев.

Недостатком указанной выше технологии является то, что часть микроорганизмов в процессе обезвоживания погибает. Это, безусловно, является недостатком указанной технологии, но с учетом того, что активный ил является отходом, можно считать часть погибшей биомассы субстратом для жизнедеятельности оставшихся живых микроорганизмов. Естественно, есть и другие более щадящие способы обезвоживания микроорганизмов, в том числе и активного ила. В первую очередь это относится к способу сушки суспензии микроорганизмов. Можно использовать сублимационную сушку или другие способы, позволяющие сохранять живыми подавляющее большинство микроорганизмов при сушке.

Использование избыточного активного ила биологических очистных сооружений преимущественно нефтеперерабатывающих предприятий в качестве препарата для очистки почвы и грунтов от нефтезагрязнений позволит в определенных рамках снизить цену на биопрепараты подобного типа. Кроме того, это техническое решение будет способствовать утилизации такого многотоннажного отхода как избыточный активный ил биологических очистных сооружений нефтеперерабатывающих заводов России, мощности которых в ряде случаев в последние годы даже возросли.

Описанные выше технические решения очистки почвы и грунтов с использованием микроорганизмов не исчерпывают, конечно, всего возможного арсенала подходов к решению этой проблемы, являющейся весьма сложной и многоплановой. По-видимому, при повышении сложности решаемой задачи будут

применяться сочетания различных способов очистки почвы и грунтов от нефтепродуктов.

Следует особо отметить, что ФГУП «ГосНИИсинтезбелок» располагает обширным фондом нефтеокисляющих микроорганизмов, относящихся к бактериям, дрожжам и микроскопическим грибам. Отдельные препараты, технология которых была разработана сотрудниками этого института, оказались достаточно эффективными и используются в практике очистки почвы и грунтов от нефтезагрязнений. Эффективность этих препаратов при обезвреживании почвы и грунтов от нефтезагрязнений была подтверждена сотрудниками ФГУП «ГосНИИсинтезбелок» при проведении работ в ряде российских регионов, в том числе в Москве и Московской области, а также в странах СНГ. При этом следует особо выделить вклад коллектива научных сотрудников этого института в создание промышленной технологии получения биомассы нефтеокисляющих микроорганизмов, в том числе дрожжей и бактерий. На территории бывшего СССР было построено 8 заводов по производству биомассы нефтеокисляющих микроорганизмов по технологии ФГУП «ГосНИИсинтезбелок». По этой технологии в 1990-е годы нарабатывались достаточно большие партии микробиологических препаратов для обработки нефтезагрязненных участков почвы и грунтов. Эти заводы и сейчас еще продолжают функционировать по прямому назначению, однако, наработка партий биомассы осуществляется в значительно меньших объемах, чем это было ранее. При этом следует отметить, что уменьшения спроса на микробиологические препараты для обработки нефтезагрязненных участков почвы и водных акваторий не уменьшается, а в отдельные моменты и увеличивается. В этой связи возникает интерес к рассмотрению промышленной технологии получения биомассы нефтеокисляющих микроорганизмов, разработанной ранее и предназначенной для производства преимущественно кормового белка из парафинов нефти.

Сущность промышленной технологии получения биомассы нефтеокисляющих микроорганизмов, преимущественно дрожжей, разработанной во ФГУП «ГосНИИсинтезбелок», сводилась к следующему.

Отобранный в процессе селекции наиболее продуктивный штамм дрожжей (по содержанию протеина в клетках дрожжей), единственным источником углерода которых являлись парафины нефти, культивируют последовательно в специальных аппаратах для выращивания микроорганизмов (ферментерах) с увеличивающимся рабочим объемом. Засев в самый малый по рабочему объему ферментер (рабочий объем 1...10 л) производится из колбы, в которой находится отобранный для промышленного культивирования штамм в виде чистой культуры, т.е. без присутствия посторонних микроорганизмов. Далее после наращивания биомассы микроорганизмы в виде суспензии вносят в следующий по объему ферментер, например, объемом 100 л и так далее вплоть до ферментера с рабочим объемом 50 м³. Все указанные ферментеры называют аппаратами чистой культуры, так как в них не должно быть посторонней микрофлоры, а только микроорганизмы отобранного для промышленного культивирования штамма. Из ферментера чистой культуры рабочим объемом 50 м³ суспензию микроорганизмов (дрожжей) направляют в основной аппарат для выращивания микроорганизмов – ферментер рабочим объемом 400 м³. В этот большой ферментер, как и в другие ферментеры, наряду с чистой культурой в виде селективного штамма подают источники азота, фосфора, калия и другие необходимые для питания клеток микроорганизмов вещества, в том числе и микроэлементы, например, железо.

На начальной стадии промышленного производства нефтеокисляющих микроорганизмов, а также и в более поздние годы, используемый штамм дрожжей и питательная среда для его культивирования являются в определенном смысле секретом производства. Поэтому приводимые сведения, в том числе по питательным средам, являются в большинстве случаев приближенными.

Так, например, для выращивания дрожжей на парафинах нефти может быть использован следующий состав питательной среды (кг).

Н – парафины нефти	13,0
Суперфосфат (или фосфорная кислота)	3,0
Аммиачная вода	4,5
Хлористый калий	0,6
Сернокислый магний	0,3
Вода (оборотная)	До 1000

При выращивании дрожжей на такой питательной среде возможен выход биомассы до 90...98% от количества используемой при этом массы парафинов при условии отсутствия лимита по кислороду. Одна из основных технологических характеристик процесса – выход биомассы зависит не только от состава питательной среды, но также и от других причин, в том числе от совершенства конструкции ферментера, обеспечивающего необходимые условия по тепло- и массообмену при выращивании микроорганизмов. Повышения выхода биомассы можно добиться при использовании различных новых технологических приемов, способствующих совершенствованию технологии получения биомассы нефтеокисляющих микроорганизмов [30 – 100].

При получении биомассы дрожжей в промышленных условиях использовались и частично ныне еще используются ферментеры с механическими аэраторами, выполненными в виде турбинных мешалок. Такие аэраторы позволяют эффективно перемешивать среду, в которой происходит выращивание микроорганизмов, а также засасывать из окружающей среды воздух, являющийся источником кислорода, необходимого компонента для выращивания микроорганизмов в аэробных условиях.

Использование указанных ферментеров с рабочим объемом 400 м³ позволяет получать до 30...45 т биомассы дрожжей в сутки. Производительность ферментера зависит от многих причин, в том числе и от качества используемых парафинов, добавляемых специальных биостимуляторов, и других веществ, необходимых для ведения интенсивного режима выращивания микроорганизмов и т.д.

Из ферментера суспензия микроорганизмов (дрожжей) с концентрацией биомассы примерно 1,2...1,8% АСВ направляют на сгущение путем двухступенчатой сепарации. После сепарации концентрация биомассы дрожжей в суспензии увеличивается примерно до 7...10% АСВ, а при использовании отдельных технологических приемов, например, предварительного подогрева суспензии дрожжей перед сепарацией до температуры 70...90 °С, значение концентрации повышается до 12...14% АСВ. После двухступенчатой сепарации суспензию дрожжей подают на вакуумвыпарную установку, в которой происходит выпаривание жидкой фазы и, соответственно, дальнейшее концентрирование твердой фазы до 16...20% АСВ. В случае использования биомассы дрожжей для кормовых целей перед вакуум-выпаркой проводят плазмолиз, заключающийся в выдерживании суспензии дрожжей при температуре 90...95 °С в течение 40...60 мин для достижения полной гибели микроорганизмов. При наработке биомассы микроорганизмов с последующим ее использованием в качестве препарата для очистки почвы и грунтов от нефтезагрязнений стадия плазмолиза, естественно, исключается, так как в этом случае, задача обратная – получение сгущенной биомассы живых микроорганизмов.

Сгущенная после вакуум-выпарки суспензия дрожжей поступает в установку распылительной сушилки, где происходит обезвоживание биомассы дрожжей до влажности 5...10%. При содержании влаги менее 10% биомасса дрожжей, как и других микроорганизмов, например, бактерий может храниться не менее 6 месяцев.

При наработке по указанной выше технологии отдельных партий нефтеокисляющих микроорганизмов, предназначенных к использованию в качестве препарата для обезвреживания почвы и грунтов от нефтезагрязнений, было отмечено, что заметная доля микроорганизмов после сушки погибала (в отдельных случаях до 40...50%).

Указанное обстоятельство снижало качество препарата, используемого для обезвреживания почвы и грунтов от нефтезагрязнений, и в ряде случаев приводило к его неконкурентоспособности не только на зарубежном, но и на отечественном рынках.

Повышение количества жизнеспособных клеток микроорганизмов явилось одной из основных задач при получении подобных препаратов по рассмотренной выше технологии.

Одно из направлений – это совершенствование указанной технологии [31–156], а второе – применение новых технологий, существенно снижающих долю мертвых клеток нефтеокисляющих микроорганизмов на всей стадии получения биомассы, начиная с процесса выращивания и заканчивая сушкой микроорганизмов.

Одно из таких новых направлений развивается в лаборатории переработки и биотехнологической утилизации отходов ФГУП «ГосНИИсинтезбелок» и в научно-исследовательской лаборатории при кафедре «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э.Баумана.

Выбор направления вытекал из анализа, описанных выше способов получения биомассы нефтеокисляющих микроорганизмов, используемых в дальнейшем в качестве препаратов для обезвреживания почвы и грунтов от нефтезагрязнений. Критический анализ показал, что при использовании высушенных препаратов заметная доля микроорганизмов погибает на стадии их сушки или подготовки к внесению в почву или грунт. В этой связи в лаборатории переработки и биотехнологической утилизации отходов и на кафедре «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э.Баумана была разработана технология обезвреживания почвы и грунтов от нефтезагрязнений с использованием нативных микроорганизмов, которые не подвергались сушке, а использовались практически сразу после выращивания их на соответствующих питательных средах.

11.2. Обезвреживание почвы и грунтов от нефтезагрязнений с использованием нативных микробиологических препаратов

Культивирование микроорганизмов по предлагаемому способу осуществляется в ферментере с эжекционной системой аэрации, а предварительное сгущение - в комбинированной флотомашине с пневматической системой аэрации.

Для создания высокопроизводительного ферментера, приемлемого для работы с минимальным расходом электроэнергии на единицу получаемого продукта, предлагается конструкция ферментера с эжекционным способом диспергирования воздуха. Выбор этого способа в процессе ферментации обосновывается тем, что рассматриваемая конструкция контактного устройства имеет значительную поверхность фазового контакта и увеличивает эффективность аэрации.

Схема опытного образца ферментера, разработанного ранее во ФГУП «ГосНИИсинтезбелок» и модернизированного позже НТЦ «Знание», показана на рис. 76. Ферментер со стационарным эжектором работает следующим образом: циркуляционным центробежным насосом 3 культуральная жидкость засасывается из ферментера и подается в эжектор аэратора 4, где за счет кинетической струи жидкости происходят подсос воздуха и образование водно-воздушной смеси. Водно-воздушная смесь поступает в нижнюю зону ферментера, поднимается вверх и, пройдя всю длину ферментера, возвращаясь к эжектору, частично отделяется от газов и поступает в насос. Тепло, выделяемое в процессе ферментации, снимается теплообменником 9. Подача питательных солей осуществляется в зону подсоса воздуха эжектором. В процессе ферментации происходит увеличение образования пены, которая замедляет нормальный ход процесса ферментации. Для пеногашения разработано распылительное устройство 5, которое обеспечивает разрушение пены.

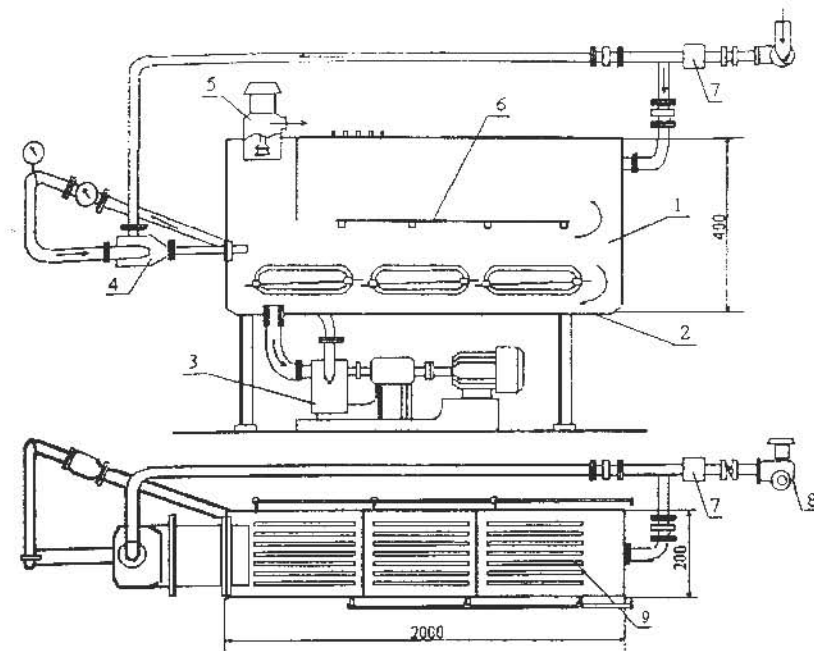


Рис. 76. Схема опытного ферментера:

1 - ферментер, 2 - нижнее ложное днище, 3 - насос, 4 - эжектор, 5 - влагоотделитель, 6 - перфорированное ложное днище, 7 - фильтр из специальной ткани, 8 - вентилятор, 9 - теплообменник

Для аэрации и перемешивания предлагается стационарный эжектор. Водовоздушный эжектор является одним из лучших контактных устройств для массообменных процессов, так как развивает большую поверхность контакта фаз и, вместе с тем, прост в обслуживании и изготовлении. Использовать стационарный эжектор в качестве аэрирующего устройства в ферментере пытались и ранее, однако попытки не увенчались успехом, так как применялись погруженные в жидкость эжекторы, что приводило к значительным ($15...18 \text{ кВт/м}^3$) удельным энергозатратам при неболь-

шом (0,5...0,6) достигаемом коэффициенте эжекции. Выполнен расчет эжектора применительно к аппарату емкостью 200 л. Геометрические размеры и динамические параметры эжектора рассчитаны так, чтобы при максимальной аэрации воздухом культуральной среды сохранялась энергия среды для перемешивания. Кроме того, аэрация культуральной среды дополнительно осуществлялась с помощью пористых резиновых аэраторов (на рис. 76 не показаны) с подачей в них сжатого воздуха под избыточным давлением 0,02...0,03 МПа. Это позволяло вести процесс выращивания микроорганизмов без лимита по кислороду.

Техническая характеристика ферментера

Геометрический объем, л	200
Рабочий объем, л	100
Расход воздуха на аэрацию, м ³ /ч	50
Характеристика насоса:	
расход, м ³ /ч	20
напор, МПа	0,18
Поверхность охлаждения, м ²	0,42
Суммарный расход электроэнергии, кВт/ч	2,1
Температура среды в ферментере, °С	32...34
Напор рабочей жидкости перед эжектором, МПа	До 0,2

Аэрация и циркуляция осуществляются стационарным эжектором и центробежным насосом. Отделение газовой фазы перед насосом происходит с помощью нижнего ложного днища, гашение пены — с помощью верхнего ложного днища и воздуха от вентилятора.

Предусмотрена очистка воздуха перед ферментером (фильтр из специальной ткани), а также отвод отходящих газов в вытяжную систему.

Массообменная и гидродинамическая характеристики работы ферментера

Коэффициент заполнения аппарата	0,4...0,5
Объем рабочей жидкости, перекачиваемой через эжектор насосом, м ³ /ч	18...20
Рабочее давление насосом на эжектор, МПа	0,04...0,06
Количество подсасываемого эжектором стерильного воздуха (от вентилятора), м ³ /ч	До 60
Коэффициент эжекции	До 3
Потребляемая мощность электродвигателем насоса (полезная мощность), кВт/ч	0,6
Кратность циркуляции жидкости, ч ⁻¹	150...200
Газосодержание в жидкости, %	30...40
Сульфитное число в режиме:	
подсоса воздуха из атмосферы, кг О ₂ /(м ³ ·ч)	10
подсоса воздуха из вентилятора (избыточное давление 7мм в. ст.), кг О ₂ /(м ³ ·ч)	17

Предварительное сгущение суспензии микроорганизмов с повышением концентрации микроорганизмов в суспензии проводилось с использованием комбинированной флотомашины с пневматической системой аэрации (см. рис. 7).

Принцип работы пневматической флотационной машины при ее использовании в процессах сгущения суспензии микроорганизмов заключается в следующем. Исходную суспензию микроорганизмов подают через входной патрубок 1 и далее она движется в

горизонтальном направлении через камеры с пористыми аэраторами 8 и дополнительную камеру 5 с блоком тонкослойного осветления 6 и выводится из машины через устройство регулирования уровня 9 и выходной патрубок 10.

При движении суспензии микроорганизмов через первые три камеры происходит ее аэрация (барботирование) пузырьками воздуха, подаваемого под давлением через пористые аэраторы. При этом пузырьки воздуха слипаются с клетками микроорганизмов, затем всплывающими в виде флотокомплексов клетки – пузырьки воздуха.

Сгущенная суспензия в виде ценного продукта самотеком удаляется через желоб и патрубок 7.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ И КОНТРОЛЬ

Исследования проводились в непрерывном одностадийном процессе на аппарате рабочим объемом 80 л и коэффициентом разбавления $D = 0,2 \dots 0,25 \text{ ч}^{-1}$. Концентрация прессованной биомассы определялась через 2 ч по биомассе; а концентрация биомассы с определением АСВ – через 4...6 ч. При испытаниях получены следующие данные:

продуктивность ферментера по абсолютно сухим дрожжам (АСД), кг/ ($\text{м}^3 \cdot \text{ч}$)	6...8
время выращивания, ч	5
выход биомассы от парафинов, %	98
удельные энергозатраты, кВт/кг АСД	1,4...1,5

Проведенные испытания и их результаты явились основой для разработки опытного ферментера для получения биопрепаратов в полевых условиях.

После сгущения на флотомашине с пневматической системой аэрации суспензии микроорганизмов, выходящей из ферментера, концентрация биомассы в сгущенном продукте была в 3-4 раза выше, чем в исходной суспензии. Далее сгущенным продуктом обрабатывали загрязненный нефтепродуктами участок почвы. Контроль за содержанием нефтепродуктов проводился 1 раз в не-

делю. Результаты обработки почвы биопрепаратом в виде сгущенного продукта биомассы микроорганизмов представлены в табл. 29.

Таблица 29

Изменение содержания нефтепродуктов в почве с обработкой ее сгущенным продуктом биомассы микроорганизмов и в почве без обработки (контроль)

Количество дней после начала обработки	Концентрация нефтепродуктов в почве, г/кг	
	Обработанный участок	Необработанный участок
0 (старт)	7,3	7,3
5	4,1	7,15
10	2,9	7,07
15	2,1	6,93
20	1,6	6,80
25	0,9	6,71
30	0,4	6,62
35	0,2	6,54
40	0,15	6,47
45	0,11	6,39

Результаты, представленные в табл. 29, показывают, что при обработке биопрепаратом (сгущенным продуктом биомассы микроорганизмов) почвы, загрязненной нефтепродуктами, содержание последних уменьшается в почве существенно быстрее по сравнению с их содержанием в почве, необработанной биопрепаратом.

Опыт микробиологической обработки почв позволяет сделать некоторые выводы и рекомендации.

1. Обезвреживание почв и грунтов, загрязненных нефтепродуктами, с использованием биотехнологического способа резко

ускоряет деградацию углеводородов нефти при оптимизации жизнедеятельности микроорганизмов (питательной среды, влажности, температуры и т.п.).

Наиболее благоприятны для жизнедеятельности микроорганизмов влажность почвы в пределах 50...80%, температура не ниже 8...10°C, наличие в почве наряду с углеводородами нефти источников калия, азота, фосфора, микроэлементов.

При оптимальных условиях ускоряются процессы деградации углеводородов нефти за счет жизнедеятельности присутствующих в почве микроорганизмов.

2. Для поддержания высокой скорости процесса деградации углеводородов нефти необходимо поддерживать присутствие микроорганизмов в почве в оптимальных концентрациях. Для этого целесообразно поливать загрязненные придорожные полосы суспензией микроорганизмов из мобильной ферментационной установки с примерным расходом биомассы (по сухому веществу) 40...180 кг на 1 га.

3. Для поддержания оптимальных условий указанных процессов необходимо периодически контролировать содержание нефтепродуктов в почвах и грунтах.

4. Обработку почвы и грунтов, загрязненных нефтепродуктами, проводить в строго определенной последовательности: подготовка биопрепарата к внесению в почву или грунт путем разбавления водой и добавления в него питательных веществ – тщательная гомогенизация водной суспензии препарата – первичная обработка загрязненного участка почвы или грунта в виде буртов – вторичная обработка в течение первого дня после внесения препарата (рис.77 – 80).

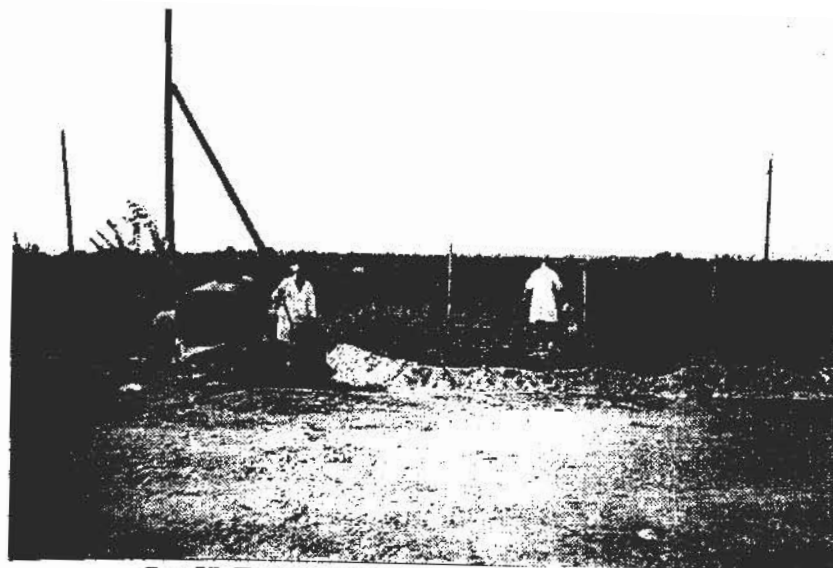


Рис. 77. Подготовка биопрепарата к внесению в грунт



Рис. 78. Гомогенизация суспензии биопрепарата

11.3. Очистка осадков сточных вод

Проблема обработки и утилизации осадков сточных вод в течение последних десятилетий остается весьма актуальной во всем мире. Задача в этом случае заключается в том, чтобы не только уменьшить объемы образующихся осадков, но и найти относительно недорогие пути их использования. Основной трудностью, препятствующей использованию осадков сточных вод, является, как правило, повышенное содержание в них тяжелых металлов, нефтепродуктов и других токсикантов.

Одним из путей обезвреживания осадков сточных вод, в частности от нефтепродуктов является смешение их с биомассой нефтеокисляющих микроорганизмов. Такая технология апробирована многими разработчиками, но по-прежнему остается ряд нерешенных вопросов, а именно большая стоимость биомассы нефтеокисляющих микроорганизмов и слабая адаптированность последних к сопутствующим токсикантам, в том числе к тяжелым металлам.

Наш опыт обезвреживания осадков сточных вод показал, что в этом случае наибольший эффект можно получить с использованием в качестве нефтеокисляющих микроорганизмов адаптированно-го к повышенным концентрациям нефтепродуктов активного ила. Добавление к осадку сточных вод нативного активного ила в количестве примерно от 0,3 до 1,5% АСВ по отношению к сухой массе осадка и при дальнейшем неинтенсивном перемешивании позволяет примерно в течение одной – двух недель уменьшить содержание нефтепродуктов в осадке до 8...17% от их исходного содержания.

При этом эффективность обезвреживания в значительной степени зависит от совершенства системы аэрации и от удельного расхода, подаваемого в перемешиваемую смесь осадок – активный ил, а также способа предварительного уплотнения и сгущения суспензии активного ила.

В виду особой значимости способа аэрации и применяемых аэраторов рассмотрим более подробно различные типы аэраторов, используемых в этих случаях.

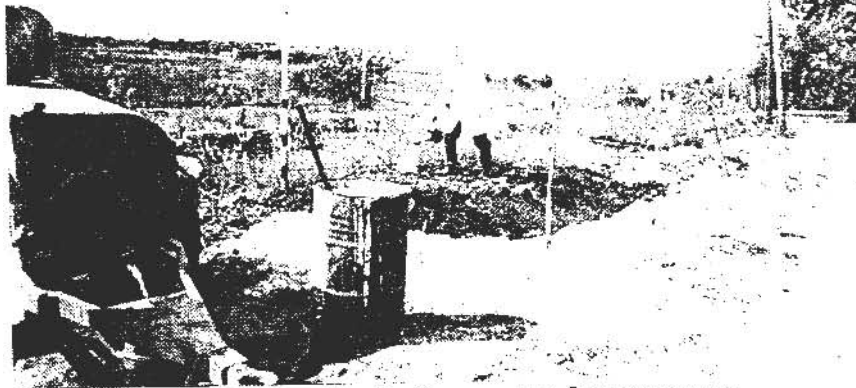


Рис. 79. Первичная обработка грунта биопрепаратом

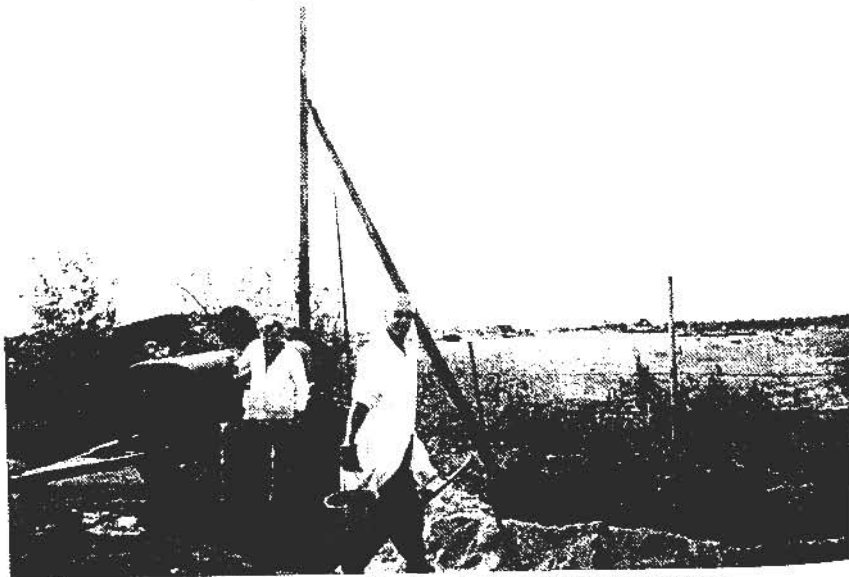


Рис.80. Повторная обработка грунта биопрепаратом

В зависимости от способа подачи и распределения воздуха применение аэраторов можно классифицировать следующим образом: 1) пневматические; 2) механические; 3) пневмомеханические; 4) струйные. Рассмотрим более подробно устройство и характеристики существующих и наиболее часто применяемых аэраторов.

Пневматические аэраторы. Пневматическая аэрация предполагает подачу кислородсодержащего газа под определенным давлением по магистральным и воздухораспределительным трубопроводам к различного рода диспергаторам, установленным в соответствующих точках аэрационных сооружений.

Пневматические аэраторы классифицируются:

- по рабочему давлению: низкого - 10 кПа, среднего - 10...50 кПа, высокого - более 50 кПа;
- по размерам пузырьков: тонкого диспергирования - диаметр пузырька 1...4 мм, среднепузырчатые - 4...10 мм, крупнопузырчатые - более 10 мм.

Аэраторы тонкого диспергирования - это пористые, керамические или пластмассовые диспергаторы. Наиболее распространены фильтросные пластины из огнеупорного шамота или кварцевого песка. Величина пор составляет 300...800 мкм.

Фильтросные пластины имеют наибольшее распространение в практике. Однако их отличает ряд недостатков: засорение пор, трудность монтажа и регенерация пластин. Широко применяется трубчатая аэрация, лишенная этих негативных явлений, а также диффузоры из пористого пластика. Для ремонта, замены или очистки от засорения трубчатые аэраторы делаются разборными.

Фирма "Нокиа" (Финляндия) изготавливает из пористого полиэтилена мелкопузырчатые аэраторы, состоящие из перфорированной трубы, покрытой пористым полиэтиленом.

Весьма перспективны для тонкого диспергирования тканевые аэраторы трубчатой или тарельчатой конструкции.

Специалистами ВНИИВодгео (РФ) исследована возможность применения капроновых тканей. Установлено, что капроновые ткани обеспечивают качественное диспергирование и являются более дешевыми.

В зарубежной практике диафрагмы дисковых или грибовидных аэраторов изготавливают из каучука. Перфорация диафрагмы осуществляется с помощью серии игл.

Применение среднепузырчатых аэраторов позволяет устранить присущее всем мелкопузырчатым диспергаторам постепенное закупоривание воздухоподводящих отверстий и связанное с этим увеличение сопротивления.

При монтаже перфорированные трубы диаметром 30...40 мм укладываются на дне сооружения в ряд. Отверстия сверлят в два ряда под углом 45° к вертикали. Большое значение имеет материал труб аэраторов. В зарубежной практике обычно применяют перфорированные трубы из некорродирующих материалов: меди, пластмасс, коррозионно-стойкой стали и т.д.

Для уменьшения засорения воздушных пор созданы аэраторы клапанного типа. К ним можно отнести аэратор "Вибрейр", запатентованный фирмой "Дегремон" (Франция). Расход воздуха этого аэратора составляет 2,5...7 м³/ч. Под давлением воздуха крышка клапана поднимается, образуя круговой зазор (менее 1 мм), через который диспергируется воздух. Обычно глубина погружения аэратора - 3...5 м. При монтаже необходимо стремиться к уменьшению его заглубления, так как значительная часть кислорода переходит в жидкость в момент образования и выхлопа пузырька.

Основные параметры, принятые для характеристики рассмотренных аэраторов, следующие:

- 1) окислительная способность (O_2 кг/ч);
- 2) эффективность аэрирования (O_2 кг/(кВт·ч));
- 3) удельные энергозатраты (O_2 кВт·ч/кг);
- 4) использование кислорода (%).

Для пневматических аэраторов эффективность аэрирования составляет (2,5...5) O_2 кг/(кВт·ч), чаще (1,5...2) O_2 кг/(кВт·ч) (мелкопузырчатые).

Возможность получения тонкодисперсных пузырьков воздуха путем продувки через пористые днища и трубки обусловило создание пневматических флотационных машин в 1920 - 1965 гг. Технологические показатели были удовлетворительными, но пористые трубки быстро забивались или рвались. Усовершенствования в конструкциях флотационных колонн и машин пенной сепарации

рации вызвали интерес к пористым аэраторам вновь. Испытывались различные аэраторы: поролон, войлок, керамика, титано-керамика, различные резины в виде труб и листов, перфорированных иглами. Кроме того, рассматривалась возможность применения металлических перфорированных труб и капиллярно-щелевых аэраторов. При испытаниях отмечался быстрый износ аэраторов.

Широкому внедрению пневматических аэраторов в практику препятствует техническое несовершенство пневматических аэраторов из эластичных перфорированных материалов.

Механические аэраторы. Механическая аэрация применяется в практике очистки сточных вод более 60 лет. В 1920 - 1930 гг. в Европе уже использовались механические горизонтальные аэраторы в виде цилиндров, поверхность которых была покрыта металлическим ворсом. Принцип их работы - вовлечение атмосферного воздуха и введение его в контакт с жидкой фазой вращающимися частями аэратора.

Механические аэраторы обладают целым рядом преимуществ перед пневматическим. Например, для них не требуется строительство и эксплуатация воздухоподводящих станций. Они просты в изготовлении и обладают высокой окислительной способностью.

Механические аэраторы для очистки воды классифицируются на горизонтальные, вертикальные, поверхностные и глубинные, импеллерные и турбинно-всасывающие, стационарные и передвижные, низкооборотные и высокооборотные, дисковые, конусные и с открытыми лопастями.

Принцип действия аэраторов заключается в сочетании аэрирующего эффекта, вызываемого вращением лопастей ротора, с эжекцией атмосферного воздуха в зону давления. Вертикальные поверхностные аэраторы по конструкции отличаются большим разнообразием. К ним относятся конусные аэраторы "Симплекс", "Симкар", "Дифума", "Джирокс". По общей классификации они являются турбинными аэраторами.

Одним из наиболее распространенных вертикальных аэраторов является "Симплекс", разработанный в Англии и усовершенствованный фирмой "Копперс" (ФРГ). Он представляет собой полый усеченный конус, обращенный расширенной частью вверх. с

лопастями специального профиля. Диаметр ротора аэратора составляет 3 м. Аэратор погружается в жидкость таким образом, чтобы его верхняя часть выступала на 5...20 см.

Одно из достоинств аэратора - возможность работы в аэротенках глубиной 6...9 м.

В мировой практике широкое распространение получили также дисковые аэраторы "Вортейр", разработанные фирмой "Инфилко" (США). К диску с нижней стороны аэратора крепятся 12...18 радиально направленных лопастей. Глубина погружения диска - 40 см, окружная скорость - (3,5...5) м/с.

Глубинные аэраторы имеют различное конструктивное исполнение в виде винтов, лопастных колес и турбин с различным профилем лопаток. Примером этого типа является аэратор типа "Кавитатор С-16" диаметром 300 мм. Его заглубление - 1 м, эффективность - (4,5...6,0) кг O_2 /(кВт·ч).

Расчет механических аэраторов базируется на решении трех основных задач: определение потребляемой мощности, окислительной и перемешивающей способности.

Пневмомеханические аэраторы. Аэраторы данного типа сочетают эффект вращающегося ротора и подачи сжатого воздуха. Несмотря на конструктивные различия, они имеют сходный принцип, который заключается в подаче воздуха через диспергатор под нижнюю крыльчатку турбинного аэратора.

К аэраторам данного типа относятся аэраторы "Вортиникс" и "Дорр-Оливер". Последний может иметь две и более крыльчатки: первая располагается на глубине 32,5 см, вторая - на расстоянии 75 см от дна камеры. Благодаря интенсивному перемешиванию газожидкостной среды и развитой поверхности использование кислорода достигает 20...25 %, что в 2 - 2,5 раза выше, чем при пневматической системе аэрации.

Пневмомеханические погружные турбинные аэраторы выпускаются Моршанским заводом химического машиностроения и имеют следующие характеристики: диаметр 0,9...1,2 м, мощность 22...75 кВт, расход воздуха 900...1400 м³/ч. Эффективность расщепления кислорода этих аэраторов составляет 1,8...2,1 кг O_2 /(кВт·ч), окислительная способность - (5...6) кг O_2 /(м³·сут.).

В последние годы продолжалось совершенствование механических и пневмомеханических импеллеров. Разработаны новые аэраторы: "Пипса", "Фагергрин", "Эйкер", "Сала", конический центробежный и другие. Они просты в изготовлении, имеют высокую эксплуатационную надежность, при их использовании снижаются удельные затраты.

Струйные аэраторы. Исследования процесса аэрирования поверхностными струями показали, что этот способ биологической очистки сточных вод энергетически выгоднее применения механических устройств.

В отечественной и зарубежной практике имеются примеры использования искусственных и естественных перепадов воды для аэрации загрязненных вод. Повышение содержания растворенного кислорода в воде составляет при этом 1,7...3 мг/л. Данный принцип использован при создании аппарата для аэрации прудов. Применение такого аэратора позволяет за счет пленочного режима в три стадии повысить содержание кислорода в воде с 6 до 9 мг/л.

Как показали экспериментальные исследования и наш опыт очистки осадков сточных вод от нефтепродуктов, а также критический анализ описанных выше технических устройств для аэрации суспензий и сточных вод наиболее эффективными в этом случае являются механические и пневмомеханические аэраторы. Этот вывод был подтвержден в практике обработки осадков сточных вод.

Наряду с аэрацией, другим важным технологическим приемом, влияющим на последующее обезвреживание осадков, является способ их предварительного уплотнения и последующего сгущения. Сущность подхода в решении этой проблемы состоит в том, чтобы добиться максимального снижения объема сгущаемого избыточного активного ила при минимальных энергозатратах и наличии живых микроорганизмов.

В настоящее время избыточный активный ил предварительно уплотняют в основном в гравитационных илоуплотнителях, представляющих в основе своей вертикальные отстойники, а сгущают в вакуум-фильтрах и фильтр-прессах различных конструкций.

В последние годы все большее применение также получает флотационное уплотнение активного ила. Оно позволяет умень-

шить продолжительность уплотнения в сравнении с гравитационным и достичь большего уплотнения ила. Чаще всего применяют метод напорной флотации для уплотнения избыточного активного ила.

После предварительного уплотнения осадки сточных вод сгущают на вакуум-фильтрах, которые в настоящее время находят применение на станциях средней и большой производительности. Наибольшее распространение имеют барабанные вакуум-фильтры непрерывного действия типа БОУ для обезвоживания смеси осадка и ила из метантенков. Применяется также обезвоживание сырого осадка и активного ила на вакуум-фильтрах со сходящим плотном.

Наряду с вакуум-фильтрами также достаточно широко используют фильтр-прессы при сгущении минеральных осадков и смеси осадков сточных вод и избыточного активного ила. Как правило, стадия фильтрования конечная при сгущении. Поэтому на этой стадии пытаются достичь наибольшей концентрации твердой фазы в осадке (кеке) и наименьшей в фильтрате. Для этого смесь сырого осадка сточных вод и избыточного активного ила перед подачей на стадию фильтрования подвергают многостадийной обработке. Фильтр-прессы, как правило, выпускают в двух вариантах: камерные и рамные. Они позволяют получать продукты с высокой степенью обезвоживания. Однако ввиду значительных размеров и тяжелых сопутствующих устройств применение их нерентабельно на малых и средних станциях.

Напорная фильтрация – циклический процесс, при котором последовательно повторяются операции заполнения и прессования осадка с одновременным выпадением отжимок. Упрощение технологии связано с применением ленточных фильтров и ленточных фильтр-прессов. Они состоят из фильтрующего полотна, на которое наложено другое полотно (сплошное или фильтрующее), позволяющее прикладывать необходимое для обезвоживания давление с помощью валиков. Это позволяет компактно установить все оборудование для создания разряжения, а также уменьшить расход энергии во время эксплуатации устройства.

Ленточный фильтр-пресс Лпр 10-1, 2Р-001 предназначен для обезвоживания осадков сточных вод. Он обеспечивает высокую степень обезвоживания осадка, предварительно обработанного флокулянтами, путем последовательного воздействия на него гравитационных сил, вакуума и постепенного возрастающего давления в клиновой зоне и зонах низкого и высокого давления. В зонах возрастающего давления механическое воздействие производится на осадок, находящийся между двумя фильтровальными перегородками. Низкая удельная энергоемкость позволяет обрабатывать на фильтре различные суспензии – отходы угольной, целлюлозно-бумажной и химической промышленности. Преимущества фильтр-пресса – низкие капитальные затраты, компактность, минимальный уход и удобство обслуживания.

Техническая характеристика ленточного фильтр-пресса

Лпр 10-1, 2Р-001

Поверхность фильтрования, м ²	10
Ширина фильтрующей перегородки, мм:	
рабочая	1,2±0,02
общая	1,5±0,02
Число перегородок	2
Скорость движения перегородки, м/мин	0,6...6,0
Производительность по суспензии, м ³ /ч	5...20
Температура суспензии, °С	18...25
Мощность привода, кВт:	
фильтра	3,8±0,5
ролика	0,4±0,1
Габаритные размеры, мм	5900x2900x2300
Масса, кг	6000

Существенный интерес представляет ленточный вакуум-фильтр, предназначенный для непрерывного фильтрования

суспензии. Он позволяет получить продукт высокого качества в результате снижения содержания твердой фазы в осветленной жидкости, увеличить производительность фильтра и снизить энергозатраты на 10...15%.

Фильтр имеет бесконечную фильтровальную ленту, натянутую на приводном и натяжном барабанах, загрузочные лотки для суспензии и промывной воды и вакуум-камеру с отверстием для поступления в нее раствора. В зоне фильтрации вакуум-камеры установлена перегородка, которая разделяет зону на две секции. Перегородка снабжена штоком, при помощи которого она перемещается по продольной оси вакуум-камеры за ее пределы. Для устранения перетока растворов из секций между торцом перегородки и внутренними стенками вакуум-камеры предусмотрено уплотнение, которое прикреплено к перегородке и скользит вместе с ней по внутренней поверхности камеры. В верхней части перегородки предусмотрены отверстия для выравнивания вакуума в обеих секциях. Для герметизации отверстия, через которое шток выходит из камеры, предусмотрен уплотнитель. Обе секции и вакуум-камеры соединены отдельными линиями с вакуум-сборниками растворов, снабженными насосами.

Суспензия через загрузочный лоток поступает на непрерывно движущуюся фильтровальную ленту, где твердые частицы отделяются от раствора за счет вакуума, создаваемого в секциях и камере вакуум-насосом. В одну секцию камеры поступает загрязненный твердой фазой раствор, а в другую – чистый раствор, так как в предыдущей секции уже образовался осадок определенной толщины, обеспечивающий чистоту раствора.

Загрязненный и чистый растворы собираются соответственно в сборниках и насосами разделяются на дальнейшую переработку. Перегородки при помощи штока устанавливаются оператором или системой регулирования в предельное с минимальной зоной фильтрования грязного раствора положение в вакуум-камере, обеспечивающее заданную чистоту раствора.

Наряду с фильтрами для сгущения осадков применяют центрифуги. В последние годы для обезвоживания осадков, образующихся при очистке сточных вод (городских), широко

используют метод центрифугирования как один из самых эффективных. В отечественной промышленности получили распространение осадительные горизонтальные центрифуги со шнековой выгрузкой осадка (типа ОГШ). Их преимущества – компактность, простота обслуживания, получение обезвоженного осадка низкой влажности, относительно невысокие затраты на обработку осадка.

Для обезвоживания осадков сточных вод на крупных очистных сооружениях создана крупнотоннажная центрифуга ОГШ-1001 К-01 пропускной способностью 2 тыс. м³/сут. и более. Особенность центрифуги – улучшенная гидродинамика условий разделения суспензии в роторе машины благодаря использованию прямоточной схемы ротора, закрытого потока и заглубления подаваемой суспензии под слой жидкости в роторе. Применение флокулянтов позволяет практически полностью выделить твердую фазу и не разрушить флокулу в момент ввода ее в ротор.

Центрифуга ОГШ-1001 К-01 прошла промышленные испытания на очистных сооружениях г. Сочи и Люберецкой станции аэрации. Ниже приведена техническая характеристика отечественных центрифуг.

Техническая характеристика отечественных центрифуг

	ОГШ-501К-10	ОГШ-1001К-01
Внутренний диаметр ротора, мм	500	1000
Отношение длины ротора к диаметру	3,6	3,6
Максимальная частота вращения ротора, об/мин	2650	1000
Момент, передаваемый редуктором, кг	600	4500
Мощность главного электродвигателя, кВт	75	100
Габаритные размеры, мм	3880x2510x1340	6590x3550x2080
Масса, кг	7145	13800

Для сгущения избыточного активного ила, образующегося в процессе биологической очистки сточных вод, предназначен

сепаратор СДС-631К-04 (26). Он состоит из станины с приводным механизмом, ротора, приемно-выводного устройства и приемника осадка. Сепаратор имеет систему рециркуляции для повышения степени сгущения ила и увеличения безразборного периода работы, снабжен автоматической системой контроля разделения и сгущения. Его можно применять на станциях аэрации с производительностью от 20 до 300 тыс. м³/сут. Техническая характеристика сепаратора приведена ниже.

Техническая характеристика сепаратора СДС-631К-04

Производительность по исходному активному

илу, м ³ /ч	25...30
Диаметр ротора, мм	630
Частота вращения ротора, об/мин	5000
Мощность электродвигателя, кВт	75
Габаритные размеры, мм	2290x1140x2385
Масса, кг	3600
Срок службы, годы	5

Сгущение избыточного активного ила центрифугированием получило большое распространение в Германии. В промышленных условиях испытаны способы сгущения избыточного активного ила с использованием тарельчатых сепараторов и шнековых осадительных центрифуг. Испытание тарельчатых сепараторов показало, что погрузочные сопла быстро забиваются, из-за чего отказались их использовать. Более эффективны осадительные шнековые центрифуги S 5-1 фирмы "Гумбольдт Ведаг". При сгущении суспензии активного ила на центрифугах S 1-1, S 5-1 эффективность задержания по сухому веществу составила 60...95%, степень сгущения – 6...14 в зависимости от степени разделения и дозы добавляемых флокулянтов.

Для обезвоживания промышленных сточных вод и коммунальных шламов фирмой "Гумбольдт Ведаг" создана центрифуга, в которой осаждение происходит в прямом совместном потоке твердой и жидкой фаз. Осаждение и зона осаждения начинаются

сразу в месте поступления суспензии перед задней стенкой барабана.

В обычной центрифуге с цельной оболочкой мутный раствор собирается в средней части барабана, где в результате противотоков твердой и жидкой фаз, возврата твердой фазы на прежнее место осаждение нарушается турбулентными потоками (что, однако, при обычно осаждающейся твердой фазе практически не нарушает процесса разделения).

Процесс осаждения продолжителен, что обуславливает осаждение даже мельчайших частичек и большое уплотнение твердой фазы, меньшую ее влажность, лучшую очистку фугата. После окончания очистки центрифугат выливают через затвор. Оптимальную глубину жидкости в барабане регулируют пластиной сливного затвора. Для обработки рыхлых шламов используют опережающий шнек при большей глубине жидкости в барабане, что обеспечивает особенно благоприятное течение процесса, высокий выход твердой фазы незначительной влажности. Для получения высококонцентрированных осадков предназначен гидроциклон с барабанной выгрузкой осадка. В камере сгущенного продукта установлены два барабана, при вращении которых происходят отжим осадка и увеличение его концентрации.

Перспективен гидроциклон с самопульсирующим песковым насадком из эластичного материала, например, мягкой резины, установленным с зазором в фиксирующей шайбе. В процессе работы гидроциклона сгущенный поток на выходе из аппарата вызывает колебания пескового насадка. Они передаются сгущенному потоку и способствуют дополнительному отжиму сгущенной фазы. Сравнительные испытания показали, что степень сгущения твердой фазы при использовании гидроциклона с самопульсирующим песковым насадком увеличивается в 2 - 4 раза.

В последнее время гидроциклоны используют вместо центрифуг и фильтров для промывки твердой фазы суспензии. Разработаны батарейные гидроциклоны с диаметром единичного элемента 80 и 100 мм и общей производительностью 120...120

м³/ч для сгущения и промывки комплекса карбамида с парафином. Их устанавливают при противоточной схеме промывки вместо центрифуг ОГШ-120. Батарейный гидроциклон рационально сконструирован из единичных элементов по периметру круга. В процессе работы каждый элемент можно отключать. Гидроциклоны снабжены циркуляционными трубками, в результате чего исключаются застойные зоны в патрубках при работе батареи с частично включенными элементами.

Гидроциклоны можно успешно использовать для выделения их осадков абразивных примесей перед подачей их на центрифуги и сепараторы, что способствует увеличению долговечности и надежности последних.

В последние годы используют также схему обработки осадков сточных вод центрифугированием и аэробной минерализацией. Технологической схемой предусмотрено разделительное центрифугирование сырого осадка и смеси осадка и избыточного активного ила, минерализованной в аэробных условиях, и фугата сырого осадка.

Осадок из первичных отстойников пропускается через решетку-дробилку и направляется в бак-накопитель, из которого он подается на шнековую центрифугу. Образующийся кек вывозят на компостирование, а фугат через бак-накопитель направляется в аэробный минерализатор, куда также подается избыточный активный ил и фугат от центрифугирования сброженной смеси в центрифуге отстойного типа.

Проведенные нами испытания практического всего спектра описанного выше оборудования показали, что поставленная задача достигается при применении на первой стадии уплотнения напорного флотатора, а на второй стадии сгущения — фильтр-пресса. Это позволяет получать практически живую биомассу, сгущенную до влажности 50...80%, что является оптимальным значением при смешении ее с обезвреживаемым осадком сточных вод.

С использованием указанной технологии были проведены испытания по обезвреживанию осадков сточных вод (табл. 30).

Таблица 30

Анализ осадка на наличие нефтепродуктов (НП) и ароматических углеводородов (АУГВ)

Дата отбора проб в 2003 г.	НП, %			Содержание АУГВ, %		
	Органический осадок	Битумный осадок	Песчаный осадок	Органический осадок	Остатки битума с грунтом	Песчаный грунт
12.06.	2,19	2,47	3,61	0,71	0,04	2,07
19.06.	1,87	2,25	2,08	0,49	0,04	0,72
26.06.	1,30	2,04	1,29	0,27	0,03	0,08
03.07.	0,84	1,86	0,66	0,16	0,009	0,03
10.07.	0,48	1,69	0,27	0,09	0,007	0,03

Анализ данных, представленных в табл. 30, показывает, что наилучшие результаты дает применение указанной технологии к обработке песчаных осадков и наименьший – в случае битумных осадков.

11.4. Очистка почвы и грунтов флотацией

Используемый наиболее часто в практике очистки почвы от нефтепродуктов биологический способ имеет существенные недостатки, например большую длительность, и не дает полной уверенности достижения гарантированного эффекта. Хотя при этом имеется и ряд примеров положительного применения этого способа в течение длительной обработки загрязненных грунтов и почвы.

Так, лабораторией переработки и биотехнологической утилизации отходов ФГУП «ГосНИИсинтезбелок» проведены успешные испытания использования биопрепарата на основе бактерий рода *Pseudomonas* для очистки почвы и осадков сточных вод после мойки автомобилей. Однако, отмеченные недостатки, в частности отсутствие уверенности в гарантированном достижении положительного результата, не дают возможности для широкого использования биологического способа очистки почвы и грунтов от нефтезагрязнений.

Более эффективными способами очистки почвы и грунтов от нефтепродуктов являются физико – химические методы, в частности флотация [1,2]. Сущность этого способа состоит в аэрировании очищаемой суспензии пузырьками воздуха.

Для отработки режима очистки почвы от нефтепродуктов флотацией были проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях.

Опыты по очистке почвы от нефтезагрязнений проводили на лабораторной флотационной машине с объемом камеры 1 л и опытным образце четырехкамерной флотомашины с объемом камеры 15 л механического типа без принудительной подачи воздуха. Время флотации составляло от 15 до 45 мин, а в отдельных случаях до 60 мин.

В качестве объекта исследования использовались образцы почвы, отобранные с производственной площадки автозаправочной станции (АЗС), и образцы почвы, специально загрязненной отработанными автомаслами с содержанием нефтепродуктов соответственно 3...6 и 25...28%.

После загрузки загрязненной почвы во флотокамеру добавляли воду в соотношении почва: вода, равном 1 : (1-5) и полученную смесь в виде суспензии флотировали в режиме самовсасывания воздуха.

Проведенные исследования показали, что при флотационной обработке происходит существенное изменение состава и структуры почвы, что подтверждается как визуальным наблюдением, так и инструментальным контролем качества почвы (табл. 31, рис.81 - 88).

Таблица 31

Влияние времени флотации на эффективность очистки почвы от нефтепродуктов

№ п/п	Время флота- ции мин	Концентрация нефтепродук- тов, % масс.		Эффективность очистки, % $\Xi = (C_0/C_1) \cdot 100$
		В исходной почве (грязной) – C_0	В очищенных образцах почвы – C_1	
1	15	3,2	0,8	75,0
2	20	3,2	0,65	79,7
3	25	3,2	0,46	85,6
4	30	3,2	0,36	88,8
5	35	3,2	0,28	91,3
6	40	3,2	0,24	92,5
7	45	3,2	0,22	93,1
8	15	27,2	1,65	93,9
9	20	27,2	1,09	95,9
10	25	27,2	0,92	96,6
11	30	27,2	0,71	97,3
12	35	27,2	0,58	97,9
13	40	27,2	0,44	98,4
14	45	27,2	0,32	98,8
15	50	27,2	0,29	98,9
16	60	27,2	0,28	98,97

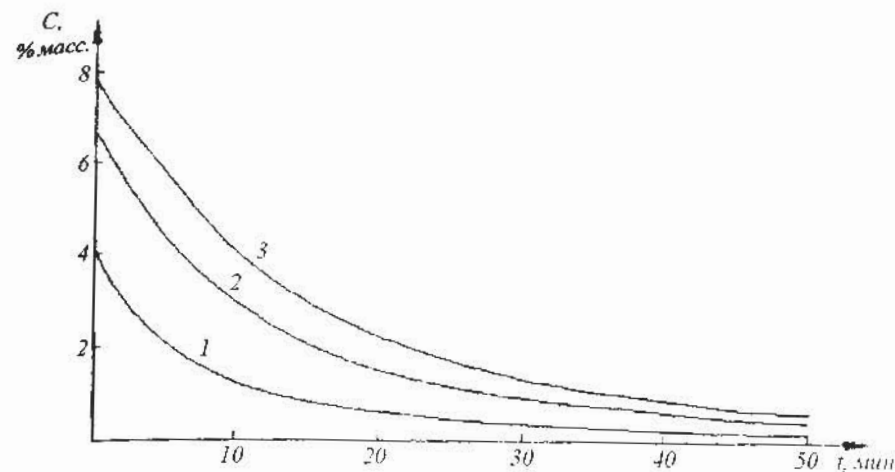


Рис. 81. Зависимость концентрации нефтепродуктов в очищенной C_1 почве от времени флотации t при начальном содержании нефтепродуктов C_0 (% масс): 1 – 4,1; 2 – 6,7; 3 – 7,9; температура промывной воды – 24°C

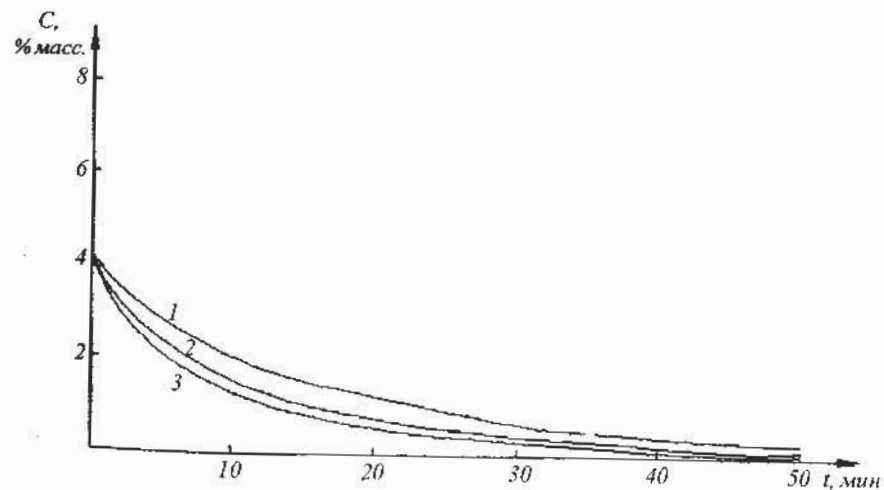


Рис. 82. Зависимость концентрации нефтепродуктов в очищенной почве от времени флотации t при объемном соотношении почва : вода : 1 – 1; 2 – 1 : 2; 3 – 1 : 3; температура промывной воды – 24°C

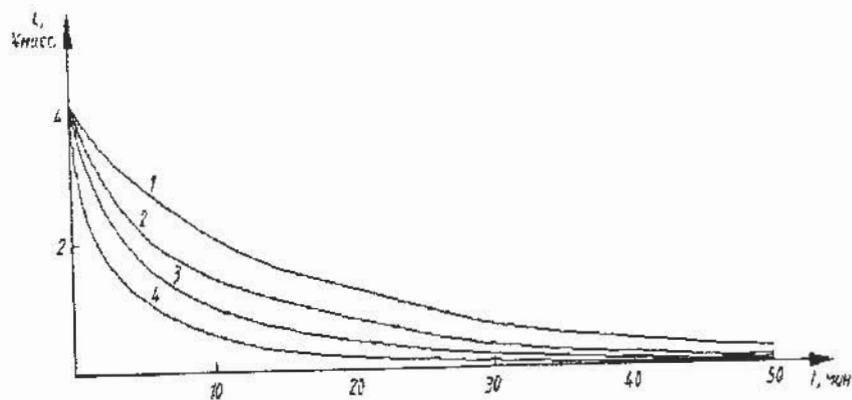


Рис. 83. Зависимость концентрации нефтепродуктов в очищенной почве от времени флотации t с добавлением вспенивателя ОП-10 в дозах, мг/л: 1 – без вспенивателя; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; температура промывной воды – 24°C

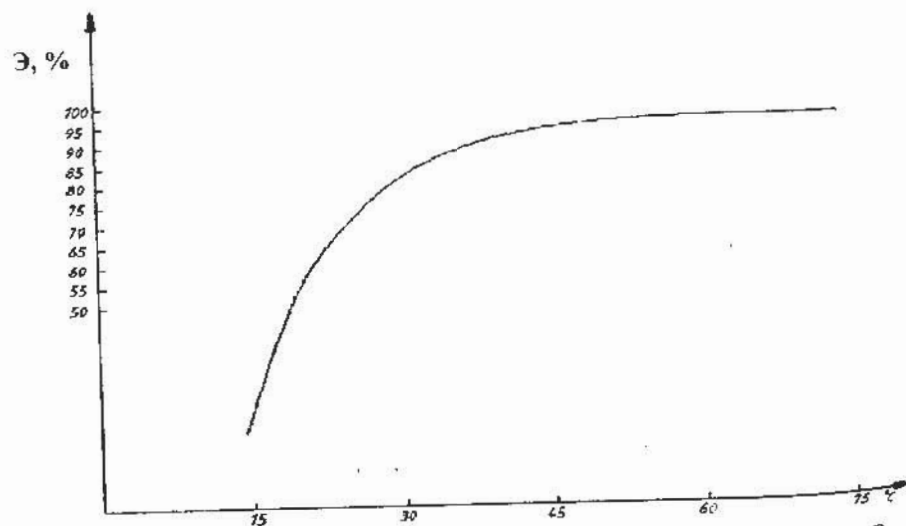


Рис. 84. Влияние температуры промывной воды на эффективность $\mathcal{E}$ очистки почвы от нефтепродуктов

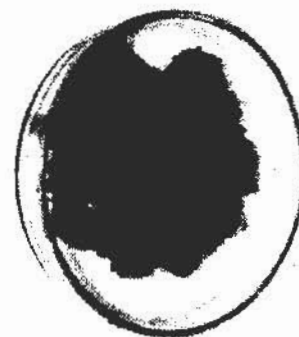


Рис. 85. Проба почвы, загрязненная нефтепродуктами, (концентрация нефтепродуктов – 3 г/кг)



Рис. 86. Проба почвы, загрязненной отработанным автомобильным маслом (концентрация масла – 5 г/кг)

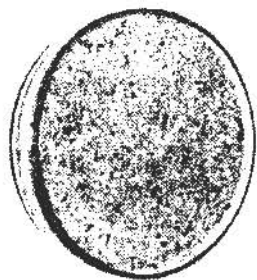


Рис. 87. Проба почвы после флотационной очистки (остаточная концентрация нефтепродуктов – 0,2 г/кг)



Рис. 88. Проба почвы после флотационной очистки от автомобильного масла (остаточная концентрация масла – 0,12 г/кг)

Полученные при проведении исследований в лабораторных условиях экспериментальные данные свидетельствуют о том, что эффективность очистки почвы от загрязнений зависит от времени флотации, объемного соотношения почва-вода, начального загрязнения, температуры промывной воды. Установлено, что увеличение времени флотации от 15 до 45...50 мин приводит к существенному повышению эффективности очистки почвы от нефтепродуктов. Эффективность очистки также заметно повышается при увеличении объемного соотношения вода - почва от 1:1 до 2:1 и добавлении вспенивателя ОП-10 в дозе 10...15 мг/л.

Полученные в лабораторных условиях экспериментальные данные позволили разработать схему опытно-промышленной установки, на которой возможно получение конкретных технико-экономических данных для реализации разработанного способа в практике очистки почвы и грунтов от нефтезагрязнений.

Разработанная установка для очистки почвы и грунтов включает устройство забора грунта из массива, транспортирующее устройство и устройство для очистки грунта, отличающееся тем, что в качестве устройства для очистки грунта используется флотационная машина с кипящим слоем и узлом дозирования реагентов, причем ввод реагентов осуществляется через эжектор с одновременной подачей воздуха, и при этом механическая флотационная машина включает от 4 до 12 камер с соотношением ширины камеры к высоте от 1:1,5 до 1:2,5, с аэраторами, выполненными в виде пропеллерных мешалок с 2...6 лопастями. Отвод воды из флотационной машины производится путем транспортирования очищенной суспензии через самоочищающийся фильтр, выполненный в виде вращающегося цилиндра из пористого металла. Отличительной особенностью используемой флотационной машины является то, что интенсивность аэрации в ней уменьшается по ходу движения очищаемой суспензии через

оснащена блоками тонкослойного осветления с расстоянием между полками от 1 до 8 см и при этом узел приготовления реагентов выполнен в виде камеры с пневматической системой аэрации.

Указанная установка (рис. 89) состоит из устройства для забора грунта 1, под концевой частью которого помещена решетка 2, ниже которой установлен транспортер 3, верхний конец которого находится над первой камерой флотационной механической машины. Над первой камерой флотационной машины установлен также узел приготовления 4 и подачи реагентов в виде эжектора 5.

Используемая флотационная механическая машина 6 состоит из 4...12 камер с установленными в них аэраторами 7, выполненными в виде пропеллерных мешалок с 2...6 лопастями и устройством регулирования уровня суспензии 9.

На внешней стороне флотомашины выполнен пенный желоб 8, из нижней части которого выходит труба, нижний конец которой соединен со сборником пенного продукта 15.

К последней камере флотомашины присоединена еще одна камера больших размеров, в которой установлен вращающийся самоочищающийся фильтр 10. Фильтр выполнен в виде вертикального закрытого цилиндра из пористого металла. К дну фильтра присоединена труба, для отвода отфильтрованной воды. Дно фильтрационной камеры выполнено в виде конуса, которое переходит в патрубок со шнековым механизмом 11. Под выходом шнекового механизма расположен транспортер 12.

Установка включает также промежуточный резервуар 13 с насосом 14; флотационную машину пневматического типа 16, состоящую из 2...6 камер, половина из которых на выходе из флотомашины оснащена блоками тонкослойного осветления 18. В камерах на входе установлены аэраторы 17. Сбоку, на внешней стороне флотомашины имеется также пенный желоб. Часть очищенной воды возвращается в первую камеру флотомашины механического типа, а часть проходит через фильтр доочистки 19 и сбрасывается в резервуар.

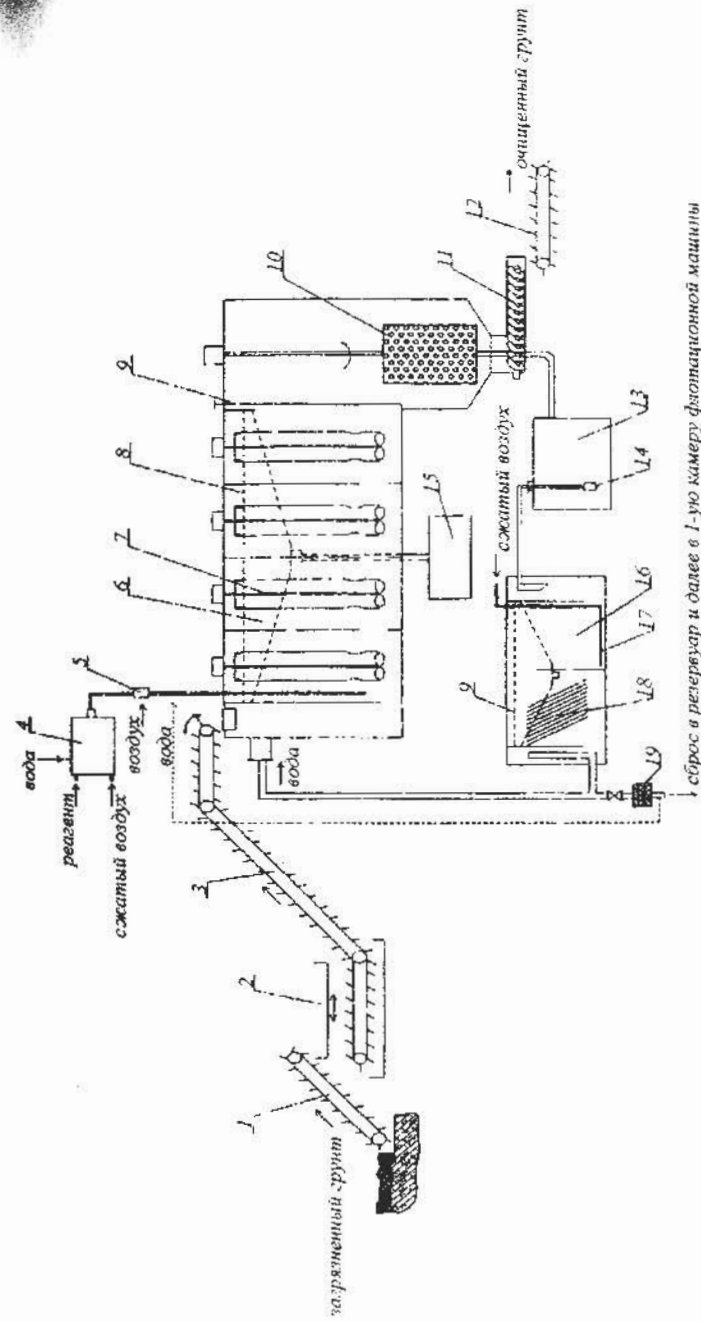


Рис. 89. Схема установки для очистки грунтов от нефтезагрязнений: 1 - устройство для забора грунта; 2 - решетка; 3 - транспортер; 4 - узел приготовления раствора; 5 - эжектор; 6 - механическая флотомашина; 7 - аэраторы; 8 - пенный желоб; 9 - устройство регулирования уровня суспензии; 10 - самоочищающийся фильтр; 11 - шнековый механизм; 12 - транспортер; 13 - промежуточный резервуар; 14 - насос; 15 - пенообразователь; 16 - пневматическая флотомашина; 17 - аэраторы; 18 - тонкослойный блок; 19 - фильтр доочистки.

Принцип работы предлагаемой установки состоит в следующем. Загрязненный грунт забирается из массива с помощью заборного устройства 1 и попадает далее на решетку 2, через которую просеиваются мелкие частицы грунта, а крупные включения, например, камни, различные металлические предметы остаются на решетке 2 и по мере накопления снимаются специальным приспособлением (на рис. 89 не показано). Просеянная через решетку значительная часть грунта попадает на транспортирующее устройство 3 и далее в первую камеру флотационной механической машины 6, куда одновременно поступают вода и аэрированный воздухом раствор реагентов, приготовленный в резервуаре 4 и подаваемый через эжектор 5. Приготовление раствора реагентов происходит в резервуаре 4 с пневматической системой аэрации, позволяющей перемешивать раствор реагентов с помощью сжатого воздуха. Далее приготовленный раствор реагентов подается с помощью эжектора 5 в первую камеру флотационной механической машины 6, в камерах которой в режиме кипящего слоя происходит очистка частиц грунта от загрязнений. Этому способствует наличие реагентов, обладающих резко выраженными свойствами поверхностно-активных веществ, способствующих отрыву загрязнений, например, в виде нефтепродуктов, масел, жиров и т.п. Отрывающиеся от частиц грунта загрязнения слипаются с пузырьками воздуха, образуя флотокомплексы, которые всплывают в верхний слой и удаляются самотеком в пенный желоб. Аналогичный процесс повторяется в следующих по ходу движения суспензии камерах.

Далее очищенная суспензия попадает на самоочищающийся фильтр 10, с помощью которого происходит разделение суспензии на твердую фазу, далее удаляемую с помощью транспортирующих устройств 11 и 12, а отделенная жидкая фаза поступает сначала в промежуточный резервуар 13, откуда насосом 14 подается во флотомашину пневматического типа 16, из которой поступает в резервуар и далее с помощью насоса (на рис. 89 не показаны) - в первую камеру механической флотационной машины.

В результате очистки в предлагаемой установке грунт содержит следовые концентрации загрязнений и при необходимости может быть использован для рекультивации загрязненных площа-

док. Посевы различных трав на обезвреженных по такой технологии почв и грунтов подтверждают эффективность предлагаемой технологии: растительный покров появляется практически в те же сроки, что и на контрольных делянках (не загрязненных нефтепродуктами); скорость произрастания посеянных культур только незначительно отличается от контрольных делянок.

Заключение

Проблема очистки воды, почвы и грунтов от нефтепродуктов имеет огромное значение для нашей нефтедобывающей страны. Кроме того, из-за различия специфики требований к очистке почвы и грунтов для городской и сельской местности могут быть применены различные технологии очистки. В этой связи автор, уже имея большой опыт ведения дискуссий с чиновниками и различными деятелями от науки, не хочет и не желает вести бесплодные споры о важности той или иной технологии обезвреживания воды, почвы и грунтов от нефтепродуктов. Добросовестно и со знанием дела разработанная технология при ее правильном применении будет востребована на рынке экологических услуг, что и наблюдается в случае флотационного способа очистки воды, почвы и грунтов от нефтепродуктов. Залогом подтверждения очистки грунтов от загрязнений является селективное обогащение полезных ископаемых флотацией, применяемой во многих странах мира.

Автор предлагает всем заинтересованным лицам, фирмам и организациям различные экологические услуги по описанным в данной книге технологиям.

В случае заинтересованности свои предложения и просьбы следует направлять по адресу: Москва, 109004, Коммунистическая ул., д. 27, ФГУП «ГосНИИсинтезбелок» (тел. (095) 912 – 6409, e-mail: borisflot@mail.ru).

Список литературы

1. Гвоздев В.Д., Ксенофонов Б.С. Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков. М.: Химия, 1988. 112 с.
2. Ксенофонов Б.С. Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков. - М.: Химия, 1992. 144 с.
3. Langen H., Hoberg H., Hamacher B. Möglichkeiten zur Abtrennung von, Schweimetallkon taktinativen ans Boden Aufbereitungstechnik 34, 1993, №1, p. 27-35.
4. Zhang Y. Chain is show how DHF can Pedine MZSS. Water Engineering and Manegment, August, p. 38-41.
5. Nelson P.F., Conway R.A., Young B.A. High sobibiology gas flotation. Journal WPCF, v. 53 Z№7, 1981, p. 1198-1204.
6. Мещеряков Н.Ф. и др. Аэрирование жидкостей падающими струями и перспективы его применения при флотации. Цветные металлы. 1991. №4. С. 56-58.
7. Мещеряков Н.Ф. Кондиционирующие флотационные аппараты и машины. М.: Недра, 1990. 237с.
8. Kennedy A. The Jameson Flotation cell – Mining Magazine, 1990 (October), p. 281-285.
9. Патент РФ №2108974, Способ очистки сточных вод// Б.С. Ксенофонов. Заявл. 22.04.96, рег. 20.04.98.
10. Патент РФ №2130897, Флотационная машина для очистки сточных вод// Б.С. Ксенофонов. Заявл. 21.10.97, рег. 27.05.99.
11. Заявка на изобретение №2000123349. Флотационная машина для очистки сточных вод// Б.С. Ксенофонов. Заявл. 07.09.2000. Полож. реш. 30.01.2002.
12. Патент РФ №2169704, Флотационная установка для очистки сточных вод// Б.С. Ксенофонов. Заявл. 21.04.2000, рег. 27.06.2001.
13. А. с. СССР №764387. Электрофлотационный аппарат// Б.С. Ксенофонов. Заявл. 19.01.1979, рег. 22.05.1980.
14. Свидетельство на полезную модель №24193. Установка для очистки сточных вод/Б.С.Ксенофонов, М.Н.Моисеев, Л.А.Дулина. Заявл. 26.02.02, рег.27.07.02.

15. Ксенофонтов Б.С., Моисеев М.Н., Дулина Л.А. Очистка жиросодержащих сточных вод//Безопасность жизнедеятельности. 2002. №12. Пат. 214367 ГДР, МКИ С02F 1/24.

16. Заявка №5048866/03. Флотационная колонна/Н.Ф.Мещеряков, Б.С.Ксенофонтов, А.М.Отрадных. Заявл. 18.06.92. Полож. реш. 10.07.95.

17. Ксенофонтов Б.С., Бойченко В.А. Разработка и создание локальных очистных сооружений нефтесодержащих сточных вод после мойки машин// Четвертый Международный конгресс «Вода: экология и технология» (Экватэк – 2000). 2000. С. 532 – 534.

18. Потанина В.А., Селезнева Л.В., Мясников И.Н. Очистка сточных вод пищевой промышленности от жиров // Тезисы докладов всесоюзного научно-технического совещания "Очистка природных и сточных вод", 9-13 октября 1989 г. / ВНИИВОДГЕО. - М., 1989. С. 81-83.

19. Ксенофонтов Б.С. Комбинированный флотатор для очистки сточных вод//Водоснабжение и сан. Техника. 2000. №3.

20. Дмитриева Л.П. Очистка жирсодержащих стоков методом напорной флотации с предварительной коагуляцией // Новые методы и сооружения для водоотведения и очистки сточных вод: Межвузовский тематический сборник трудов / ЛИСИ. - Л., 1979. - С.86 – 88.

21. Ксенофонтов Б.С. Проблемы очистки воды. М.: Знание, 1991. 40 с.

22. Ксенофонтов Б.С. Химия и основы технологии очистки воды. М.: МГИЭТ, 1997. 87 с.

23. Водоочистка. Очистка сточных вод нефтепереработки. Подготовка водных систем охлаждения/ Берне Ф., Кордонье Ж.: Пер. с франц.; Под ред. Е.И.Хабаровой и И.А.Роздина. М.: Химия, 1997. 288 с.

24. Ксенофонтов Б.С., Майорова О.В. Особенности очистки поверхностных сточных вод автозаправочных станций// Пятый Международный конгресс «Вода: экология и технология» (Экватэк – 2002). 2002. С. 448 – 449.

25. Ксенофонтов Б.С., Моисеев М.Н. Очистка жиросодержащих сточных вод в комбинированной машине// Там же. С. 452 – 453.

26. Ксенофонтов Б.С., Козодаев А.С. Очистка поверхностных сточных вод автотранспортного предприятия// Там же. С. 453 – 454.

27. А.с. СССР №1076446, кл. С 02 F 3/34, 1982; а.с. №1428809, кл. Е 02 В 15/04, 1988.

28. Новиков Ю.В., Комзолова Н.В. Исследование бактериального препарата «Путидойл», предназначенного для очистки водоемов от нефти// Водные ресурсы. 1992. №2. С. 121 – 123

29. Патент РФ №2041172, кл. 6 С 02 F 3/34, 1993.

30. Позднякова А.И., Хотянович А.В. и др. А.с. №922104, Б.И., 1982, №15.

31. Способ выделения микроорганизмов/ Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 609762 СССР, МКИ2 С 12 В 1/26. Заявлено 03.03.75. Опубликовано 05.06.78. Бюл. № 21.

32. Способ очистки биомассы микроорганизмов от углеводов/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 687834 СССР, МКИЗ С 12 С 11/26. Заявлено 17.03.78.

33. Способ очистки сточных вод от взвешенных веществ и растворенных органических примесей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 994425 СССР, МКИЗ С 02 F 1/46. Заявлено 07.07.78. Опубликовано 07.02.83. Бюл. № 5.

34. Электрофлотационный аппарат/ Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 764387 СССР, МКИ2 С 12 К 1/00.

35. Устройство для препаративного электрофореза биополимеров/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 789720 СССР, МКИЗ G 01 № 27/26. Заявлено 05.02.79. Опубликовано 23.12.80. Бюл. № 47.

36. Способ приготовления питательного субстрата для выращивания дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 758768 СССР, МКИ2 С 12 В 3/08. Заявлено 06.03.79.

37. Способ выращивания дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 780541 СССР, МКИЗ С 12 № 1/38. Заявлено 19.06.79.

38. **Способ** определения степени разрушения клеток микроорганизмов при дезинтеграции их в суспензии/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 790784 СССР, МКИЗ С 12 К 1/00. Заявлено 27.07.79.
39. **Способ** сгущения суспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 831141 СССР, МКИЗ В 01 D 21/01. Заявлено 08.02.79. Опубликовано 23.05.81. Бюл. № 19.
40. **Способ** сгущения суспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 791654 СССР, МКИЗ С 02 F 11/12. Заявлено 18.07.78. Опубликовано 30.12.80. Бюл. № 48.
41. **Аппарат** для сгущения суспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 780851 СССР, МКИЗ В 01 D 21/16. Заявлено 26.01.79. Опубликовано 23.11.80. Бюл. № 43.
42. **Смеситель**/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 850188 СССР, МКИЗ В 01 F 5/04. Заявлено 16.10.79. Опубликовано 30.07.81. Бюл. № 28.
43. **Способ** выращивания дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 803477 СССР, МКИЗ С 12 № 1/26. Заявлено 17.10.79.
44. **Способ** сгущения биосуспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 942390 СССР, МКИЗ С 02 F 1/46. Заявлено 12.03.79.
45. **Способ** сгущения суспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 768421 СССР, МКИЗ В 01 D 21/00. Заявлено 26.01.79. Опубликовано 07.10.80. Бюл. № 37.
46. **Устройство** для исследования кинетики седиментации суспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 807151 СССР, МКИЗ G 01 № 15/04. Заявлено 12.03.79. Опубликовано 23.02.81. Бюл. № 7.
47. **Способ** сгущения суспензий дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 778252 СССР, МКИЗ С 12 С 11/24. Заявлено 30.08.78.
48. **Способ** сгущения микробной биомассы из суспензии активного ила/Ксенофонтов и др. А.с. 814900 СССР, МКИЗ С 02 F 11/12. Заявлено 02.01.79. Опубликовано 23.03.81. Бюл. № 11.
49. **Способ** получения биомассы микроорганизмов/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 816154 СССР, МКИЗ С 12 № 1/26. Заявлено 29.01.79.
50. **Способ** сгущения биосуспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 889634 СССР, МКИЗ С 02 F 11/12. Заявлено 12.09.79. Опубликовано 15.12.81. Бюл. № 46.

51. **Способ** сгущения биосуспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 923964 СССР, МКИЗ С 02 F 11/12. Заявлено 13.09.79. Опубликовано 30.04.82. Бюл. № 16.
52. **Способ** электромагнитного перемешивания/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 967542 СССР, МКИЗ В 01 F 13/08. Заявлено 27.12.79. Опубликовано 23.10.82. Бюл. № 39.
53. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 856215 СССР, МКИЗ С 12 № 1/26. Заявлено 04.04.80.
54. **Способ** осветления питательных сред и их белковых основ/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 919349 СССР, МКИЗ С 12 № 1/00. Заявлено 23.05.80.
55. **Способ** сгущения микробной биомассы из суспензии активного ила/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 906950 СССР, МКИЗ С 02 F 11/14. Заявлено 25.06.80. Опубликовано 23.02.82. Бюл. № 7.
56. **Способ** обработки соломы для получения субстрата при выращивании биомассы микроорганизмов/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 930794 СССР, МКИЗ А 23 К 1/12. Заявлено 05.06.80.
57. **Способ** очистки грунтов/Б.С.Ксенофонтов Заявка №2003, МКИЗ С 02 D 1/14. Заявл. 07.02.03.
58. **Способ** разделения суспензии микроорганизмов/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 884293 СССР, МКИЗ С 12 № 1/26. Заявлено 08.07.80.
59. **Способ** приготовления питательного субстрата для выращивания дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 913732 СССР, МКИЗ С 12 № 1/16. Заявлено 02.10.80.
60. **Способ** выращивания микроорганизмов и культур клеток/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 915465 СССР, МКИЗ С 12 № 13/00. Заявлено 04.10.80.
61. **Способ** управления процессом разделения микробиологической эмульсии/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 921146 СССР. Заявлено 30.09.80.
62. **Способ** выделения углеводов из биомассы микроорганизмов/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 925099 СССР, МКИЗ С 12 № 1/00. Заявлено 23.12.80.

63. Способ разделения эмульсии типа масло в воде/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 999586 СССР, МКИЗ С 10 G 33/04. Заявлено 11.11.80.

64. Способ сгущения суспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 947074 СССР, МКИЗ С 02 F 1/48. Заявлено 23.12.80. Опубликовано 30.07.82. Бюл. № 28.

65. Способ подготовки соломы к скармливанию/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1223439 СССР. Заявлено 25.12.80.

66. Способ получения биомассы микроорганизмов/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 932833 СССР, МКИЗ С 12 P 39/00. Заявлено 21.01.81.

67. Аппарат для выращивания микроорганизмов/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 969714 СССР, МКИЗ С 12 M 1/02. Заявлено 06.02.81. Опубликовано 30.10.82. Бюл. № 40.

68. Способ получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 997450 СССР, МКИЗ С 12 № 1/02. Заявлено 03.06.81.

69. Способ выделения биомассы бактерий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1045622 СССР, МКИЗ С 12 № 1/02. Заявлено 19.06.81.

70. Способ выделения биомассы бактерий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1056635 СССР, МКИЗ С 12 № 1/02. Заявлено 19.06.81.

71. Способ получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 997457 СССР, МКИЗ С 12 № 13/00. Заявлено 03.06.81.

72. Способ сгущения биосуспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1002259 СССР, МКИЗ С 02 F 11/12. Заявлено 13.07.81. Опубликовано 07.03.83. Бюл. № 9.

73. Способ дрожжевания соломы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 974643 СССР, МКИЗ А 23 K 1/00. Заявлено 23.12.80.

74. Способ контроля качества омагничивания воды/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1004853 СССР, МКИЗ G 01 № 27/26. Заявлено 03.02.81. Опубликовано 15.03.83. Бюл. № 10.

75. Способ переработки соломы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1034225 СССР, МКИЗ А 23 K 1/12. Заявлено 25.09.81.

76. Способ обезвреживания газовых выбросов/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1035338 СССР, МКИЗ F 23 G 7/06. Заявлено 10.03.82. Опубликовано 15.08.83. Бюл. № 30.

77. Способ получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1036051 СССР, МКИЗ С 12 № 1/26. Заявлено 06.01.82.

78. Способ получения биомассы дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1022987 СССР, МКИЗ С 12 № 1/22. Заявлено 14.01.82. Опубликовано 15.06.83. Бюл. № 22.

79. Способ приготовления питательного субстрата для выращивания дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1040786 СССР, МКИЗ С 12 № 1/16. Заявлено 12.02.82.

80. Способ получения корма/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1079231 СССР, МКИЗ А 23 K 1/12. Заявлено 18.02.82. Опубликовано 15.03.84. Бюл. № 10.

81. Способ получения биомассы микроорганизмов/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1089116 СССР, МКИЗ С 12 № 1/00. Заявлено 04.11.82. Опубликовано 30.04.84. Бюл. № 16.

82. Способ сгущения суспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1096232 СССР, МКИЗ С 02 F 1/48. Заявлено 23.03.82. Опубликовано 07.06.84. Бюл. № 21.

83. Способ сгущения суспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1096235 СССР, МКИЗ С 02 F 1/54. Заявлено 22.02.82. Опубликовано 07.06.84. Бюл. № 21.

84. Способ получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1114057 СССР, МКИЗ С 12 № 1/00. Заявлено 09.03.83.

85. Способ сгущения суспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1114622 СССР, МКИЗ С 02 F 1/48. Заявлено 30.08.82. Опубликовано 23.09.84. Бюл. № 35.

86. Теплогенератор/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1129476 СССР, МКИЗ F 26 B 23/02. Заявлено 05.07.82. Опубликовано 15.12.84. Бюл. № 46.

87. Смеситель/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1153969 СССР, МКИЗ В 01 F 13/08. Заявлено 16.02.83. Опубликовано 07.05.85. Бюл. № 17.

88. Способ выращивания дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1154947 СССР, МКИЗ С 12 № 1/16. Заявлено 11.02.83.

89. Электролизер для очистки культуральной жидкости/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1205488 СССР, МКИЗ С 02 F 1/46. Заявлено 09.03.83.

90. **Способ** сгущения суспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1287474 СССР, МКИ4 С 02 F 1/48. Заявлено 03.06.83.
91. **Способ** сгущения суспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. СССР 1175880. Заявлено 20.12.83. Опубликовано 30.08.85. Бюл. № 32.
92. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1182816 СССР, МКИ4 С 12 № 1/00. Заявлено 16.11.83.
93. **Способ** биохимической очистки сточных вод/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1189815 СССР, МКИ4 С 02 F 3/34. Заявлено 23.01.84. Опубликовано 07.11.85. Бюл. № 41.
94. **Способ** получения биомассы дрожжей/Б.С.Ксенофонтов Б.С. и др. А.с. 1171520 СССР, МКИ4 С 12 № 1/16. Заявлено 06.02.84. Опубликовано 07.08.85. Бюл. № 29.
95. **Способ** получения биомассы дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1192357 СССР, МКИ4 С 12 № 1/16. Заявлено 18.04.84.
96. **Способ** выделения и очистки липидов тканей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1193157 СССР, МКИ4 С 11 В 1/00. Заявлено 24.05.84. Опубликовано 23.11.85. Бюл. № 43.
97. **Аппарат** для выращивания микроорганизмов/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1206299 СССР, МКИ4 С 02 М 1/04. Заявлено 02.11.82. Опубликовано 23.01.86. Бюл. № 3.
98. **Противонакипное** магнитное устройство/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1212969 СССР, МКИ4 С 02 F 1/48. Заявлено 25.04.84. Опубликовано 23.02.86. Бюл. № 7.
99. **Способ** выделения метанола из биологических тканей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1213067 СССР, МКИ4 С 11 В 1/00. Заявлено 25.07.84. Опубликовано 23.02.86. Бюл. № 7.
100. **Способ** получения протеина/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1243350 СССР, МКИ4 С 12 № 1/00. Заявлено 24.05.84.
101. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1251527 СССР, МКИ4 С 12 № 1/16. Заявлено 09.08.84.
102. **Способ** обезвоживания суспензии микроорганизмов/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1263710 СССР, МКИ4 С 12 № 1/00. Заявлено 26.12.84. Опубликовано 15.10.86. Бюл. № 38.

103. **Способ** сгущения суспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1269797 СССР, МКИ4 В 01 D 21/01. Заявлено 25.04.84. Опубликовано 15.11.86. Бюл. № 42.
104. **Способ** сгущения суспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1275004 СССР, МКИ4 С 02 F 1/48. Заявлено 26.01.84. Опубликовано 07.12.86. Бюл. № 45.
105. **Способ** выращивания дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1285773 СССР, МКИ4 С 12 № 1/16. Заявлено 26.12.84.
106. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1285779 СССР, МКИ4 С 12 № 1/26. Заявлено 28.04.84.
107. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1307842 СССР, МКИ4 С 12 № 1/02. Заявлено 26.12.84.
108. **Verfahren** zur Bestimmung des Zerstörungsgrades von Mikroorganismenzellen bei ihrer Desintegration in Suspension Patentschrift 258139 DDR. МКИ4 С 12 К 1/00. Заявлено 29.10.84. Опубликовано 13.07.88.
109. **Verfahren** zur Isolierung der Biomasse von Bakterien Patentschrift 258140 DDR. МКИ4 С 12 № 1/02. Заявлено 29.10.84. Опубликовано 13.07.88.
110. **Verfahren** zur Isolierung der Biomasse aus einer Kulturflüssigkeit Patentschrift 258339 DDR. МКИ4 С 12 № 1/02. Заявлено 31.10.84. Опубликовано 20.07.88.
111. **Способ** приготовления питательного субстрата для выращивания дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1267778 СССР, МКИ4 С 12 № 1/16. Заявлено 17.01.85.
112. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1267779 СССР, МКИ4 С 12 № 1/16. Заявлено 20.02.85.
113. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1413945 СССР, МКИ4 С 12 № 1/02. Заявлено 20.03.85.
114. **Способ** осветления белковых основ питательных сред/Г.П.Головкина, Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1285767 СССР, МКИ4 С 12 № 1/00. Заявлено 05.04.85.
115. **Способ** очистки биомассы дрожжей от липидов/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1285768 СССР, МКИ4 С 12 № 1/00. Заявлено 05.04.85.

116. **Способ** получения биомассы /Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1412286 СССР, МКИ4 С 12 № 1/02. Заявлено 05.04.85.
117. **Способ** получения биомассы /Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1345624 СССР, МКИ4 С 12 № 1/00. Заявлено 15.04.85.
118. **Способ** получения биомассы /Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1314666 СССР, МКИ4 С 12 № 1/26. Заявлено 07.06.85.
119. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1361999 СССР, МКИ4 С 12 № 1/02. Заявлено 10.12.85.
120. **Устройство** для электроочистки жидкости/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1325020 СССР, МКИ4 С 02 F 1/46. Заявлено 26.02.83. Опубликовано 23.07.87. Бюл. № 27.
121. **Способ** получения биомассы/ Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1352936 СССР, МКИ4 С 12 № 1/16. Заявлено 10.12.85.
122. **Способ** получения биомассы /Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1427825 СССР, МКИ4 С 12 № 1/26. Заявлено 24.12.85.
123. **Способ** очистки нефтяного дистиллята/Е.С.Алентьева, Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1474099 СССР, МКИ4 С 02 F 1/48. Заявлено 22.04.86. Опубликовано 23.04.89. Бюл. № 15.
124. **Способ** сгущения тонкодисперсных суспензий/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1375573 СССР, МКИ4 С 02 F 11/12. Заявлено 26.05.86. Опубликовано 23.02.88. Бюл. № 7.
125. **Способ** получения биомассы дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1381980 СССР, МКИ4 С 02 № 1/26. Заявлено 22.04.86.
126. **Способ** получения биомассы дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1387401 СССР, МКИ4 С 12 № 1/26. Заявлено 14.08.86.
127. **Буровой** раствор/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1487435 СССР, МКИ4 С 09 К 7/02. Заявлено 22.08.86.
128. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1389277 СССР, МКИ4 С 12 № 1/16. Заявлено 25.09.86.
129. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1389280 СССР, МКИ4 С 12 № 1/26. Заявлено 25.09.86.
130. **Способ** получения органического удобрения/В.П.Гайденко, Б.С. Ксенофонтов и др. А.с. 1532551 СССР. Заявлено 10.12.86. Опубликовано 30.08.89. Бюл. № 48.
131. **Способ** получения биомассы дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1519246 СССР, МКИ4 С 12 № 1/26. Заявлено 25.05.87.

132. **Буровой** раствор/В.Н.Александров, Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1548204 СССР, МКИ5 С 09 К 7/02. Заявлено 22.06.87. Опубликовано 07.03.90. Бюл. № 9.

133. **Способ** определения токсичности кормового продукта/О.И.Валихова, Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1651206 СССР, МКИ5 G 01 № 33/02. Заявлено 23.12.87. Опубликовано 23.05.91. Бюл. № 19.

134. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1512128 СССР, МКИ4 С 12 № 1/16. Заявлено 27.01.88.

135. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1579048 СССР, МКИ5 С 12 № 1/16. Заявлено 11.06.88.

136. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1566719 СССР, МКИ5 С 12 № 1/16. Заявлено 13.07.88.

137. **Способ** получения биомассы дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1655106 СССР, МКИ5 С 12 № 1/16. Заявлено 26.10.88.

138. **Флотационная** установка/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1635556 СССР, МКИ5 С 12 М 1/09. Заявлено 21.11.88.

139. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1584378 СССР, МКИ5 С 12 № 1/16. Заявлено 30.12.88.

140. **Способ** получения биомассы дрожжей/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1609141 СССР, МКИ5 С 12 № 1/26. Заявлено 10.02.89.

141. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. А.с. 1692143 СССР, МКИ5 С 12 № 1/16. Заявлено 05.05.89.

142. **Способ** получения биомассы/Б.С.Ксенофонтов и др. микроорганизмов А.с. 1639059 СССР, МКИ5 С 12 № 1/26. Заявлено 19.10.89.

143. **Способ** насыщения жидкости кислородом/Н.Ф.Мещеряков, Б.С. Ксенофонтов и др. А.с. 1723768 СССР, МКИ5 С 02 F 1/24. Заявлено 18.06.90.

144. **Способ** флотации сточных вод/Б.С.Ксенофонтов и др. Патент РФ 1835802. Заявлено 9.07.90.

145. **Способ** аэрации жидкостей/Н.Ф.Мещеряков, Б.С.Ксенофонтов и др. Заявка 4905233/26 СССР. Положительное решение от 27.11.91.

146. **Установка** флотации сточных вод/Б.С.Ксенофонтов и др. Заявка 4921233 СССР. Положительное решение от 5.11.91.

147. Способ обработки избыточного активного ила/Б.С.Ксенофонтов и др. Заявка 4921519/26. МКИ5 С 02 F 11/12. Заявлено 26.03.91.

148. Способ флотации частиц/Н.Ф.Мещеряков, Б.С.Ксенофонтов и др. Патент РФ, заявка 5034068/03. МПК6 В 03 D 1/00. Заявлено 25.03.92.

149. Флотационная колонна /Н.Ф.Мещеряков, Б.С.Ксенофонтов и др. Заявка 5048866/03, МПК6 В 03 D 1/24. Заявлено 18.06.92. Положительное решение от 10.07.95.

150. Установка для насыщения жидкости кислородом/Н.Ф.Мещеряков, Б.С.Ксенофонтов и др. Патент РФ 2026822, МПК6 С 02 F 1/24. Заявлено 28.06.91. Опубликовано 20.01.95. Бюл. № 2.

151. Аппарат для электрической обработки пульпы/И.П.Тарало, Б.С.Ксенофонтов и др. Патент РФ 2093271.

152. Способ очистки сточных вод/Б.С.Ксенофонтов и др. Патент РФ, заявка N94016575. Заявлено 4.05.94. Положительное решение от 25.01.96.

153. Флотационная машина для очистки сточных вод/Б.С.Ксенофонтов и др. Патент РФ. Заявка 96100512. Заявлено 10.01.96. Положительное решение от 17.06.96.

154. Способ очистки сточных вод/Б.С.Ксенофонтов и др. Патент РФ. Заявка 96107962. Заявлено 22.04.96. Положительное решение от 25.08.97.

155. Устройство для обработки сточных вод/Б.С.Ксенофонтов и др. Свидетельство на полезную модель №18948 от 10 августа 2001 года.

156. Установка для очистки грунтов Б.С.Ксенофонтов и др. Патент на полезную модель №31131 Рег. 1.04.03. Опубл. 20.07.2003.

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Основные способы флотационной очистки сточных вод	4
Глава 2. Теоретические основы флотационного процесса и разработка новых типов флотационной техники	12
2.1. Разработка теоретических основ флотации как многостадийного процесса	12
2.2. Определение концентраций флотируемых ингредиентов	16
2.3. Разработка новых типов флотационных машин и аппаратов для очистки сточных вод.....	22
Глава 3. Флотационная очистка сточных вод от фосфоросодержащих частиц	30
3.1. Извлечение фосфоросодержащих частиц из отработанных водных потоков.....	30
3.2. Флотационное извлечение из воды фосфоросодержащих частиц путем предварительного их взаимодействия с микроорганизмами активного ила	37
Глава 4. Физико-химические особенности флотации дрожжевых и бактериальных клеток.....	42
4.1. Экспериментальное исследование флотируемости клеток микроорганизмов.....	42
4.2. Интенсификация флотационного процесса разделения биосуспензий путем из предварительной обработки реагентами	47
4.3. Доизвлечение дрожжей из отработанной культуральной жидкости электрофлотацией.....	50
Глава 5. Очистка нефтесодержащих сточных вод.....	55
5.1. Очистка поверхностных сточных вод.....	55
5.2. Очистка конденсата турбоустановок от нефтепродуктов с использованием пневматической флотационной машины	61
5.3. Очистка нефтесодержащих стоков электрофлотацией	64
Глава 6. Флотационная очистка жиросодержащих стоков.....	70
6.1. Очистка стоков после мойки тары пищевых производств.....	70
6.2. Очистка сточных вод мясокомбинатов и мясоперерабатывающих производств	80
6.3. Очистка сточных вод от остатков клея.....	93

Глава 7. Флотационное сгущение активного ила	96
7.1. Флотационные аппараты для сгущения избыточного активного ила	96
7.2. Разработка флотационного способа сгущения избыточного активного ила с использованием углекислого газа	104
7.3. Интенсификация флотационного сгущения активного ила очистных сооружений с использованием реагентов	114
7.4. Исследование возможности использования флотации в процессе биологической очистки сточных вод	118
Глава 8. Создание замкнутой системы водопользования в технологии мойки машин	124
8.1. Краткая характеристика существующих очистных систем	125
8.2. Обоснование проектной мощности опытно-промышленной установки	128
8.3. Характеристика сточных вод после мойки автомобилей	129
8.4. Общая схема локальной очистки и характеристика проектируемых сооружений	130
8.5. Расчет оборудования	131
Глава 9. Примеры расчетов очистных сооружений	138
9.1. Очистные сооружения пищевого производства	138
9.2. Меры по охране окружающей среды	148
Глава 10. Возможности комплексного решения проблемы очистки воды и почвы от нефтепродуктов	149
Глава 11. Очистка почвы и грунтов	155
11.1. Проблема очистки почвы и грунтов от нефтезагрязнений	155
11.2. Обезвреживание почвы и грунтов от нефтезагрязнений с использованием нативных микробиологических препаратов	172
11.3. Очистка осадков сточных вод	181
11.4. Очистка почвы и грунтов флотацией	194
Заключение	206
Список литературы	207

Лаборатория
**ПЕРЕРАБОТКИ И БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
 УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ**
 ФГУП «ГосНИИсинтезбелок»
 совместно с
 кафедрой «Экологическая и промышленная
 безопасность»
 МГТУ им. Н.Э. Баумана

совмещая тридцатилетний опыт в области очистки воды с современными технологиями и собственными запатентованными научно-техническими разработками, **выполняет работы по разработке:**

- технологий и проектированию технологических линий водоподготовки и очистки сточных вод (бытовые, локальные, промышленные очистные установки, системы и сооружения);
- проектов реконструкции очистных сооружений;
- нестандартного оборудования для систем водоподготовки и очистки сточных вод;
- технологии обезвоживания и обработки осадков сточных вод;
- комплекса мероприятий по очистке грунтов и почвы.

Руководитель лаборатории – д-р техн. наук, проф.
 Ксенофонтов Борис Семенович

109004, Москва, Б. Коммунистическая, 27; тел./ф. 912-6409
 E-mail: borisflot@mail.ru

Основные результаты научной деятельности коллектива лаборатории переработки и биотехнологической утилизации отходов ФГУП «ГосНИИсинтезбелок» за 1971 – 2004 гг.

Открытие рассасывающего эффекта влияния электромагнитного поля при наложении его на неравновесную многокомпонентную жидкую систему на примере электрофореза белков (Доклады Академии наук СССР, 1974, т. 215, №4; 1976, т. 227, № 1, авт. св. СССР № 967542).

Установление основных параметров электромагнитного поля, при которых происходит вращение ферромагнитных частиц в направлении, противоположном вращению низкочастотного электромагнитного поля. Разработка электромагнитных смесителей (Авт. св. СССР № 850188; № 967542; № 1153969; № 1269797).

Разработка концепции флотации как многостадийного процесса с рассмотрением подобия этого процесса сложной обратимой химической реакции первого порядка (Промышленность горнохимического сырья, 1987, № 4; Теоретические основы химической технологии, 1991, т. 25, № 4).

Установление нового явления влияния углекислого газа на интенсификацию флотационного процесса – увеличения скорости подъема флотокомплексов частица–газовый пузырек и сжатия образующегося пенного слоя примерно в 2 – 2,5 раза (патент РФ № 2108974).

Разработка интенсификации флотационного процесса с использованием эффекта «свободного пространства» (Авт. св. СССР № 1375573).

Разработка новых способов и устройств для очистки сточных вод и сгущения осадков с использованием комбинированных флотационных машин и аппаратов (Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков. М.: Химия. 1992; Флотационная очистка сточных вод. М.: Новые технологии. 2003).

Разработка новых флотационных и комбинированных (биофлотационных) технологий очистки почвы и грунтов (пол. рш. по заявке № 2003101675; патент на полезную модель РФ № 31131).

Руководитель лаборатории – д-р техн. наук, проф.

Ксенофонтов Борис Семенович

109004, Москва, Б. Коммунистическая, 27; тел./ф. 912-6409

E-mail: borisflot@mail.ru



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
С ЕЖЕМЕСЯЧНЫМ ПРИЛОЖЕНИЕМ
Издается с января 2001 года

Журнал освещает современное состояние, тенденции и перспективы развития таких областей науки и технологий, как промышленная безопасность, охрана труда, экологическая безопасность и чрезвычайные ситуации с акцентом на техногенные опасности.

Основные тематические направления журнала

- > Научные и методические основы безопасности жизнедеятельности
- > Промышленная безопасность
- > Безопасность труда
- > Экологическая безопасность
- > Чрезвычайные ситуации и гражданская защита
- > Воздействие негативных факторов на человека и окружающую среду
- > Мониторинг производственной среды и среды обитания
- > Методы и средства защиты человека и среды его обитания
- > Региональные проблемы безопасности
- > Экономика и управление в области безопасности жизнедеятельности
- > Образование и подготовка кадров в области техносферной безопасности
- > Справочно-информационные данные (законодательные, правовые и нормативные акты, материалы конференций и совещаний и т.д.)

Журнал предназначен для руководящих работников, научных работников, преподавателей и специалистов промышленных предприятий, научных академических и отраслевых организаций, учебных заведений, а также практических работников служб охраны труда, окружающей среды, защиты в чрезвычайных ситуациях и гражданской обороны.

Журнал включен в перечень изданий, рекомендуемых ВАК РФ.

Публикация материалов в журнале бесплатная.

Журнал распространяется только по подписке, оформить которую можно в любом почтовом отделении, через подписные агентства или непосредственно в редакции.

Подписные индексы: по каталогу «Роспечать» - 79963,
по Объединенному каталогу «Пресса России» - 83776.

Адрес редакции для авторов и подписчиков:

✉ 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4

Редакция журнала «Безопасность жизнедеятельности»

☎ Телефоны: (095) 269-53-97; 269-53-96; 269-55-10

☎ Факс: (095) 269-55-10 ✉ E-mail: bjd@novtex.ru <http://novtex.ru/bjd>

Научное издание

КСЕНОФОНТОВ Борис Семенович

ОЧИСТКА ВОДЫ И ПОЧВЫ ФЛОТАЦИЕЙ

Редактор Б.И. Антонов

Обложка художника Т.Н. Погореловой

Сдано в набор 15.03.04.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 13,72.

Подписано в печать 22.04.04.

Гарнитура Times.

Уч.-изд. л. 14,4.

Формат 60×88/16.

Печать офсетная.

Тираж 500 экз.

Издательство «Новые технологии»,
107076 Москва, Стромынский пер., д. 4

Отпечатано ООО «Связь-Принт» в типографии «Радио и связь».
127473 Москва, 2-й Щемиловский пер., 5/4, стр.1



Ксенофонов Борис Семенович –

доктор технических наук, заведующий лабораторией ФГУП "Государственный научно-исследовательский институт биосинтеза белковых веществ", профессор кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 230 научных работ, в том числе 6 монографий.

Открыл рассасывающий эффект электромагнитного поля при его влиянии на неравновесную жидкую систему. Разработал основы теории флотации как многостадийного процесса, использование которого позволило интенсифицировать флотацию с применением газов с различной растворимостью в воде. Разработал новый способ интенсификации флотационного процесса с использованием эффекта "свободного пространства".