

Прочтено  
1987 г.

628

14-36 А. И. МАЦНЕВ

ОЧИСТКА  
СТОЧНЫХ  
ВОД  
ФЛОТАЦИЕЙ

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ  
обозначенного здесь срока


Тип. им. Коглякова, 5 — 5 000 000, 21 75 г, Арт. ЛГ-057-01-530,  
Цена 0 р. 53 к. за 1000 шт.

10578

ИЗДАТЕЛЬСТВО «БУДІВЕЛЬНИК»  
КИЕВ — 1976

М36  
6С9.3

УДК 628.3

Мащев А. И. Очистка сточных вод флотацией. Киев, «Будівельник», 1976, стр. 132.  
В книге излагаются физико-химические основы очистки сточных вод флотацией, дается классификация способов флотационной обработки сточных вод и осадков.  
Приводятся технологические схемы очистки различных сточных вод с использованием флотации, рекомендации по их применению, конструкции флотокамер и данные для расчета флотационных установок; обобщен имеющийся в отечественной и зарубежной практике опыт по флотационной обработке сточных вод, сообщается о результатах исследований.  
Книга рассчитана на инженерно-технических работников, проектировщиков и эксплуатационников, работающих в области очистки сточных вод, и может быть полезна студентам специальностей «Водоснабжение и канализация» и «Технология очистки природных и сточных вод».  
Рисунков 56, таблиц 34, библиография из 114 позиций.

Редакция литературы по коммунальному хозяйству

М 30210-005 89-76  
М203(04)-76

© Издательство «Будівельник», 1976

#### ВВЕДЕНИЕ

При современных темпах и масштабах роста промышленности огромное значение приобретают мероприятия, предотвращающие загрязнение воздуха, почвы и воды и способствующие дальнейшему оздоровлению окружающей среды. Это строительство водопроводов и канализаций, внедрение и разработка новых способов обезвреживания и нейтрализации промышленных выбросов.

Перед специалистами, занимающимися проектированием и строительством канализационных очистных сооружений, стоит большая задача: добиться при снижении стоимости обработки 1 м<sup>3</sup> загрязненных сточных вод такого эффекта очистки, который бы полностью соответствовал требованиям действующих «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами». Для этого необходимы разработка новых, более совершенных методов и технологических схем очистки сточной жидкости, интенсификация работы действующих очистных сооружений, повышение точности и надежности технологических расчетов на основе глубокого теоретического и экспериментального изучения процессов очистки сточных вод.

Флотация как метод очистки сточных вод от нерастворимых загрязнений и некоторых растворенных веществ должна найти более широкое распространение.

В табл. 1 приведены некоторые результаты очистки различных сточных вод флотацией как по данным автора, так и других исследователей [84]. Флотацией можно очищать также стоки механических и сажевых заводов, красильных фабрик или цехов, сточные воды прачечных и цинковых производств [89, 92].

Таблица 1

## Примерные результаты очистки сточных вод флотацией

Сточные воды	Содержание загрязнений в стоках, мг/л	Снижение после флотации, проц.	БПК или ХПК стоков, мг/л	Снижение после флотации, проц.
Нефтеперерабатывающих заводов	411	95	—	—
Мясоконсервного производства	1400	85,6	1225	67,3
Бумажных фабрик	1180	97,5	210	62,6
От производства растительного масла	890	94,8	3048	91,6
От консервирования фруктов и овощей	1350	80	790	60,0
Мясоваренных заводов	392	91,5	309	91,6
Клеяваренных заводов	542	94,3	1822	91,8
Населенных мест (предварительная очистка)	252	69,0	325	49,2
Промывочно-пропарочных станций	2500	90	—	—
Кожевенных заводов	3790	95	2000	60
Фабрик первичной обработки шерсти	5600	98,5	11710	80
Меховых фабрик	1985	88,5	4300	63,9
Заводов технических кож	600	85	—	—
Заводов искусственного волокна	416	96	527	50

Долгое время этот метод не был широко распространен. В прошлом он успешно использовался в бумажной промышленности, откуда его вытеснили более совершенные установки. Позднее его стали применять и исследовать в основном на нефтепромысловых и нефтеперерабатывающих предприятиях и там, где сточные воды содержали отходы нефти, продукты ее переработки или смолы.

В последнее десятилетие интерес к практическому использованию этого метода сильно возрос. Исследована и доказана возможность очистки флотацией сточных вод целого ряда предприятий, таких как заводы

искусственного волокна, кожевенные, механические, мясокомбинаты и др. [34, 35, 39, 50, 69].

При незначительном времени пребывания сточных вод во флотационных установках (20—40 мин) обеспечивается весьма высокий эффект очистки (до 90—98%) от нерастворимых примесей и взвешенных веществ. Это предопределило перепекутивность метода и возможность его использования для очистки сточных вод как промышленных, так и бытовых. Очистка флотацией сточных вод сопровождается одновременно такими явлениями как аэрация, снижение концентрации поверхностно-активных веществ, бактерий и микроорганизмов, что способствует дальнейшей очистке сточных вод, улучшает их общее санитарное состояние, а иногда может иметь самостоятельное значение и явиться решающим фактором при выборе метода предварительной очистки.

Существенным преимуществом флотации перед отстаиванием является получение флотационного шлама с более низкой влажностью (90—95%), чем влажность осадка, образующегося при отстаивании (95—99,8%). Поэтому шлама получается в 2—10 раз меньше, чем осадка при отстаивании.

Рост количества и ассортимента синтетических поверхностно-активных веществ, выпускаемых в стране и находящихся все большее применение в промышленности и быту, способствует широкому использованию флотации для очистки стоков. Если раньше, как правило, при флотационной обработке сточных вод приходилось применять такие дорогие реагенты, как смоляной или животный клей, канифоль, формалин, ксантан, аэрофлот, то сейчас имеются более дешевые и более флотационно-активные реагенты, содержание которых как в промышленных, так и в бытовых стоках непрерывно возрастает, в силу чего для многих категорий сточных вод дополнительного введения реагентов не требуется.

Возникает необходимость и в понижении содержания СПАВ в сточных водах, обуславливающих вспенивание жидкости в преаэраторах и аэротенках, замедление и угнетение биохимических процессов при очистке

стоков. Спуск синтетических детергентов в естественные водоемы регламентируется санитарными и рыбохозяйственными нормами. Многочисленные исследования по очистке сточных вод от различных синтетических поверхностно-активных веществ указывают на весьма незначительное удаление при отстаивании и плохую биохимическую окисляемость некоторых из них.

В то же время, даже при обычном ведении флотационного процесса может быть достигнуто заметное снижение концентрации поверхностно-активных веществ (на 40—60% в зависимости от интенсивности аэрации, пенообразования и концентрации нерастворенных загрязнений). При интенсивной аэрации и обеспечении хорошего вспенивания снижение концентрации поверхностно-активных веществ может достигать 80—90% [22, 27, 38, 101].

Все это говорит о том, что флотация может и должна найти более широкое применение в практике очистки сточных вод.

Приводимые ниже схемы и результаты очистки различных сточных вод флотацией могут дать исходный материал для решения вопроса о применении этого метода для очистки как рассмотренных категорий сточных вод, так и близких по составу, лечь в основу улучшения санитарного состояния водоемов.

#### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФЛОТАЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Флотация является сложным физико-химическим процессом, который нашел широкое применение в обогащении полезных ископаемых.

Глубокие специальные теоретические изыскания в области флотационной очистки воды или сточных вод почти не проводились. Перенесение теоретических закономерностей флотационного процесса из практики обогащения в практику очистки сточных вод вполне допустимо, однако необходимо учитывать, во-первых, специфические особенности состава сточных вод, во-вторых, принципиально иные задачи, решаемые при очистке сточных вод. Если при обогащении решается задача отделения полезных минералов от пустой породы или разделения минералов, то при очистке сточных вод ставится задача наиболее полного удаления всех нерастворимых примесей и взвешенных веществ.

Извлечение тонкоизмельченных частиц из жидкости, в которой они находятся во взвешенном или коллоидальном состоянии, происходит в результате прилипания частиц к пузырькам газа (воздуха), образующимся в жидкости или введенным в нее (пенная флотация\*). Прикрепившиеся к пузырькам воздуха частицы всплывают на поверхность, образуя пенный слой с более высокой концентрацией частиц, чем в исходной жидкости.

Кроме того, в пенном продукте попутно наблюдается и повышение концентрации некоторых растворенных веществ и отдельных ионов. В особых случаях обработки сточных вод это может рассматриваться как самостоятельная задача, решаемая с помощью флотации.

Таким образом, при очистке сточных вод наряду с флотацией в сложной гетерогенной системе, т. е. системе, состоящей из двух или более фаз, может иметь значение и флотация в простой гетерогенной системе, состоящей из одной фазы. В первом случае из сточной жидкости будут удаляться главным образом нерастворенные частицы и коллоиды совместно с некоторым количеством

\* В связи с тем, что в последние годы появился ряд новых терминов, таких как «ионная флотация», «флотация коллоидов» и др., в данной работе под термином «пенная флотация» мы будем понимать извлечение нерастворенных загрязнений, в том числе и коллоидов, и извлечение ионов и молекул растворенных веществ за счет адсорбции их на поверхности раздела жидкость—газ будем называть «пенная сепарация».

растворенных высокомолекулярных соединений — поверхностно-активных веществ, во втором — только молекулы поверхностно-активных веществ (в основном высокомолекулярных) и некоторые ионы.

При сложном механико-химическом составе сточной жидкости в зависимости от соотношения концентраций нерастворенных и растворенных флотирующихся загрязнений, а также от того, ка-

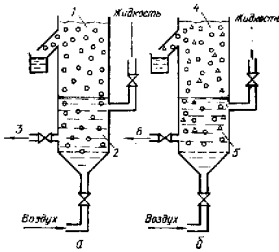


Рис. 1. Схемы флотационного процесса в гетерогенной системе:

а — в простой (пенная сепарация); б — в сложной (пенная флотация); 1 — пенный продукт с повышенной концентрацией высокомолекулярных соединений; 2 — жидкость с растворенными высокомолекулярными соединениями; 3 — отвод жидкости с пониженной концентрацией высокомолекулярных соединений; 4 — пенный продукт с повышенным содержанием взвешенных частиц; 5 — жидкость со взвешенными частицами; 6 — отвод жидкости, освобожденной от взвешенных частиц.

кие загрязнения мы стремимся в данном случае выделить, можно представлять рассматриваемый процесс то как пенную флотацию, то как пенную сепарацию. Схематически оба эти случая представлены на рис. 1.

Требования к свойствам пенного слоя также несколько различны при обогащении и очистке сточных вод. Если при обогащении чрезмерная устойчивость пены нежелательна ввиду характера последующих операций над ней, то при очистке сточных вод желательно иметь более устойчивую пену, чтобы накапливая ее на поверхности получать шлам с меньшей влажностью. Вместе с тем пена должна прочно удерживать всплывающие частицы, не допуская их выпадения обратно в жидкость.

Как указано [54], флотационные процессы вообще определяются как процессы молекулярного прилипания частиц флотируемого материала к поверхности раздела двух фаз, чаще всего газа и воды, обусловленные избытком свободной энергии поверхностных пограничных слоев, а также особыми поверхностными явлениями смачивания, которые возникают в местах соприкосновения трех фаз (жидкость—газ—твердое тело), т. е. по периметру смачивания. Прилипание частицы, находящейся в жидкости, к поверхности газового пузырька возможно только тогда, когда имеет место несмачивание или плохое смачивание частицы данной жидкостью. Смачивающая способность жидкости зависит от ее полярности. С возрастанием полярности способность жидкости смачивать твердые тела уменьшается. Вода смачивает все тела, кроме

некоторых «жирных» органических тел, аполярных по своей структуре. Внешним проявлением способности жидкости к смачиванию является величина поверхностного натяжения ее на границе с газом, а также разность полярностей на границе жид-

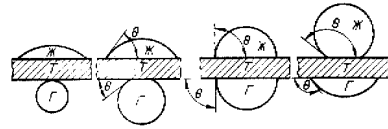


Рис. 2. Различные случаи смачивания.  
Т — твердое тело; Г — газ; Ж — жидкость;  $\Theta$  — краевой угол.

кости—твердое тело. Чем меньше поверхностное натяжение жидкости и разность полярностей, тем лучше тело смачивается ею.

Степень смачивания жидкостью твердой поверхности (при полном смачивании) может быть выражена количественно величиной краевого угла смачивания  $\Theta$ , который, как показано на рис. 2, принято отсчитывать в сторону жидкой фазы.

Этот угол замеряется нанесенной на сухую поверхность каплей воды или пузырьком воздуха, подведенным под помещенную в жидкость поверхность твердого тела.

На степень смачивания (или иначе говоря, на силу прилипания пузырьков к частицам) оказывает влияние характер взаимодействия между частицей и водой, частицей и растворенным в воде кислородом. Взаимодействие с кислородом может привести к повышению смачиваемости за счет образования окислов, а с диполями воды приводит к образованию гидратной оболочки (толщиной до 0,1 мкм), что также повышает смачиваемость и препятствует закреплению пузырьков. Образование гидратных оболочек возможно в тех случаях, когда энергия связи между самими диполями воды меньше энергии связи между диполями воды и поверхностью твердой частицы. Очень тонкие гидратные оболочки (от 3 до 400 Å) не препятствуют закреплению пузырьков [12, 13, 64].

Таким образом, смачивание определяется свойствами жидкости и зависит от свойств твердого тела. По отношению к воде твердые тела могут быть гидрофобными, гидрофильными или занимать какое-то промежуточное положение. К первым относятся вещества, имеющие аполярное строение молекул и в силу этого неспособные гидратироваться. Такие вещества обладают наименьшей смачиваемостью и поэтому легко флотируются. Чем меньше гидратирована частица, тем легче разрывается гидратная оболочка при приближении частицы к пузырьку газа (воздуха),

и частица прилипает к пузырьку, поскольку такое состояние соответствует минимуму свободной энергии системы.

Гидрофильные вещества с полярным строением молекул в воде сильно гидратируются, а поэтому хорошо смачиваются водой и не могут флотироваться. Вещества с гетерополярным строением

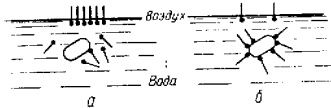


Рис. 3. Адсорбция:

а — реагента-формователя на поверхности раздела «вода — воздух»; б — реагента-собираателя на поверхности раздела «вода — твердое тело».

молекул (полярно-неполярные) способны гидратироваться со стороны полярной группы. В то же время со стороны углеводородной группы они являются гидрофобными и способны слипаться с пузырьками газа. В процессах флотации эти вещества играют особо важную роль.

Для получения флотационного эффекта в воде требуется предварительная гидрофобизация гидрофильных частиц. Достигается она путем ввода в жидкость поверхностно-активных реагентов-собираателей с полярно-неполярными молекулами, которые, адсорбируясь на поверхности гидрофильных частиц, ориентируются в адсорбционном слое неполярными углеводородными группами в окружающую среду, делая частицы гидрофобными и создавая тем самым необходимые условия для их флотации (рис. 3).

Наиболее распространенные в практике флотации реагенты-собиратели могут быть разделены по природе солидофильных групп (групп, закрепляющихся на частичке) на несколько типов, отличающихся по своим флотационным свойствам:

масла и смеси различных соединений, являющихся продуктами переработки нефти, угля, сланцев, дерева (нефть, керосин, мазут, смолы и др.);

кислоты с углеводородными радикалами (жирные кислоты и их соли, олеат натрия, нафтеновые кислоты, олеиновая, стеариновая и пальмитиновая кислоты и др.);

соединения, содержащие в полярной части двухвалентную серу (меркаптаны, ксантогенаты, дитиокарбонаты, тридиокарбонаты, дитиофосфаты и др.);

соединения, содержащие в полярной части анион серной кислоты (алкилсульфаты, алкилсульфонаты и др.);

соединения, содержащие в полярной группе азот или фосфор (амины, соли аммония, этаноамин, соли пиридина).

Повышение гидрофобности и флотиремости материала может осуществляться не только воздействием реагентов, но и некоторыми другими путями, например, сорбцией молекул растворенных газов на поверхности частичек. Такая сорбция должна в той или иной степени уменьшать общую гидратированность поверхности

частичек. Однако вследствие того, что гидратная оболочка теряет свои растворяющие свойства [14] и тем больше, чем сильнее поляризация воды, диффузия молекул газов к поверхности гидратированной частицы затруднена. Исследования [20, 21] показывают, что активизирующее действие растворенных газов на флотацию наиболее заметно в присутствии реагентов-собираателей. Особую роль при этом играют пузырьки воздуха, выделяющиеся из раствора (при его насыщении воздухом) на поверхности частички. Эти микропузырьки в какой-то степени дегидратируют ее, способствуя прилипанию более крупного пузырька и флотации частицы. При небольших размерах частицы могут флотироваться и за счет образовавшихся на них микропузырьков.

Теоретические и экспериментальные данные [20, 21] показывают, что пузырьки, возникающие из насыщенного раствора, образуются мгновенно и преимущественно на подготовленных к флотации частицах, а не спонтанно, поскольку работа, затрачиваемая на образование такого же пузырька на твердой поверхности. Вероятность образования пузырька на поверхности частицы тем выше, чем лучше они подготовлены к флотации.

Пузырьки, образующиеся на твердой поверхности, тем мельче, чем больше насыщен раствор воздухом. Вначале они достигают величины всего в несколько микрон, затем увеличиваются за счет коалесценции друг с другом или с пузырьками, возникшими спонтанно. Это имеет существенное значение при выборе способа флотации, указывая на определенные преимущества флотации при выделении воздуха из раствора.

В практике очистки сточных вод часто приходится иметь дело с флотацией хлопьев скоагулированных коллоидов, коагулянтов и гидроокисей металлов. Вероятность прилипания пузырьков газа к хлопьям и прочность сцепления их между собой тем выше, чем меньше времени прошло с момента образования хлопьев.

Наши наблюдения показывают, что «флотационная активность» хлопьев по мере их «старения» заметно падает, а спустя несколько часов они вовсе могут потерять способность флотироваться. Наилучшими с точки зрения флотации хлопьев коагулированных коллоидов и гидроокисей являются условия, когда процессы выделения пузырьков газа из раствора и образования хлопьев происходят одновременно, что имеет место, например, при электрокоагуляции — флотации.

Исследованиями установлено, что размер нужных для флотации пузырьков увеличивается с увеличением размера частиц при их одинаковой гидрофобности, т. е. прилипание частиц малого размера соответственно к пузырькам малого размера более вероятно, чем к пузырькам большого размера [4]. В условиях пониженной гидрофобности вообще более вероятным будет прилипание мелких пузырьков. При увеличении размера частиц, а также при понижении их гидрофобности создаются условия, благопри-

яствующие образованию не минерализованных пузырьков, и аэрофлокулы.

Большое значение для флотационного процесса имеет образование пузырьков определенной крупности и их сохранение (стабилизация). Последнее достигается путем ввода в жидкость реагентов-пенообразователей, повышающих дисперсность пузырьков и способствующих их устойчивости. Пенообразователи адсорбируются на поверхности раздела жидкость—газ, понижая поверхностное натяжение жидкости на нем. Полярная часть реагента-собирателя реагирует с молекулами воды, а аполлярная часть ориентируется в газовую фазу (см. рис. 3).

Концентрируясь на поверхности раздела жидкость—газ, вспениватель уменьшает поверхностную энергию раздела фаз, способствуя тем самым, с одной стороны, стабилизации пузырьков, а с другой,— улучшая процесс прилипания к пузырькам твердых частиц.

К пенообразователям относятся сосновое масло (или тяжелый пиридин), креозол, ксиленол, фенолы и некоторые синтетические моющие вещества — алкилсульфонат, алкиларилсульфонат, алкилсульфат натрия (моющее средство «Прогресс») и др.

Многие флотореагенты, особенно синтетические, обладают и собирательными, и вспенивающими свойствами.

Имеется еще одна группа флотореагентов-регуляторов, активизирующих или подавляющих флотацию того или иного вещества (известь, сода, серная кислота, сернистый натрий, медный и цинковый купорос и др.). В практике очистки сточных вод их специальное применение (за исключением создания определенной рН среды, имеющей в ряде случаев значение для флотации) вряд ли может иметь место. Однако следует учитывать, что иногда возможно ухудшение эффекта флотации определенного ингредиента (загрязнения) в сточных водах из-за присутствия реагента-подавителя.

Процесс прилипания частиц загрязнения к пузырькам воздуха является основным актом флотации, а одной частицы к пузырьку — элементарным актом флотации.

Прилипание загрязнений к пузырькам происходит двумя путями: при столкновении частицы с пузырьком и при возникновении пузырька из раствора на поверхности частицы.

На основании термодинамического и кинетического анализов процессов прилипания [7] можно сделать выводы, что чем гидрофобнее поверхность частички, тем вероятнее ее прилипание к воздушному пузырьку при их столкновении; сила столкновения и время контакта могут быть тем меньше, чем гидрофобнее частица и чем гидрофобнее ее поверхность, тем вероятнее образование на ней пузырьков газов, выделяющихся из раствора.

Это еще раз подчеркивает необходимость тщательной подготовки (гидрофобизации) частиц загрязнений перед флотацией их.

При очистке сточных вод приходится иметь дело преимуще-

ственно с очень мелкими, шламовыми частицами. Для их флотации требуются очень мелкие воздушные пузырьки (размером в несколько микрои и высокая степень насыщенности ими сточных вод. При хорошей подготовке частиц к флотации (гидрофобизации) будет происходить флокуляция их путем сцепления аполлярных групп реагентов, находящихся на поверхности частиц, флокуляция создает лучшие условия для флотации шламовых частиц. Для укрупнения частиц целесообразно применять коагуляцию, особенно в тех случаях, когда наряду с мелкими частицами надо сфлотировать и более крупные, флотация которых в присутствии шламов будет ухудшаться.

Создание во всем объеме жидкости, где взвешенные вещества находятся в мелкодисперсном состоянии, воздушной эмульсии является необходимым условием для успешного прилипания частиц к пузырькам воздуха. При этом значительный процент частичек флотируется за счет пузырьков воздуха, выделившихся непосредственно на их поверхности, остальные — посредством слипания с пузырьками воздуха, выделившимися или на поверхности других частичек, или спонтанно. В стесненном состоянии воздушно-водяной эмульсии этот процесс протекает весьма интенсивно.

Тонкие шламовые частицы, если они достаточно флотоактивны, покрывают тонким слоем поверхность воздушных пузырьков, образуя своеобразные шламовые зерна, более крупные к таким зернам прилипают плохо. Наружные обкладки пузырьков способствуют их устойчивости, прочности и продолжительности существования пенного слоя, что при очистке сточных вод имеет существенное значение, так как позволяет получать пенный продукт (шлам) с более низкой влажностью за счет накопления его в течение некоторого времени на поверхности жидкости.

Пены, получающиеся при флотации, могут иметь различное строение — агрегатное, пленочное или пленочно-структурное. При флотации сточных вод наиболее вероятно образование пленочно-структурных пен, которые содержат большое количество воды, особенно в нижних слоях, а устойчивость и подвижность их изменяется в зависимости от количества флотореагентов и характера загрязнений, выносимых в пенный слой.

При подъеме шламовых зерен в пенный слой начинаются процессы флокуляции, т. е. агрегирование отдельных минерализованных пузырьков в аэрофлокулы и их коалесценция, в результате чего образуются крупные шламовые агрегаты (диаметром 2—3 мм) из мелких пузырьков с налившимися на них частицами взвесей. Соприкасаясь вплотную своими наружными обкладками, агрегаты постепенно слипаются друг с другом, одновременно стремясь подняться вверх в силу своей плавучести. Находящаяся в просветах вода стекает вниз, уменьшая тем самым общую влажность шлама. Шлам после полного объединения зерен представляет собой одну сплошную массу с включенными в нее пузырь-

ками воздуха или других газов. Через 5—10 ч накопления шлама содержание в нем твердого вещества увеличивается с 1—2% до 6—10%, пузырьки воздуха занимают 20—30% общего объема.

Следует отметить, что шлам по достижении им влажности около 90% в дальнейшем уплотняется и обезвоживается значительно медленнее, так как прослойки воды, заключенные между частицами, имеют толщину, исчисляемую несколькими микронами, и, как показали исследования [12], теряют обычные гидравлические свойства, что затрудняет стекание воды. Кроме того, в шламах сточных вод содержится значительный процент коллоидальных частиц, которые легко гидратируются, но воду отдают плохо.

На устойчивость пен влияют молекулы реагентов-пенообразователей и частицы флотируемых материалов. Наилучшим образом стабилизируют пену поверхностно-активные вещества, образующие в воде коллоидные и полукolloидные растворы (сапонины и др.).

Реагенты, образующие истинные растворы (низшие спирты, скипидары и др.), и те, которые практически нерастворимы в воде (веросин и др.), при больших дозах резко уменьшают устойчивость пен.

Стабилизирующее действие сфлотированных частиц тем выше, чем более они гидрофобны, мельче и чем больше их форма приближается к плоской, чешуйчатой. Присутствие реагента, уменьшающего силу прилипания частиц к пузырькам, будет отрицательно сказываться и на устойчивости пены.

Таким образом, кинетику флотационного процесса характеризуют следующие факторы:

- сила прилипания пузырька к частице, определяемая величиной краевого угла и размерами пузырька;
- кинетика разрыва промежуточной жидкой прослойки, приводящей к образованию тонкой пленки, отличной по своим свойствам от жидкости в объеме;
- размер частиц;
- сорбция газов на поверхности частиц и химическое взаимодействие газов (в частности, кислорода) с частицами;
- изменение величины краевого угла с течением времени;
- влияние реагентов на величину краевого угла и на устойчивость пузырьков и флотационных пен;
- условия зарождения и образования пузырьков на границе раздела жидкость — твердое тело за счет выделения растворенных газов;
- механизм минерализации пузырьков в загрязненной воде и пенном слое.

Из-за многообразия факторов, определяющих течение флотационного процесса, трудно руководствоваться только теоретическими предпосылками в выборе вероятного режима и эффекта флотационной очистки сточных вод. В каждом отдельном случае необходима экспериментальная проверка флотируемости загряз-

нений, содержащихся в сточных водах, в лабораторных условиях или на небольших полупроизводственных установках (ниже приводятся некоторые их схемы). Такие исследования позволяют выявить некоторые закономерности очистки сточных вод флотацией, учет которых необходим для создания условий, обеспечивающих полноту и высокую скорость изъятия загрязнений из сточных вод.

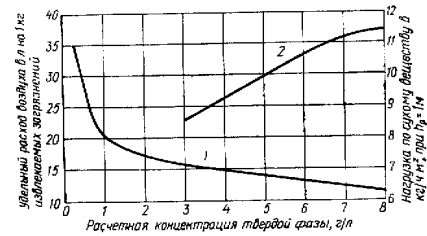


Рис. 4. Графики зависимости удельного расхода воздуха и нагрузки по сухому веществу от концентрации твердой фазы:

1 — удельный расход воздуха в л на 1 кг извлекаемых загрязнений; 2 — максимально допустимая нагрузка по сухому веществу в кг/ч·м².

Количество воздуха, подаваемого на флотацию в виде мелких пузырьков, является одним из условий, обеспечивающих успех флотации: недостаток или избыток его снижают эффект данного процесса. На рис. 4 представлен график, показывающий связь между концентрацией нерастворенных примесей и удельным расходом воздуха, количеством воздуха в л, отнесенным к 1 кг извлекаемых загрязнений, необходимым для достижения максимально возможного эффекта флотации при очистке данного вида сточных вод. Как видно из графика, удельный расход снижается с возрастанием концентрации нерастворенных загрязнений, что вполне объяснимо, если рассмотреть вероятность столкновения и закрепления пузырьков и частиц как функцию их количества в единице объема. Следует отметить, что приведенные удельные расходы в несколько раз превышают количество воздуха, найденное из условий создания необходимой для всплывания плотности твердovоздушной фазы (1—1,6 л/кг). Следовательно, некоторый избыток воздуха необходим. При очистке сточных вод в большинстве случаев стремятся к длительному накоплению шлама на поверхности, поэтому возможно возникновение явлений, ухудшающих эффект флотации: избыток подаваемого воз-



духа смонтируется под слоем плотного шлама, нижняя граница скопления воздушных пузырьков опускается, достигает области гидравлических возмущений, создаваемой впускными устройствами, и начинается интенсивный вынос пузырьков и частиц с осветленной водой. Такое явление может возникнуть при очистке сточных вод с концентрацией взвесей выше 2,5—3 г/л, т. е. при содержании воздуха выше 40—45 л/м<sup>3</sup>. Во избежание этого следует ограничить высоту слоя накапливаемого шлама (не более 0,5 м) и нагрузку по сухому веществу, приходящуюся на 1 м<sup>2</sup> поверхности водного зеркала флотационной камеры, т. е. между площадью камеры и ее рабочей глубиной должно быть строго определенное соотношение, зависящее от качества очищаемой жидкости. На рис. 4 дан также график максимально допустимых нагрузок по сухому веществу в кг/ч·м<sup>2</sup> при рабочей глубине камеры 1 м. При увеличении рабочей глубины максимально допустимые нагрузки будут возрастать прямо пропорционально возрастанию глубины. Экспериментально и теоретически установлено на минимально допустимая продолжительность флотации для очистки высококонцентрированных стоков. Так, при флотации стоков с концентрацией взвесей более 7 г/л продолжительность флотации должна быть не менее 45 мин; при 4—7 г/л — не менее 30 и при 3 г/л — не менее 20 мин.

Изучение процесса уплотнения всплывшего шлама и прироста его объема во времени позволяет получить ряд расчетных данных, необходимых для проектирования и конструирования флотационных камер: продолжительность накопления шлама на поверхности и его объем к моменту уборки, влажность шлама и др.

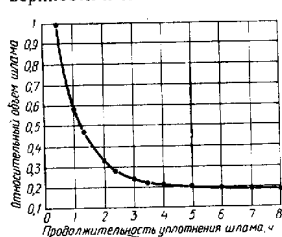


Рис. 5. График уплотнения флотационных шламов во времени.

На основании анализа графиков уплотнения шламов, образующихся при флотации мелкими пузырьками различных сточных вод, можно установить некоторые общие закономерности и составить обобщенный график (рис. 5). Наиболее интенсивное уплотнение происходит в первые два часа, затем процесс замедляется и после четырех часов идет совсем медленно. За единицу на графике принят объем шлама к моменту, когда все пузырьки воздуха поднялись в пенный слой, что в проточных установках соответствует расчетной продолжительности флотации, т. е. в среднем 30 мин. При помощи этого графика выведены формулы, позволяющие определить объем шлама, накопившегося к любому моменту (в пределах 8 ч), после начала работы установки или после его сброса.

16

Так, объем шлама  $W_{0,5-4}$ , м<sup>3</sup>, накопившегося в течение 4 ч, и продолжительность накопления  $t_{ш}$ , ч, определяем по формулам:

$$W_{0,5-4} = \frac{B_{0,5} \vartheta C Q_{гр,ч} t_{ш}}{20000(100 - p_{0,5})(0,405 - 0,2t_{ш})\gamma}; \quad (1)$$

$$t_{ш} = \frac{B_{0,5}(100 - p_{сгр}) - B_1 0,81(100 - p_{0,5})}{0,4B_1(100 - p_{0,5})}; \quad (2)$$

при накоплении шлама более 4 ч

$$W_{4,5-8} = \frac{B_{0,5} \vartheta C Q_{гр,ч} (1,8 - 0,4t_{ш})}{20000(100 - p_{0,5})\gamma}; \quad (3)$$

$$t_{ш} = \frac{1,8B_{0,5}(100 - p_{сгр})}{2B_1(100 - p_{0,5}) - 0,4B_{0,5}(100 - p_{сгр})}; \quad (4)$$

где  $C$  — расчетная концентрация взвешенных веществ, мг/л;  $\vartheta$  — эффект извлечения взвешенных веществ в долях единицы;

$Q_{гр,ч}$  — средний часовой расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;

$p_{0,5}$  — влажность шлама после получасового накопления в зависимости от расчетной концентрации взвешенных веществ:

$C$ , г/л	0,5	1,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
$p_{0,5}$ , проц.	98,5	98,25	97,75	97,25	96,75	96,5	96,0	95,5	95,0

$p_{сгр}$  — влажность шлама к расчетному моменту, составляющему 94%;

$B_{0,5}$ ,  $B_1$  — коэффициент увеличения объема шлама за счет содержащегося в нем воздуха после получасового накопления (1,55) и к расчетному моменту (при  $t < 3$  ч  $B_1 = 1,25\%$ , при  $t_{ш} > 3$  ч  $B_1 = 1,2\%$ );

$\gamma$  — объемный вес сухого вещества, шлама, т/м<sup>3</sup>.

Предлагаемые формулы позволяют с достаточной точностью ( $\pm 2,5\%$ ) определить объем шлама и продолжительность его накопления. Значение влажности сбрасываемого шлама ( $p_{сгр} = 94\%$ ) принято из условий возможности гидравлической транспортировки его на дальнейшую обработку. Если значение  $t_{ш}$ , определенное по формуле (2), окажется больше 4 ч, то лучше пользоваться второй группой формул. При вычислении  $t_{ш}$  по формуле (4) значение его может оказаться слишком большим или отрицательным. Это говорит о том, что получить шлам с желаемой средней влажностью невозможно, и необходимо предусматривать сброс только верхних, наиболее обезвоженных слоев.

2-1-1514

## МЕТОДЫ ФЛОТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД

### Классификация способов флотационной обработки

Практикой очистки сточных вод и других загрязненных жидкостей флотации, а также экспериментальными исследованиями выработаны различные конструктивные схемы, приемы и методы, отличающиеся друг от друга рядом признаков.

Следует выделить пенную флотацию, пенную сепарацию, пленочную и масляную флотации. Два последних вида при очистке сточных вод практически не применяются. Пенная флотация может применяться как для извлечения взвешенных и нерастворенных веществ, так и для снижения концентрации некоторых растворенных загрязнений, а пенная сепарация — для удаления растворенных веществ, что обусловит в том или ином случае определенный технологический режим процесса и соответствующее его конструктивное оформление. Но поскольку в реальных условиях будут иметь место, как правило, оба процесса, то четко разграничить методы флотации по этому признаку трудно.

Различные приемы флотации отличаются также конструктивным оформлением установок и способом разделения жидкой и всплывающих фаз. Так, флотационные камеры могут состоять из одного или из двух (приемная и отстойная части) отделений. В однокамерных установках в одном и том же отделении происходит одновременно насыщение жидкости пузырьками воздуха и всплывание флотирующихся загрязнений; в двухкамерных — в приемной части образуются пузырьки и слипаются с нерастворенными частицами, в отстойной — всплывает шлам (пена) и жидкость осветляется. Под продолжительностью флотации во втором случае часто понимают продолжительность отстаивания, необходимую для достижения желаемого эффекта очистки. Существуют также многокамерные флотационные установки (см. рис. 30).

Кроме того, встречаются различные способы подачи воды на флотацию, применяются различные флотореагенты и др.

Наиболее существенные принципиальные отличия способов флотации, применяемых для очистки сточных вод, связаны с насыщением жидкости пузырьками воздуха или газа желаемой крупности, поэтому и классифицировать их удобнее именно по этому признаку. Можно выделить следующие способы флотационной обработки сточных вод:

флотация с выделением воздуха из раствора — вакуумные, напорные и эрлифтные установки;

флотация с механическим диспергированием воздуха — импеллерные, безнапорные и пневматические установки;

флотация с подачей воздуха через пористые материалы; электрофлотация; биологическая и химическая флотации.

Ниже подробно рассматриваются перечисленные приемы флотационной обработки сточных вод.

### Флотация с выделением воздуха из раствора

Этот способ довольно широко применяется в практике очистки сточных вод, содержащих очень мелкие частицы загрязнений, поскольку позволяет получать самые мелкие пузырьки воздуха. Сущность его заключается в создании пересыщенного раствора воздуха в сточной жидкости. Выделяющийся из такого раствора воздух образует микропузырьки, которые и флотируют содержащиеся в сточной жидкости загрязнения.

В зависимости от того, как создается пересыщенный раствор воздуха в воде, рассматриваемый способ флотации можно подразделить на вакуумную, напорную или эрлифтную. Последняя в той или иной мере может быть отнесена также к способу флотации с механическим диспергированием воздуха, поскольку мелкие пузырьки воздуха при этом образуются двойным путем.

Минимальные размеры пузырьков воздуха при некотором допущении могут быть определены на основании закона Генри

$$P_n = kC, \quad (5)$$

где  $P_n$  — парциальное давление воздуха в пузырьке;

$k$  — константа Генри, зависящая от свойств газа и его температуры;

$C$  — концентрация растворенного воздуха вокруг пузырька. Давление в пузырьке также равно

$$P_n = P_{cp} + \frac{2\sigma_{г.ж}}{R_{мин}}, \quad (6)$$

где  $P_{cp}$  — давление в среде, окружающей пузырек;

$\sigma_{г.ж}$  — поверхностное натяжение на границе газ—жидкость;

$R_{мин}$  — радиус пузырька.

Из (5) и (6) получим

$$R_{мин} = \frac{2\sigma_{г.ж}}{kC - P_{cp}}, \quad (7)$$

но  $P_{cp}$  также характеризуется некоторым  $kC_1$ . Тогда

$$R_{мин} = \frac{2\sigma_{г.ж}}{k(C - C_1)}, \quad (8)$$

где  $C - C_1$  определяет величину пересыщения раствора. Это уравнение при условии начальной насыщенности раствора можно представить в виде

$$R_{мин} = \frac{2\sigma_{г.ж}}{P - P_1}, \quad (9)$$

где  $P - P_1$  — перепад давлений.

Из приведенных уравнений видно, что для образования мелких пузырьков следует понизить поверхностное натяжение на границе вода—воздух ( $\sigma_{г.ж}$ ) и увеличить перепад давления  $P - P_1$  или величину пересыщения  $C - C_1$ .

Количество воздуха, которое должно выделиться из пересыщенного раствора для обеспечения необходимого эффекта флотации, можно определить экспериментально; обычно оно составляет 1—5% от объема воды. При этом определяется либо величина разрежения (при вакуумной флотации), либо начальное давление (при напорной флотации). Количество воздуха в случае напорной флотации можно подсчитать по формуле

$$y = (P - 1)b - (Pb - b_a)e^{-k_T t}, \quad (10)$$

где  $b$  — концентрация воздуха, соответствующая полному насыщению при данной температуре и атмосферном давлении, мг/л;

$b_a$  — растворимость азота в воде при данной температуре и атмосферном давлении, мг/л ( $b$  и  $b_a$  могут быть определены по графику на рис. 6);

$k_T$  — константа скорости растворения газа в воде, 1/мин,

$$k_T = k_{20} \frac{b_{20}}{b_T}, \quad (11)$$

где  $k_{20}$  — по данным П. А. Базякиной равняется 0,35;

$t$  — продолжительность насыщения жидкости воздухом, мин.

Поскольку растворимость газа в воде зависит от температуры, которая в сточных водах не регулируется, продолжительности насыщения, то определять нужный перепад давлений следует при определенной продолжительности насыщения  $t$  (обычно  $t$  составляет 0,5—2 мин). В дальнейшем при подборе насосов и оборудования давление и продолжительность насыщения могут быть в случае необходимости изменены в соответствии с формулами

$$P = \frac{y + b - b_a e^{-k_T t}}{b(1 - e^{-k_T t})} \quad (12)$$

или

$$t = \frac{\lg(Pb - b_a) - \lg[(P - 1)b - y]}{0,434 k_T}. \quad (13)$$

Вакуумные установки. Преимуществами вакуумной флотации перед другими способами насыщения сточных вод воздухом является то, что образование пузырьков газа, их слипание с частицами загрязнений и всплывание агрегатов пузырьков — частица происходит в спокойной среде, вероятность обратного процесса (разрушения агрегатов) сводится к минимуму, и затраты энергии на насыщение жидкости воздухом, на образование и измельчение пузырьков, т. е. на весь процесс флотации минимальны.

К числу недостатков следует отнести незначительную и огра-

ниченную степень насыщения стоков пузырьками газа, что сужает диапазон применения вакуумной флотации и не позволяет применять ее для жидкостей со сравнительно высокой концентрацией (более 250—300 мг/л) нерастворенных загрязнений, способных флотироваться.

Вторым недостатком является необходимость сооружения герметически закрытых резервуаров, в которых можно осуществ-

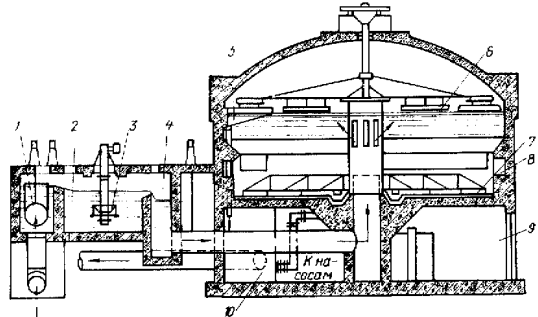


Рис. 7. Схема вакуумного флотатора:

1 — регулятор поступления сточной жидкости; 2 — аэрационная камера; 3 — аэратор; 4 — деаэратор; 5 — лоток для приема шлама; 6 — поверхностные скребки; 7 — донные скребки; 8 — кольцевой желоб для отвода очищенной воды; 9 — техническое помещение; 10 — шламоприемник.

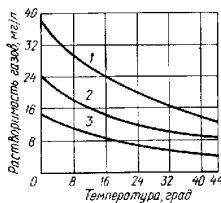


Рис. 6. График зависимости растворимости воздуха, кислорода и азота в воде от температуры: 1 — воздух; 2 — азот; 3 — кислород.

лять частичный вакуум, с размещением внутри них скребковых механизмов, что сопряжено с определенными конструктивными и, главное, эксплуатационными трудностями. Любой, даже очень мелкий, ремонт и осмотр механической части невозможен без полного выключения флотационной камеры из работы.

Вакуумная флотационная установка, предназначенная для предварительной очистки бытовых сточных вод, представлена на рис. 7 и описана в работах [86, 98, 99].

Представляет она собой герметический резервуар диаметром 10,5 м и высотой 3,6 м (глубина воды 3,1 м) с купольным перекрытием. Под днищем резервуара имеется технологическое помещение, где размещаются подающие и отводящие трубы, шлам- и грязеприемник, насосы для откачки шлама и осадка и пульт управления. Сточная жидкость, поступающая на флотацию, предварительно насыщается воздухом в течение 1—2 мин в аэрационной камере механическим аэратором. Мэйс [99], исследовавший различные способы насыщения стоков воздухом перед вакуумной флотацией, нашел, что наилучшим, а соответственно, и более эф-

фективным является метод, когда в аэрационную камеру воздушно-водяная эмульсия подается насосом. Из камеры аэрации сточные воды переливаются в деаэратор для удаления нерастворившегося воздуха.

Затем под действием разрежения сточные воды поднимаются во флотационную камеру, где оказываются под пониженным давлением. Растворившийся при атмосферном давлении воздух выделяется в виде микропузырьков и выносит часть загрязнений в пенный слой. Скапливающаяся пена вращающимися скребками отводится в пеносборник, а оттуда — в грязеприемник. Кроме поверхностных, флотационная камера оборудована еще донными скребками для удаления осадка, выпавшего на дно. Осветленная вода собирается кольцевым желобом, отделенным от камеры дырчатой перегородкой, и направляется на дальнейшую обработку.

Разрежение во флотационной камере составляет 225—300 мм рт. ст. и первоначально создается вакуум-пасосом, который в дальнейшем может работать непрерывно или периодически, откачивая сравнительно небольшое количество газа, выделяющегося во флотационной камере. Чтобы осветленная вода могла вытекать из резервуара с пониженным по сравнению с атмосферным давлением, следует, чтобы разность геодезических отметок уровней воды во флотационной камере и сооружении, куда поступает осветленная вода, была больше величины разрежения, выраженной в метрах водяного столба (желательная разность отметок 8—10 м). В противном случае необходимо устанавливать насосы для откачки осветленной жидкости из флотационной камеры. Поэтому использование вакуумной флотации ограничено, а более целесообразна напорная или безнапорная флотация.

Продолжительность пребывания сточной жидкости в камере флотации около 20 мин. Средняя нагрузка на 1 м<sup>2</sup> водного зеркала составляет около 220 м<sup>3</sup>/сут.

На рис. 8 представлена вакуумная флотационная установка конструкции Савалла—Штоффэнгер [88].

Флотационная камера выполнена в виде горизонтального отстойника с понижением дна к месту выпуска осветленной жидкости и шлама. Предварительное насыщение сточной жидкости воздухом осуществляется воздушным эжектором. Скребки для сгребания пены отсутствуют. Движение всплывшего шлама к отводящему лотку происходит за счет горизонтального перемещения жидкости на поверхности, создаваемого конструкцией выпуска и принудительным отсосом шлама из сборного лотка специальным насосом, действием которого одновременно поддерживается разрежение в камере. Для того чтобы налипание шлама на стенки не препятствовало его продвижению к сборному лотку, камера оборудована трубопроводами с отверстиями. Через них некоторое количество сточной жидкости подается на стены и смывает налипающие загрязнения.

Эта конструкция проще, чем предыдущая, и может применяться, если образующийся на поверхности шлам легкий и подвижный. Размеры и производительность одной такой камеры ограничиваются горизонтальной протяженностью пути, по которому шлам может перемещаться без помощи скребков.

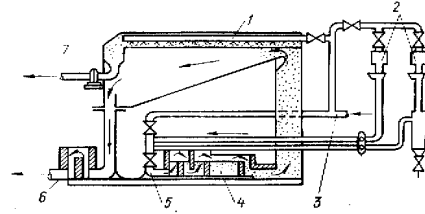


Рис. 8. Схема вакуумного флотатора типа «Савалла—Штоффэнгер»:

1 — дырчатая труба для обмытия стенок; 2 — дозаторы реагентов; 3 — подача на очистку; 4 — смесь-деаэрактор; 5 — воздушный эжектор; 6 — выпуск осветленной жидкости; 7 — выпуск шлама.

**Напорные установки.** Напорная флотация обладает более широкими возможностями при очистке сточных вод, чем вакуумная, хотя последняя несомненно экономичнее, так как позволяет в более широких пределах регулировать степень переизбытка и подбирать ее в соответствии с желаемым эффектом

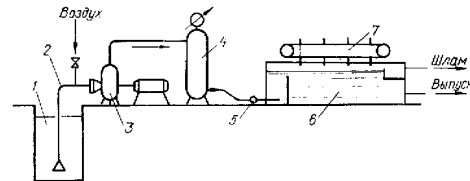


Рис. 9. Схема напорной флотации:

1 — приемный резервуар; 2 — всасывающий трубопровод; 3 — насос; 4 — напорный бак; 5 — регулятор давления; 6 — флотационная камера; 7 — поверхностные скребки.

флотации. Этим способом можно очищать стоки с концентрацией взвесей до 4,0—5,0 г/л и более. При напорной флотации (схема на рис. 9) сточные воды во флотационную камеру подаются насосом, который также насыщает жидкость воздухом.

Из приемного резервуара сточные воды забираются насосом и перекачиваются через напорный резервуар в приемное отделение флотационной камеры. На всасывающем трубопроводе насоса имеется патрубок для подсоса воздуха. Воздух, поступив через насос в напорный резервуар, в результате повышения давления растворяется в жидкости. Объем напорного резервуара рассчитывается на необходимую продолжительность насыщения (от 0,5 до 5 мин). Если насосы расположены далеко от флотационной камеры, что характерно для сооружений большой производительности, необходимая продолжительность насыщения стоков воздухом может быть обеспечена в напорных трубопроводах, тогда устройство напорного бака излишне. Вообще, для сокращения объема бака следует учитывать время пребывания сточных вод в напорном трубопроводе.

Для различных случаев очистки насос создает давление от 1,5 до 4 атм и выше, чаще всего 2—3 атм. При таком давлении и температуре стоков 20—25° С растворяется от 30 до 50 л воздуха на 1 м<sup>3</sup> жидкости. Этого количества воздуха достаточно, чтобы после резкого снижения давления в приемной части флотационной камеры образовалась воздушно-водяная эмульсия за счет выделившихся из раствора микропузырьков, которые прилипают к частичкам взвеси и других нерастворенных, способных флотироваться, примесей, вынесут большинство их в пенный слой.

Собирающаяся на поверхности флотационной камеры пена (шлам) скребковым транспортером сгоняется к шламоотводящему лотку. Осветленная вода удаляется из нижней части камеры.

Если количество воздуха, пропускаемое через насос, превышает 2—3% от количества перекачиваемой жидкости, то это отрицательно сказывается на работе насоса. В таком случае впуск воздуха в сточную жидкость осуществляется воздушным эжектором, установленным либо на напорном трубопроводе, либо на перемычке, соединяющей напорный трубопровод со всасывающим. Используют эти схемы даже в тех случаях, когда насос работает на предельной высоте всасывания или под заливом. Следует отметить, что впуск воздуха во всасывающий трубопровод непосредственно или через эжектор ускорит время его растворения по сравнению с расчетным по формулам (12), (13), что объясняется диспергирующим действием вихревых потоков, создаваемых рабочим колесом центробежного насоса.

Существенное влияние на режим подачи воздуха в насос, а следовательно, на его устойчивую работу и долговечность оказывает изменение вакуумметрической высоты всасывания, вызванное колебаниями уровня воды в приемном резервуаре. Эти колебания бывают настолько значительными, что могут вызвать срыв вакуума и остановку насоса. Поэтому, если колебания уровня воды в приемном резервуаре превышают 1 м, то рекомендуется автоматическое регулирование подачи воздуха в насос в зависимости от уровня воды в приемном резервуаре.

24

Сами флотационные камеры могут быть различных конструкций. Флотационная ловушка системы Свен-Пендерсена, применявшаяся для очистки стоков бумажной промышленности, показана на рис. 10, а флотационные камеры системы «Аэрофлотор» и «Вольф-Швимшгоффенгер» — на рис. 11, 12 [88].

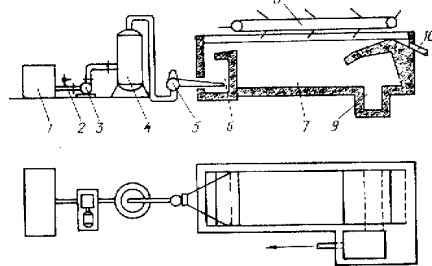


Рис. 10. Схема флотационной ловушки Свен-Пендерсена: 1 — приемный бак; 2 — патрубок для подсоса воздуха; 3 — насос; 4 — напорный бак; 5 — регулятор давления; 6 — приемная камера; 7 — флотационная камера; 8 — скребковый транспортер; 9 — выпуск очищенной жидкости; 10 — выпуск шлама.

Схемы подачи воды во флотационную камеру (рис. 13, а, б) могут отличаться от приведенной на рис. 9, где перекачке под давлением подвергается вся сточная жидкость, т. е. через напор-

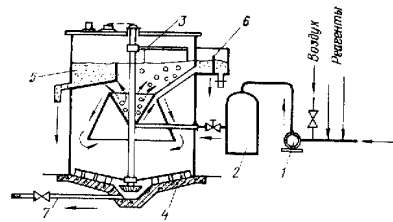


Рис. 11. Схема флотатора «Аэрофлотор»: 1 — насос; 2 — напорный бак; 3 — поверхностьные скребки; 4 — донные скребки; 5 — шламоприемник; 6 — регулятор уровня воды на выпуске; 7 — трубопровод выпуска осадка.

ный резервуар может подаваться только часть сырой воды или часть очищенной (схема с рециркуляцией), которая смешивается с остальным стоком в приемной камере [91].

25

В ряде работ, относящихся к флотационной очистке нефте- и сточных вод, указывается, что количество воды, подаваемой насосами, может составлять от 20 до 50% общего количества сточных вод.

Если осуществляется предварительная коагуляция сточной воды, используют схемы с рециркуляцией или частичной перекачкой.

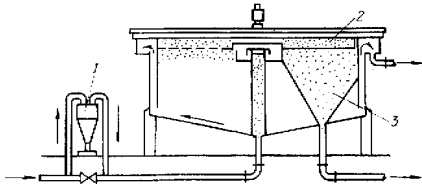


Рис. 12. Схема флотатора системы «Вольф-Швиммштоф-Фингер»:  
1 — насос; 2 — скребки; 3 — шламоприемник.

кой сырого стока, что не вызывает разрушения хлопьев в насосе.

В ряде случаев такие схемы дают достаточный эффект очистки и снижают энергетические затраты на перекачку. Но возможен и иной подход к данному вопросу. Если концентрация загрязнений в сточных водах велика, обычная (прямая) напорная флотация из-за ряда причин может оказаться малоэффективной. В то же время такие способы флотации как им-

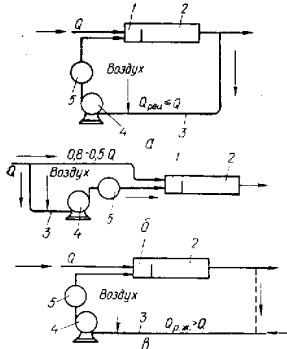


Рис. 13. Схемы подачи воды насосами при напорной флотации:  
а — с рециркуляцией; б — с частичной подачей воды насосом; в — с рабочей жидкостью; 1 — приемное отделение; 2 — флотационное отделение; 3 — всасывающий трубопровод; 4 — насос; 5 — напорный бак.

пеллерная, пневматическая, с подачей воздуха через пористые плиты (см. ниже), обеспечивающие высокую степень насыщения жидкости воздухом, малоэффективны при флотации коллоидных и хлопьевидных частиц. Тогда может оказаться приемлемой напор-

ная флотация с рабочей жидкостью (см. рис. 13, схема в). Рабочая жидкость (любая относительно чистая вода, имеющаяся на очистных сооружениях, в том числе очищенная на флотационной установке) в количестве, установленном для достижения необходимого удельного расхода воздуха, насыщается воздухом. Объем ее должен быть более 1 на 1 объем очищаемого стока.

Таким образом, следует различать схемы с обычной рециркуляцией, когда рециркуляционный расход не превышает расхода неочищенной сточной жидкости, и с подачей (рециркуляцией) рабочей жидкости, расход которой больше расхода неочищенной сточной жидкости.

В последнем случае улучшение флотации происходит как за счет сохранения хлопьевидной структуры загрязнений, так и за счет более быстрого всплывания агрегатов в менее стесненных условиях. Рабочую жидкость используют для очистки стоков, имеющих высокую концентрацию нерастворенных примесей (до нескольких граммов в литре), как, например, во флотационных илоуплотнителях.

Условия, необходимые для получения нужного или максимального эффекта очистки (количество воздуха или давление, обеспечивающее достаточное насыщение воздухом, добавление флотореагентов и др.), должны быть в каждом отдельном случае определены предварительно опытным путем на лабораторных флотационных установках. В некоторых лабораторных исследованиях по флотации, проводившихся автором, вода подавалась и насыщалась воздухом небольшим поршневым насосом [67]. Такой непрерывный способ технологического анализа имеет свои преимущества перед проведением опыта в статических условиях.

Другая лабораторная установка, использованная автором (рис. 14), представляет собой отрезок винилпластовой трубы со смотровым стеклом, где осуществляется насыщение жидкости воздухом. Через край в верхней части в трубу заливается испытываемая жидкость. Давление в трубе создается от трубопровода сжатого воздуха или ручным насосом. Воздух по воздушной трубке поступает в нижнюю часть трубы. Снизу имеется край для выпуска сточной жидкости, насыщенной воздухом. Сточная жидкость отбирается в мерный цилиндр с коническим дном, где происходит всплывание загрязнений и оседание на дно несплотившихся частиц. При различных условиях насыщения, создаваемых в напорном резервуаре, определяется продолжительность отстаивания, скорость обезвоживания всплывшего шлама и эффект очистки, параметры для флотационной обработки исследуемых сточных вод напорным способом.

Эрлифтные установки. Жидкость в них насыщается микропузырьками воздуха за счет растворения его под повышенным давлением с последующим выделением при понижении такового. Большую роль, чем при напорной флотации, здесь играет процесс механического дробления воздуха при впуске его в аэра-

тор и при движении воздушных пузырьков вверх. Затраты энергии в 2—4 раза меньше, чем в напорных установках и при механическом диспергировании воздуха.

Самы установки также дешевле других, но недостаток их — это необходимость размещения флотокамер на большой высоте.

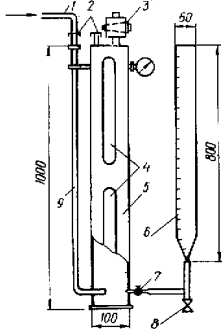


Рис. 14. Схема лабораторной установки для исследований по напорной флотации:

1 — трубопровод сжатого воздуха; 2 — иппели; 3 — кран для заливки жидкости; 4 — смотровые стекла; 5 — напорный резервуар; 6 — мерный цилиндр (флотационная камера); 7 — выпускной кран; 8 — спусковой кран; 9 — воздушная трубка.

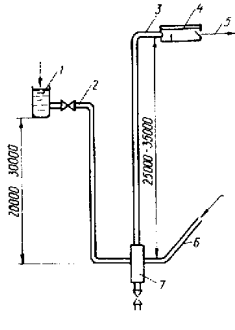


Рис. 15. Схема эрлифтной флотационной установки:

1 — питательный бак; 2 — подающий трубопровод; 3 — труба эрлифта; 4 — флотационная камера; 5 — выпуск шлама; 6 — трубопровод подачи воздуха; 7 — азратор.

В эрлифтной установке (схема на рис. 15) из питательного бака (расположенного на высоте 20—30 м) сточная жидкость поступает в азратор. Туда же через перфорированную трубу подается сжатый воздух, который здесь растворяется. Поднимаясь по подъемному трубопроводу вверх в результате снижения давления жидкость обогащается микропузырьками воздуха, выделяющимися из раствора. Воздушно-водяная эмульсия поступает в отстойник, где происходит осветление жидкости. Пена и сфлоторованные загрязнения всплывают и удаляются самотеком или скребками, а осветленная вода снизу направляется на дальнейшую обработку.

Эрлифтные флотационные установки применяются для очистки некоторых загрязненных технологических растворов в химической промышленности [8].

#### Флотация с механическим диспергированием воздуха

При перемещении струи воздуха в воде в последней создается значительное вихревое движение, под воздействием которого воздушная струя распадается на отдельные пузырьки. Их величина тем меньше, чем больше разность относительного перемещения воздуха и воды, а стабильность тем выше, чем меньше поверхностное натяжение на границе раздела воздух—вода [21]. Энергичное перемешивание жидкости во флотационных машинах, оборудованных импеллерами, создает в ней большое количество мелких вихревых потоков, что позволяет получить пузырьки определенной величины. При небольших количествах потребного для флотации воздуха используется центробежный насос с подачей воздуха во всасывающий патрубок. В случае очистки сточной жидкости, агрессивной по отношению к металлу, можно применять пневматическое диспергирование.

Импеллерные установки. Флотационные машины с диспергированием воздуха импеллером широко применяются при обогащении полезных ископаемых и могут быть использованы при очистке сточных вод. Двухкамерная флотационная машина конструкции института «Механобр» приспособлена к очистке сточных вод от нефти (рис. 16) [45].

Сточная жидкость поступает в приемный карман, откуда по патрубку направляется в импеллер за счет понижения давления, создаваемого при его вращении. Одновременно в импеллер по специальной трубе подсасывается воздух. Над импеллером находится статор, состоящий из диска, имеющего отверстия для внутренней циркуляции жидкости, и направляющих. Лопатками вращающегося импеллера воздух и жидкость перемешиваются и в виде эмульсии выбрасываются из статора, решетка вокруг которого является успокоителем. В этой зоне создается множество мелких вихревых потоков, измельчающих пузырьки воздуха. Степень измельчения их зависит от окружной скорости импеллера, что непосредственно влияет на эффект осветления жидкости. Над решеткой всплывают пузырьки с прилипшими к ним загрязнениями. Пена удаляется с поверхности гребками. Из первой камеры частично осветленная и насыщенная воздухом вода поступает во второе отделение, где часть ее опять захватывается импеллером и происходит дополнительное ее осветление. Очищенная сточная жидкость удаляется через выпускной карман. При очистке нефтесточных сточных вод достаточно высокий эффект очистки (9—18 мг/л остаточной нефти) достигается при окружной скорости импеллера 12,5—15 м/сек; насыщении стоков воздухом в количестве 0,52 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> и продолжительности флотации 20—30 мин.

Уровень воды во флотационной камере рекомендуется принимать 1,5—2 м. При работе импеллера он повышается в 1,4 раза.

Для экономного расходования электроэнергии и полного использования объема камеры диаметр импеллеров крупных фло-

тационных машин редко принимается больше 600—750 мм, что обуславливает установку большого числа камер и механизмов при очистке значительных количеств сточных вод, а это усложняет их эксплуатацию. Применение импеллерных установок целесообразно при очистке сточной жидкости с высокой концентрацией (выше 2000—3000 мг/л) нерастворенных загрязнений, т. е. когда для флотирования их требуется высокая степень насыщения воздухом сточной жидкости (0,1—0,5 объема воздуха на 1 объем воды).

Расчет импеллерной флотационной установки ведется в следующей последовательности.

Экспериментальным путем определяют продолжительность флотации  $t$  и окружную скорость  $u$ . Рабочую высоту камеры принимают не более 3 м, чтобы длина вала от импеллера до привода не была слишком большой.

Камера устраивается квадратной в плане. Для хорошего насыщения воздухом всего объема жидкости длина стороны принимается равной, м,

$$l = 6d, \quad (14)$$

где  $d$  — диаметр импеллера, м.

Тогда площадь камеры,  $m^2$ , будет равна

$$f = l^2 = 36d^2, \quad (15)$$

а рабочий объем ее,  $m^3$ ,

$$W = hf = 36hd^2, \quad (16)$$

где  $h$  — высота воздушно-водяной смеси (рабочая высота) в камере, м,

$$h = \frac{H_{ст}}{\gamma_{а.ж}}, \quad (17)$$

$H_{ст}$  — статический уровень воды в камере (до флотации), м;

$\gamma_{а.ж}$  — удельный вес аэрированной жидкости (воздушно-водяной смеси),  $т/м^3$  ( $\gamma_{а.ж} = 0,67\gamma_{ж}$ ;  $\gamma_{ж}$  — удельный вес сточной жидкости).

Статический уровень, м, определяется по формуле

$$H_{ст} = \varphi \frac{u^2}{2g}, \quad (18)$$

где  $\varphi$  — коэффициент напора, равный для флотационных машин 0,2—0,3.

Количество машин, необходимое для обработки суточного расхода сточных вод  $Q_{сут}$ ,  $m^3$ , составляет

$$n = \frac{Q_{сут} t}{24 \cdot 60 W (1 - a)}, \quad (19)$$

где  $a$  — коэффициент аэрации (принимается равным 0,35);  
 $t$  — продолжительность флотации, мин.

Мощность мотора импеллера,  $квт$ , в одной камере составит

$$N = \frac{q_{а.ж} \gamma_{а.ж} H_{ст}}{102\eta}, \quad (20)$$

где  $\eta$  — к. п. д., равный 0,2—0,3;  
 $q_{а.ж}$  — секундный расход аэрированной жидкости,  $л/сек$ ,

$$q_{а.ж} = \frac{Q_{сут} 1000}{86400n(1-a)}. \quad (21)$$

Флотуемость загрязнений и отработка технологического режима флотации (продолжительность, число оборотов импеллера и др.) предварительно проверяется на лабораторной флотационной машине (рис. 17), которая должна иметь съемные камеры и импеллеры разного размера.

Скорость вращения импеллера изменяется ступенчатыми шкивами, уровень пульпы регулируется добавлением воды. Пробные опыты можно проводить также на лабораторной флотационной машине импеллерного типа 138Б-РЛ института «Механ-

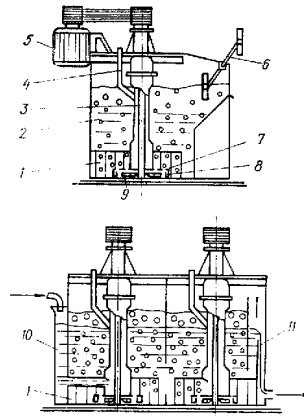


Рис. 16. Схема двухкамерной импеллерной установки:  
1 — отбойники; 2 — флотационная камера; 3 — вал импеллера; 4 — воздушная трубка; 5 — электродвигатель; 6 — несомнитель; 7 — отверстие в статоре для внутренней циркуляции воды; 8 — статор; 9 — импеллер; 10 — приемный карман; 11 — выпускной карман.

обр» с объемом камеры 8 л. Достоинство ее заключается в полной имитации процесса, происходящего в производственных машинах той же конструкции, но регулирование числа оборотов импеллера при этом затруднено.

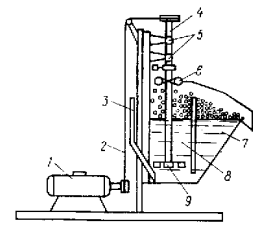


Рис. 17. Схема лабораторной импеллерной установки:  
1 — электромотор; 2 — ременная передача; 3 — вал импеллера; 4 — воздушная трубка; 5 — вал импеллера; 6 — шкивы; 7 — отстойная камера; 8 — флотационная камера; 9 — импеллер.



Безнапорные установки. Диспергирование воздуха в них происходит за счет завихрений, создаваемых рабочим колесом центробежного насоса. Схема установки такая же, как и при напорной флотации (см. рис. 9), только отсутствует напорный резервуар. Преимуществом ее является то, что для подачи необходимого количества воздуха не требуется дополнительное давление. При этом способе флотации образующиеся пузырьки будут более крупными, чем при напорной флотации, следовательно, этот способ для мелких частиц менее эффективен.

Во избежание преждевременного образования пены и крупных воздушных пузырей, насосы, подающие воду на флотацию, следует размещать как можно ближе к флотационной камере, и скорость движения жидкости в напорном трубопроводе принимать не менее 2 м/сек.

Как и напорная, безнапорная флотация может осуществляться по схемам с полной или частичной подачей воды насосами, с рециркуляцией и с рабочей жидкостью. Конструкции флотационных камер и основные расчетные параметры их такие же, как и при напорной флотации. При применении однокамерной установки перед впуском воды в камеру необходимо удалить избыточный воздух из напорного трубопровода. Воздушная трубка диаметром 40—50 мм присоединяется в самой высокой точке напорной линии на некотором расстоянии от места впуска в камеру (2—3 м) к верхней части трубопровода и выводится выше уровня воды в камере.

Безнапорные флотационные установки показывают неплохие результаты при очистке сточных вод от жира, шерсти.

Пневматические установки применяются при флотационной очистке сточных вод, содержащих растворенные примеси, агрессивные по отношению к механизмам (насосам, импеллерам), имеющим движущиеся части.

Измельчение пузырьков воздуха достигается здесь путем впуска воздуха во флотационную камеру через специальные сопла, которые располагаются на воздухораспределительных трубах, укладываемых на дно флотационной камеры на расстоянии 250—300 мм друг от друга. Диаметр отверстий сопел — 1—1,2 мм, рабочее давление перед ними 3—5 атм. Скорость выхода струи воздуха из них 100—200 м/сек.

Продолжительность флотации  $t$  при таком диспергировании воздуха составляет 15—20 мин, но в каждом случае должна устанавливаться экспериментально, так же, как и интенсивность аэрации. Глубина флотатора принимается 3—4 м, а объем,  $m^3$ , находят из формулы

$$W = \frac{Q_{\text{аэ}} t}{24 \cdot 60 (1 - a)} \quad (22)$$

Коэффициент аэрации  $a$  ориентировочно может быть принят 0,2—0,3.

Расход воздуха составит

$$V = IF, \quad (23)$$

где  $F$  — площадь водного зеркала флотационной камеры;  
 $I$  — интенсивность аэрации (ориентировочно 15—20 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>).  
 Число сопел находим по формуле

$$n = \frac{V}{3600fS}, \quad (24)$$

где  $f$  — площадь отверстия одного сопла, м<sup>2</sup>;  
 $S$  — скорость воздушной струи, м/сек.  
 Пену удаляют скребками.

#### Флотация с подачей воздуха через пористые материалы

Пропуская воздух через мелкие отверстия, можно получить микропузырьки, способные флотировать содержащиеся в жидкости загрязнения. Для этого необходима относительно небольшая скорость истечения воздуха из отверстия, достаточное расстояние между отверстиями, наличие в жидкости реагентов-пенообразователей.

Определить размеры пузырьков с полным учетом всех особенностей процесса их отрыва от периметра отверстия затруднительно, однако при некоторых допущениях можно пользоваться довольно простыми формулами [21, 58]. Так, для отверстия с радиусом менее 0,2 см

$$R = 6 \sqrt[4]{r^2 \sigma_{г.ж}}, \quad (25)$$

где  $R$  — радиус пузырька, см;

$r$  — радиус отверстия, см;

$\sigma_{г.ж}$  — поверхностное натяжение на границе раздела жидкость—газ, дин/см.

Пузырьки, выходящие из одного отверстия, не должны сливаться. Поэтому максимальный расход воздуха, см<sup>3</sup>/мин, через отверстия при спокойном движении воды у аэратора можно найти по следующей формуле [21]

$$Q_{\text{макс}} = 104r^2. \quad (26)$$

Формула справедлива для отверстия диаметром менее 3 мм.

Избыточное давление  $\Delta p$  и минимальная величина  $d$  отверстия, через которое может проходить при таком давлении воздух, связывается уравнением Лапласа

$$d = \frac{2\sigma_{г.ж}}{\Delta p}. \quad (27)$$

Пользуясь этими формулами, можно предварительно установить некоторые параметры и режим флотации, необходимые для проверки флотиремости загрязнений из данной сточной жидкости, которые должны быть уточнены в процессе исследований.

Флотация при подаче воздуха через различные пористые материалы по сравнению с рассмотренными выше способами насыщения сточных вод воздухом имеет определенные преимущества: сохраняется простота конструкций флотационных камер, присутствующая напорным установкам; уменьшаются затраты на электроэнергию, отсутствуют сложные механизмы (насосы, импеллеры), что особенно важно при очистке агрессивных сточных вод. Недостатком является возможность заращения и засорения пор и трудности подбора мелкопористых материалов, обеспечивающих подачу мелких и близких по размерам пузырьков. Целесообразно использовать этот способ на-

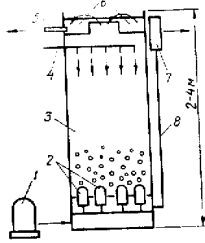


Рис. 18. Схема флотационной установки конструкции Н. А. Гребнева:  
1 — компрессор; 2 — пористые колпачки; 3 — флотационная камера; 4 — подача загрязненной жидкости; 5 — шламоторводящая труба; 6 — желоб для сбора шлама; 7 — регулятор уровня; 8 — трубопровод очищенной жидкости.

сыщения воздухом в установках пенной сепарации.

Очистка небольших количеств сточной жидкости этим способом может быть произведена на установках (рис. 18), близких по конструкции к аппарату, предложенному инженером Н. А. Гребневым [10].

Сточная жидкость по трубопроводу подается в верхнюю часть вертикально установленного цилиндра высотой 2—4 м, в нижней устраивается поддон, под который закачивается воздух от компрессора. На поддоне крепятся керамические колпачки с отверстиями, через них сжатый воздух поступает в сточную жидкость, флотируя загрязнения. Осветленная вода забирается из нижней части цилиндра и через регулятор уровня отводится с установки, а пена переливается в кольцевой желоб и по трубе удаляется из него.

Как видно из приведенной схемы, в этом аппарате использован принцип противотока, т. е. встречного движения жидкости и пузырьков воздуха. Очистка на таких установках может производиться как в одну, так и в две и более ступеней.

Конструкция установки с диспергированием воздуха через пористые материалы для очистки больших количеств сточной жидкости представляет собой резервуар с горизонтальным движением воды (рис. 19).

Воздух во флотационную камеру подается через мелкопористые фильтры, уложенные на дне. Сточная жидкость подается в приемную часть флотационной камеры и отводится из нижней

части через регулятор уровня. Пена скребковым транспортером собирается в отводящий желоб.

Эффект флотационной очистки сточной жидкости на установках приведенного типа, а также их габариты и размеры зависят от величины отверстий в пористых колпачках или фильтрах; давления воздуха под фильтрами; расхода воздуха,  $\text{м}^3/\text{м}^2$  или

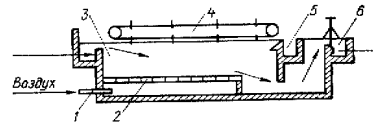


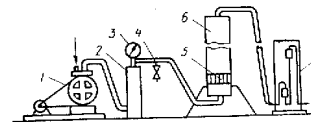
Рис. 19. Флотационная установка с диспергированием воздуха через мелкопористые фильтры:  
1 — трубопровод подачи воздуха; 2 — фильтрующие пластины; 3 — флотационная камера; 4 — скребки; 5 — шламоторводящая труба; 6 — регулятор уровня воды на выпуске.

$\text{м}^3/\text{м}^2$ ; продолжительности флотации; уровня воды до подачи воздуха и во время его подачи.

По опытным данным, относящимся к обработке сточных вод, содержащих отходы смол и нефти [10, 46], величина отверстий должна быть в среднем от 4 до 20 мкм, давление воздуха — 1—2 атм, расход воздуха — 40—70  $\text{м}^3/\text{м}^2$  или 0,24—0,31  $\text{м}^3/\text{м}^3$ , продолжительность флотации — не менее 20—30 мин, рабочий уровень до флотации — 1,5—2 м, уровень воды во время флотации повышается в зависимости от давления (расхода) воздуха на величину от 6 (1 атм) до 56% (2 атм).

Проверка флотируемости загрязнений в сточных водах при диспергировании воздуха через мелкопористые материалы и ус-

Рис. 20. Лабораторная установка для исследований по флотации с диспергированием воздуха через пористые материалы:  
1 — компрессор; 2 — ресивер; 3 — манометр; 4 — регулятор давления; 5 — фильтр; 6 — флотационная камера; 7 — ротаметр.



тановление необходимых параметров для проектирования может быть проведена на лабораторной флотационной установке [46]. Установка (рис. 20) состоит из толстостенной стеклянной трубы диаметром 100 мм и длиной 1,8 м, являющейся флотационной камерой с мелкопористыми фильтрами, в нижней части. Воздух под фильтры подается от компрессора через ресивер, на котором устанавливается контрольный манометр. Давление регулируется

ется игольчатым вентилем. Расход воздуха определяется реометром, подсоединенным в верхней части флотационной камеры. Пробы для анализа отбираются из нижней ее части.

### Электрофлотация

При этом способе сточная жидкость при пропускании через нее постоянного электрического тока насыщается пузырьками газа (водорода), образующегося на одном из электродов (катоде).

Прохождение электрического тока через сточную жидкость, являющуюся зачастую многокомпонентным раствором-электролитом, изменяет химический состав жидкости, свойства и состояние нерастворенных примесей. В одних случаях эти изменения положительно влияют на процесс очистки стоков, в других — ими надо управлять, стремясь к достижению наибольшего эффекта очистки вообще или от определенного компонента.

В сточной жидкости при прохождении ее через межэлектродное пространство происходят такие процессы, как электролиз, поляризация частиц, электрофорез, окислительно-восстановительные реакции; продукты электролиза взаимодействуют друг с другом и с другими компонентами. Интенсивность указанных процессов зависит, во-первых, от химического состава жидкости, во-вторых, от материала электродов, которые могут быть растворимыми или нерастворимыми, и в-третьих, от параметров электрического тока: напряжения, плотности на электродах, расхода.

В случае применения растворимых электродов (обычно железных или алюминиевых) на аноде происходит анодное растворение металла, в результате чего в воду переходят катионы железа или алюминия, которые, встречаясь с гидроксильными группами, образуют гидраты закиси или окиси, являющиеся распространенными в практике водообработки коагулянтами. Одновременное образование хлопьев коагулянта и пузырьков газа в стесненных условиях межэлектродного пространства создает предпосылки для надежного закрепления газовых пузырьков на хлопьях, интенсивной коагуляции загрязнений, энергичного протекания процессов сорбции, адгезии и т. д. и, как следствие, более эффективной флотации.

Коагуляция загрязнений в межэлектродном пространстве может происходить не только за счет растворения анода, но и в результате электрофоретических явлений, разряда заряженных частиц на электродах, образования в растворе веществ (хлор, кислород), разрушающих сольватные слои на поверхности частиц [61, 63]. Эти процессы выступают на первый план в случае применения нерастворимых электродов.

Выбор материала электродов, таким образом, может быть увязан с агрегативной устойчивостью частиц загрязнений в сточной жидкости. При невысоком содержании коллоидальной фазы и низкой агрегативной устойчивости загрязнений возможно приме-

нение нерастворимых электродов, тогда как при наличии высокоустойчивых загрязнений, удаление которых достигается только при значительных дозах коагулянтов, необходимо применять растворимые электроды.

Электрофлотационные установки, технологические параметры которых выбраны исходя из условий достижения максимального коагулирующего эффекта, следует именовать электрокоагуляционно-флотационными установками.

При небольшой производительности (до  $10-15 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) электрофлотационные установки могут быть однокамерными (рис. 21).

По схеме, приведенной на рис. 21, а, загрязненная вода подается в нижнюю часть флотационной камеры, проходит между электродами и отводится из середины камеры на последующие ступени очистки. В схеме на рис. 21, б использован принцип противотока — неочищенная жидкость движется сверху вниз навстречу всплывающим пузырькам газа, вода отводится из нижней части камеры. Если в сточной жидкости мало нефлотирующихся легко оседающих частиц, эффект осветления по этой схеме будет достаточно высоким.

Электрофлотационные установки большей производительности рекомендуется устраивать двухкамерными. Двухкамерные установки горизонтального и вертикального типов изображены на рис. 22 и 23. Состоят они из электродного отделения и отстойной части. Сточная жидкость поступает в успокоитель, который отделен от электродного отделения решеткой. Проходя через межэлектродное пространство, она насыщается пузырьками газа, подвергается воздействию электрического тока, способствующего коагуляции загрязнений, или обогащается гидроокисями — коагулянтами (при растворимых электродах). Всплывание частиц происходит в отстойной части. Всплывший шлам сгребается скребками в шламоотводящий лоток. Предусмотрено также удаление осадка, который может выпадать на дно.

Расчет установок по электрофлотации или электрокоагуляции сводится к определению общего объема  $W$  установки, объемов электродного (камера коагуляции) отделения  $W_1$  и отстойной части (камера флотации)  $W_2$ , необходимых конструктивных и электрических параметров.

$$\text{Общий рабочий объем установки, м}^3, \\ W = W_1 + W_2.$$

(28)

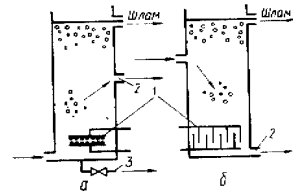


Рис. 21. Схемы однокамерных электрофлотационных установок:  
а — прямого потока; б — противоточная;  
1 — электродные системы; 2 — выпуск очищенной воды; 3 — выпуск осадка.

Объем электродного отделения определяется из возможности размещения в нем электродной системы необходимой мощности. Для этого, прежде всего, необходимо установить число пластин  $n$  электродов, которые могут быть размещены в установке приня-

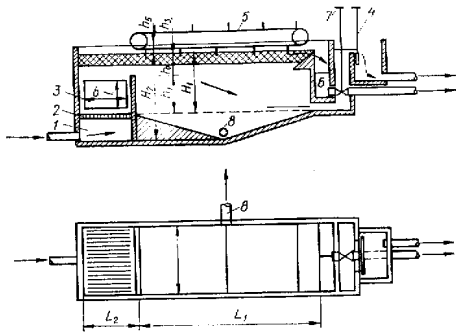


Рис. 22. Схема горизонтального электрофлотатора: 1 — впускная камера; 2 — решетка-успокоитель; 3 — электродная система; 4 — регулятор уровня на выпуске воды; 5 — скребки; 6 — шламоприемник; 7 — регулятор отвода шлама; 8 — выпуск осадка.

той ширины  $B$  (все конструктивные параметры даны в соответствии с обозначениями на рис. 22). Ширина горизонтальной установки выбирается по ее производительности и разработанным конструкциям скребкового механизма [5] в соответствии с табл. 2.

$$n = \frac{B - 2d - c}{p + c}, \quad (29)$$

где  $d$  — величина зазора между крайними пластинами и стенками камеры 100 мм;

$c$  — величина зазора между пластинами, 15—20 мм;

$p$  — толщина пластин 6—10 мм.

Тогда необходимая площадь пластин будет равна

$$f = \frac{S}{n-1}, \quad (30)$$

где  $S$  — активная поверхность электродов,  $m^2$ , определяемая по формуле

$$S = \frac{DQ_n}{i}, \quad (31)$$

где  $D$  — удельное количество электричества,  $a \cdot ч/м^3$ ;  
 $Q_n$  — расчетный расход сточных вод,  $м^3/ч$ ;  
 $i$  — плотность тока на электродах,  $a/м^2$ .

$D$  и  $i$ , как правило, определяются экспериментальным путем. Для предварительных расчетов можно воспользоваться данными, приведенными в табл. 3 (электрокоагуляция-флотация).

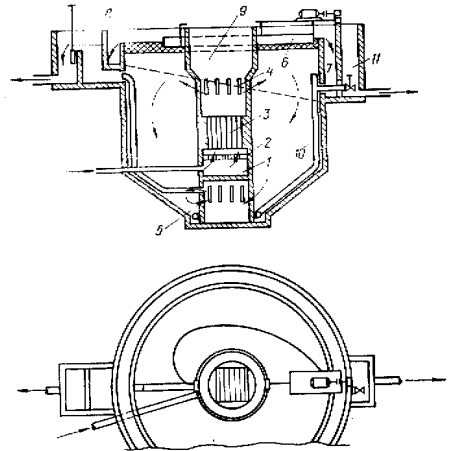


Рис. 23. Схема вертикального электрофлотатора: 1 — впускная камера; 2 — решетка-успокоитель; 3 — электродная система; 4 — щели для выпуска воды по флотационную часть; 5 — щели для сбора осветленной воды; 6 — спиральный скребок; 7 — шламоотводящий кольцевой желоб; 8 — регулятор уровня воды на выпуске; 9 — монтажный колодец; 10 — трубопровод выпуска осадка; 11 — камера выпуска осадка и шлама.

Определив  $f$  и задав высоту пластин  $b$ , которую целесообразно принимать равной высоте осветленной жидкости ( $h_1 = 1-1,5 м$ ), можно определить длину пластин  $l$ ,  $м$ ,

$$l = \frac{f}{b} \quad (32)$$

и длину электродной камеры  $L_2$ ,  $м$ ,

$$L_2 = l + 2d. \quad (33)$$

Тогда объем  $W_1$  электродной камеры составит,  $м^3$ ,

$$W_1 = BH_1L_2, \quad (34)$$

Таблица 2

Выбор ширины флотокамер

Производительность одной секции, $м^3/ч$	Ширина, мм	
	скребка	секции
Менее 90	1975	2000
90—120	2475	2500
120—180	2975	3000

Таблица 3

Плотность тока и удельное количество электричества при очистке некоторых стоков электрокоагуляцией-флотацией

Сточные воды	Плотность тока, а/м <sup>2</sup>	Удельное количество электричества, а·ч/м <sup>3</sup>
Кожевенных заводов при дублении:		
хромовом	50—100	300—500
смешанном	50—100	300—600
Меховых фабрик	50—100	100—300
Мясокомбинатов	100—200	100—270
Фабрик искусственных кож	40—80	15—20

откуда  $H_1$  — рабочая высота камеры, м,

$$H_1 = h_1 + h_2 + h_3, \quad (35)$$

где  $h_1$  — высота осветленного слоя, 1—1,5 м;

$h_2$  — защитный слой, 0,3—0,5 м;

$h_3$  — слой шлама, 0,4—0,5 м.

Находим объем отстойной части  $W_2$ , м<sup>3</sup>,

$$W_2 = Q_1 t, \quad (36)$$

где  $t$  — продолжительность осветления, определяемая экспериментальным путем, обычно 0,3—0,75 ч.

В случае применения растворимых электродов необходимо определить количество металла, переходящего в 1 м<sup>3</sup> раствора, г/м<sup>3</sup>, и срок службы электродной системы  $T$ , сутки.

$$m = k_1 A D, \quad (37)$$

где  $k_1$  — коэффициент выхода по току; в каждом конкретном случае определяется экспериментально, колеблется в пределах 0,5—0,95;

$A$  — электрохимический эквивалент, г/а·ч (для  $Fe^{+2}$   $A = 1,042$ , для  $Fe^{+3}$   $A = 0,695$ , для  $Al^{+3}$   $A = 0,336$ );

$$T = \frac{M \cdot 100}{m Q_{сут}}. \quad (38)$$

Здесь  $M$  — вес металла электродов, который растворяется при электролизе, кг;

$M$  находим по формуле

$$M = \gamma k_2 f p l, \quad (39)$$

где  $\gamma$  — объемный вес металла, кг/м<sup>3</sup>;

$k_2$  — коэффициент использования материала электродов — 0,8—0,9.

### Биологическая и химическая флотация

Этот метод применяется для уплотнения осадка из первичных отстойников при очистке городских сточных вод.

Осадок из первичных отстойников собирается в специальные резервуары, где подогревается паром до температуры 35—55° С, и при такой температуре выдерживается несколько суток. За счет развития и деятельности микроорганизмов выделяются пузырьки газа, которыми частицы осадка уносятся в пенный слой и там уплотняются и обезвоживаются.

Таким путем можно понизить влажность осадка до 80% и тем самым облегчить и удешевить его дальнейшую обработку, особенно при использовании механического обезвоживания [96]. Указанной степени обезвоживания осадка из первичных отстойников можно достичь при температуре 35° С за 120 ч. Активный ил уплотнению биологической флотацией поддается хуже.

При введении в сточную жидкость некоторых реагентов для ее обработки могут иметь место химические процессы, сопровождающиеся выделением газов — кислорода, углекислого газа, хлора и др. При известных условиях пузырьки образовавшихся газов могут прилипать к нерастворенным загрязнениям и выносить их в пенный слой.

Такое явление с довольно высоким эффектом осветления и хорошим уплотнением всплывающего осадка наблюдается при обработке некоторых сточных вод заводов синтетических продуктов хлорной известью с одновременным введением коагулянтов, а также при добавлении глинозема и серной кислоты в сточные воды фабрик первичной обработки шерсти (техническое использование этого явления подробно описано далее). Принципиальная схема флотационной камеры, предназначенной для химической флотации, представлена на рис. 24. Сточные воды поступают в

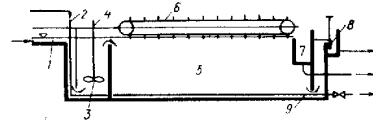


Рис. 24. Схема установки для химической флотации: 1 — подводный канал; 2 — трубопровод подачи реагентов; 3 — камера реакции; 4 — мешалка; 5 — флотационное отделение; 6 — скребок; 7 — шламовник с выпускным шламом; 8 — регулятор уровня воды на выпуске; 9 — труба для сбора и удаления осадка.

смеситель-реактор, куда по трубопроводу подаются и необходимые реагенты; во избежание преждевременной дегазации стоков время их пребывания в камере реакции следует принимать минимальным (3—5 мин).

Перемешивание можно производить мешалкой механического типа. Насыщенная пузырьками выделявшегося газа сточная жидкость поступает во флотационную камеру, где твердая фаза выделяется в пенный слой, который непрерывно или периодически сбрасывается скребковым транспортером в шламостводящий лоток. Осветленная вода уходит из камеры через водостли с регулируемой высотой кромки. На дне флотационной камеры располагается грязевая труба для выпуска осадка, выпадающего на дно. При значительном количестве осадка в днище камеры могут быть устроены приямки с выпуском осадка из них.

#### ОЧИСТКА ФЛОТАЦИЕЙ НЕКОТОРЫХ КАТЕГОРИЙ СТОЧНЫХ ВОД

##### Городские сточные воды

Флотация городских сточных вод довольно широко используется в зарубежной практике. Наиболее часто она применяется для предварительного осветления сточных вод (перед биологической очисткой), при этом флотаторы устраиваются либо самостоятельно (например, выполняющие одновременно и функции отстойников), либо в сочетании с отстойниками. Некоторые зарубежные авторы указывают также на возможность флотационного осветления при очистке сточных вод на биофильтрах и уплотнения осадка и активного ила [90, 92]. Флотация как первый этап очистки сточной жидкости представляет интерес, так как интенсифицирует и повышает эффект предварительной обработки стоков.

Эффективность работы современных конструкций первичных отстойников не превышает 60—65% при продолжительности отстаивания 1,5—2 ч, которая определяется присутствием в сточных водах частиц с малой гидравлической крупностью. При насыщении сточной жидкости микропузырьками воздуха в пенный слой перейдут главным образом самые легкие частицы.

Некоторые авторы считают, что все оставшиеся после 10—15-минутного отстаивания взвеси могут быть сфлотированы, благодаря чему значительно повышается процент задержания нерастворенных примесей и сокращается время пребывания стоков в отстойниках. Общий объем отстойников и флотаторов не превышает, а иногда оказывается и меньше объема одних отстойников. Устройство после решеток и песколовок аэрации с последующей вакуум-флотацией рекомендуется некоторыми зарубежными авторами для всех крупных очистных станций [107].

Очистка бытовых сточных вод здесь осуществляется на двух ступенях биологических фильтров, причем предварительная ведется перед первой ступенью биологических фильтров вакуум-

флотацией (рис. 25) [75]. Конструкция вакуум-флотатора аналогична приведенной на рис. 7.

Нагрузка на 1 м<sup>2</sup> водного зеркала вакуум-флотатора составляет 200 м<sup>3</sup>/сут. Эффективность его работы довольно высокая (табл. 4).

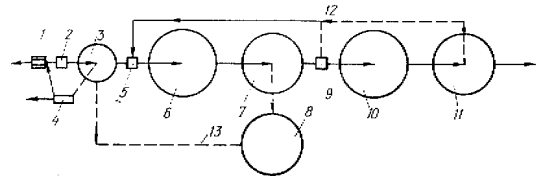


Рис. 25. Схема очистных сооружений с вакуум-флотацией:

1 — решетка; 2 — аэратор; 3 — вакуум-флотатор; 4 — песковые площадки; 5 и 9 — насосные станции; 6 — первая ступень биофильтров; 7, 11 — отстойники; 8 — сбраживание осадка; 10 — вторая ступень биофильтров; 12 — рециркуляционный трубопровод; 13 — отвод шлама.

Работа очистных сооружений по аналогичной схеме, но с одноступенчатой биологической очисткой и более высокой нагрузкой — 327 м<sup>3</sup>/сут на 1 м<sup>2</sup> (время пребывания в вакуум-флотаторе — 14 мин, учитывая рециркуляционный расход) описана в [111].

Таблица 4

#### Эффективность работы станций с вакуум-флотаторами и биологической очисткой

Наименование показателей	Очистка в две ступени			Очистка в одну ступень		
	Неочищенная сточная жидкость	После флотации	После вторичного отстойника	Неочищенная сточная жидкость	После флотации	На выходе
Содержание веществ:						
взвешенных	195	104	15	57	45,7	16,3
	—	46,6	92,3	—	20	71,4
оседающих	47	17	0	0,85	0,4	0
	—	64	100	—	53	100
БПК	162	116	11	67,3	64	25,5
	—	28,4	98	—	5	62,1

Примечание. В числителе приведены величины показателей в мг/л, в знаменателе — эффект очистки в проц.

Из табл. 4 видно, что при такой нагрузке эффект очистки в вакуум-флотаторе значительно ниже.

Приведенные выше результаты работы вакуум-флотатора при очистке сточных вод без добавления флотореагентов близки к

другим опубликованным данным [86], которые определяют эффект его работы при 20-минутном пребывании сточных вод по взвешенным веществам 40—50%, по БПК — 20—25%. Приводятся также несколько действующих технологических схем очистки сточных вод с применением вакуум-флотаторов в сочетании с биологическими фильтрами.

При высоком начальном содержании нерастворенных загрязнений перед флотатором может устраиваться предварительный отстойник. Влияние способа предварительной аэрации жидкости на эффективность работы вакуум-флотатора подробно рассмотрено в [99]. Без аэрации задержание взвешенных веществ достигало 34%, а при интенсивной аэрации — возросло до 55—57% (содержание взвесей перед флотатором 330—450 мг/л).

Несмотря на некоторые расхождения результатов, полученных различными исследователями [84, 87, 111], по-видимому, из-за неодинаковых состава сточных вод и режима проведения флотации, можно сделать вывод, что применение вакуумной флотации для очистки бытовых сточных вод имеет определенные технологические преимущества при соответствующем экономическом обосновании.

Более перспективным для очистки городских стоков является напорный способ флотации. Сообщается, например, об очистке сточных вод общесплавной и бытовой канализаций напорной флотацией [97, 113]. В одном из районов Сан-Франциско построена такая опытная станция производительностью 60 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Интересным вариантом предварительного осветления сточных вод общесплавной канализации является применение микропроцеживания с последующей напорной флотацией [110, 112]. Следует отметить, что преимуществом напорной флотации перед вакуумной при очистке бытовых стоков является насыщение стоков кислородом воздуха, тогда как при вакуумной флотации концентрация растворенного кислорода уменьшается, что, естественно, тормозит протекание биохимических процессов окисления.

Повышение эффективности флотационной обработки бытовых сточных вод как по взвешенным веществам, так и по БПК возможно при применении коагулянтов и флотореагентов. Используя различные флокулянты, можно получить эффект очистки по взвешенным веществам 90—95% при остаточной концентрации 7—20 мг/л. Удачно подобрав флотореагент, можно почти полностью задержать взвеси (98—99%) и значительно снизить БПК (40—60%). Так, например [73], флотацией в лабораторных условиях (реагент лауриламмингидрохлорид, доза 60—80 мг/л) при 15 мин аэрации и предварительном отстаивании в течение 15 мин добивались снижения концентрации взвешенных веществ в смеси бытовых стоков с текстильными на 96,5—98,7% и снижения БПК на 57—65% (остаточное содержание взвешенных веществ 3—10 мг/л, БПК — 150—160 мг/л).

Существенное значение при подборе флотореагентов имеет их

влияние на ход биохимической переработки загрязнений. Флотореагент не должен отрицательно воздействовать на последующую биологическую очистку или дополнительно загрязнять сточные воды. Наиболее приемлемы поверхностно-активные вещества, поддающиеся биохимическому разрушению.

В Украинском институте инженеров водного хозяйства рассматривались различные пути использования флотации при очистке городских сточных вод:

замена первичных отстойников флотационными установками; замена вторичных отстойников флотационными установками; флотационное уплотнение возвратного и избыточного активного ила [41];

использование флотации при третичной очистке сточных вод.

В результате исследований были разработаны технологии уплотнения избыточного активного ила флотацией и биокоагуляции-флотации для первичного осветления сточных вод [59]. Обычная биокоагуляция предусматривает использование ферментативной и сорбционной активности избыточного ила, который подается в сточную жидкость перед ее отстаиванием. Интенсификация процесса биокоагуляции достигается аэрацией (15—20 мин) смеси сточной жидкости и избыточного активного ила в специальных камерах. Такой прием позволяет повысить эффект отстаивания до 75% и соответственно уменьшить БПК за счет более полного извлечения из стока нерастворенной фазы.

Биокоагуляция-флотация — сочетание процесса биокоагуляции с напорной флотацией.

Конструктивно биокоагуляция-флотация может быть осуществлена по трем схемам:

первая — стоки в отстойниках пребывают 10—15 мин, в биокоагуляторах — 15—20 мин, в напорных флотационных установках — 20 мин считая на сточную и рециркуляционную или рабочую жидкость;

вторая — в отстойниках-биокоагуляторах — 20—25 мин, в напорных флотационных установках — 20 мин;

третья — в напорных флотационных установках (с бункерами для осадка по типу, показанному на рис. 38) — 25 мин; пребывания сточной и рециркуляционной жидкости.

Эффект очистки всех трех схем примерно одинаков. С точки зрения объема и компактности сооружений наиболее приемлема третья схема, однако она не совсем удобна в эксплуатации из-за проведения флотации и отстаивания в одном объеме, так как чистка осадочных бункеров может нарушать режим флотации. Поэтому при флотационных установках горизонтального типа рекомендуется применять вторую, а при вертикальных — третью схему.

Исследования, проводившиеся в лабораторных и производственных условиях, позволили установить основные технологические параметры процесса, на основании которых был разработан

и осуществлен в натуре проект переоборудования горизонтальных отстойников в биокоагуляторы-флотаторы на очистных сооружениях льнокомбината г. Ровно с целью повышения производительности очистных сооружений. Приведенная схема пере-

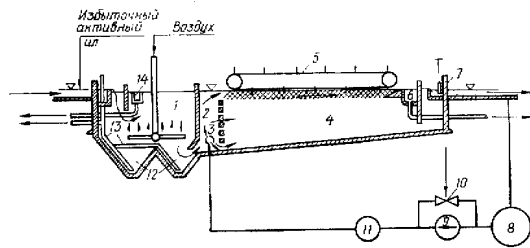


Рис. 26. Схема переоборудования горизонтального отстойника в биокоагулятор-флотатор:  
1 — камера биокоагуляции; 2 — отсек смешения с рабочей жидкостью; 3 — распределитель рабочей жидкости; 4 — отделение флотации; 5 — скребковый транспортер; 6 — шламоприемник с выпуском шлама; 7 — регулятор уровня на выпуске; 8 — резервуар рабочей жидкости; 9 — насос; 10 — инжектор; 11 — напорный бак; 12 — осадочные бункера; 13 — трубопроводы для удаления осадка; 14 — пеносорбция с отводом пены.

оборудования горизонтальных отстойников в биокоагуляторы-флотаторы показана на рис. 26. В очищаемую жидкость подается весь избыточный активный ил, что избавляет от необходимости отдельно уплотнять часть его. Смесь поступает в отделение биокоагуляции и отстаивания, куда подается воздух через дырчатые трубы или фильтры в обычном для биокоагуляторов количестве ( $0,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$  жидкости). Тяжелый осадок, выпадающий в бункера, удаляется через трубопроводы для выпуска осадка 1 раз в смену. Из отделения биокоагуляции и отстаивания стоки поступают в отсек смешения, где смешиваются с рециркуляционной жидкостью, насыщенной воздухом, в напорном баке при давлении  $3,5\text{--}4 \text{ атц}$  и продолжительности насыщения 3 мин. Всплывание шлама происходит во флотационном отделении. Всплывший шлам скребками периодически сгоняется в шламоотводящий лоток. Оптимальный уровень воды во флотокамере при сгоне шлама регулируется шибером. Уборка шлама производится при влажности  $94\text{--}95\%$  через 4—6 часов его накопления. Практически можно при более длительном накоплении получать шлам с влажностью около  $90\%$ , однако при этом необходимо иное конструктивное решение способа уборки и транспортировки его. Возможность получения смеси осадка и активного ила с низкой влажностью имеет большое технико-экономическое значение, так

46

как существенно влияет на объем сооружений по сбраживанию и обезвоживанию осадков.

Применение биокоагуляторов-флотаторов в технологических схемах биологической очистки стоков позволяет уменьшить объем метантенков и площадь иловых площадок.

При количестве рециркуляционной жидкости, равном по объему смеси стоков с активным илом (рециркуляционное отношение 1:1), снижение концентрации взвешенных веществ происходит на  $55\text{--}75\%$ , в зависимости от соотношения концентраций взвесей и активного ила, снижение БПК — на  $35\text{--}40\%$ . Объем же сооружений при этом уменьшается почти в два раза по сравнению с объемом обычных биокоагуляторов-отстойников и в полтора раза по сравнению с простым отстаиванием.

Переоборудование первичных отстойников в биокоагуляторы-флотаторы — эффективное средство интенсификации работы действующих очистных сооружений.

#### Сточные воды, содержащие нефть и нефтепродукты

В общем объеме загрязненных промышленных сточных вод доля стоков, содержащих нефть и нефтепродукты, едва ли не самая значительная.

Нефтепродукты образуются на нефтепромыслах при добыче нефти, на нефтеперерабатывающих (НПЗ) и нефтехимических заводах, на нефтебазах, на железнодорожных промыечно-пропарочных станциях при обработке нефтяных цистерн, на станциях перекачки нефтепродуктов, на машиностроительных заводах и тепловых электростанциях, в речных и морских портах при эксплуатации нефтеналивных судов и т. п. Содержание как нефтепродуктов, так и других загрязнителей в этих сточных водах колеблется в весьма широких пределах. В табл. 5 приводятся основные характеристики некоторых сточных вод, загрязненных нефтью.

Таблица 5

Характеристика нефтесодержащих сточных вод некоторых предприятий

Наименование показателей	Общий сток нефтепродуктов	Сточные воды НПЗ		Сточные воды промыечно-пропарочных станций	Балластные воды танкеров
		1-я система канализации	от ЭЛОУ		
Содержание, г/л: нефти	0,7—4,5	1—8	1—10	10—20	До 120
механических примесей	1,5—2	0,1—0,3	0,3—0,8	2—3	До 0,2
Общая минерализация, г/л	2,1—11,8	0,2—0,5	30—40	—	3,5—16

Примечание. В общем стоке нефтепромыслов содержалось  $0,03\text{--}0,7 \text{ г/л}$  нефтепродуктов.

47



Очистка сточных вод от нефти, как правило, сопряжена с известными трудностями, обусловленными тем, что часть нефти, иногда значительная (до 1—3 г/л), находится в эмульгированном состоянии. Крупные капельки нефти или тяжелые фракции ее (мазуты, битумы) хорошо всплывают или оседают на дно, тогда как эмульгированная нефть сохраняет устойчивое взвешенное состояние, особенно при концентрациях, не превышающих 1000 мг/л, и в присутствии поверхностно-активных веществ или тонких минеральных шламов, предохраняющих частицы эмульгированной нефти от слияния.

В связи с этим даже весьма продолжительным отстаиванием, например в прудах-отстойниках, невозможно обеспечить достаточный эффект очистки. Поэтому наряду с различными другими методами очистки нефтесодержащих сточных вод как в отечественной, так и зарубежной практике применяется флотация. В большинстве случаев используются напорный способ и импеллерные установки, реже — вакуум-флотация. Проводились также исследования флотации с подачей воздуха через мелкопористые фильтры и электрофлотации.

Данные, полученные при работе различных производственных флотационных установок и при многочисленных исследованиях, иногда существенно отличаются как по эффекту очистки, так и по режиму флотации, что, по-видимому, объясняется различиями в химическом и механическом составе нефтесодержащих стоков отдельных заводов и промыслов, и, главным образом, тем состоянием, в котором находятся нефтепродукты в сточных водах, — степенью их эмульгированности.

Чем сильнее эмульгированы нефтепродукты, тем более мелкие пузырьки воздуха нужны для флотации и тем больший эффект даст применение коагулянтов. При крупных капельках нефти нужны соответственно более крупные воздушные пузырьки и нет необходимости в добавлении коагулянтов. В ряде случаев исследователи не учитывают этого фактора и поэтому при флотации получают невысокий эффект очистки.

Хорошие результаты получены при очистке нефтепромысловых сточных вод в импеллерной флотационной машине типа института «Механобр» (см. рис. 16) [45, 46]. При времени пребывания сточных вод в машине 30 мин, насыщении стоков воздухом в количестве  $0,51 \text{ м}^3/\text{м}^3$  и окружной скорости импеллера  $12,5 \text{ м/сек}$  остаточное содержание нефти составляло 9 мг/л (в исходной воде было 25—907 мг/л).

Установлено, что эффект очистки и продолжительность флотации находятся в зависимости от окружной скорости импеллера. При повышении скорости увеличивается степень диспергирования воздуха, повышается эффект флотации и уменьшается ее продолжительность. Приводятся также результаты лабораторных опытов по очистке сточных вод нефтепромыслов флотацией с диспергированием воздуха через мелкопористые фильтры с

размером пор около 1 мк. При давлении воздуха под фильтросами 2 атм и продолжительности флотации 90—120 мин удавалось снизить содержание нефти до 8 и 2 мг/л соответственно (начальное содержание 224 мг/л). Расход воздуха составил  $70,4 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ . Продолжительность флотации при этом способе насыщения стоков воздухом значительно выше, чем в импеллерных установках, однако в конструктивном отношении установки проще. Кроме того, установки с диспергированием воздуха через фильтросы имеют то преимущество, что флотацию можно вести в резервуаре большого объема, тогда как импеллерная флотация требует установки большого числа машин, поскольку размеры каждой машины ограничены.

Напорная флотация нефтесодержащих сточных вод рекомендуется при содержании в исходной воде не более 250 мг/л нефтепродуктов [15, 16, 42, 43, 44, 103].

Насыщение воздухом производится в напорном резервуаре, рассчитываемом на 2—3 мин пребывания сточных вод. Подачу воздуха рекомендуется осуществлять через эжектор, устанавливаемый на перемычке между всасывающим и напорным трубопроводами. Флотационную камеру можно выполнять в виде горизонтального или радиального отстойников, оборудованных устройствами для съема пены с поверхности, со временем пребывания стоков 20—30 мин. При использовании реагентов — сернокислого алюминия 50 мг/л и активированной кремнекислоты 10 мг/л — остаточное содержание нефтепродуктов составит 30—50 мг/л (25—30% от начального содержания), без применения реагентов эффект очистки — 50—60%.

Зарубежный опыт очистки нефтесодержащих сточных вод напорной флотацией показывает, что в большинстве случаев остаточное содержание нефтепродуктов составляет 30—100 мг/л без применения реагентов и 12—35 мг/л — с применением их. Дозу сернокислого алюминия принимают 25—30 мг/л, продолжительность флотации 12—20 мин [11]. При невысоком начальном содержании нефти (до 100 мг/л), более продолжительном времени флотации и повышенных дозах реагентов (до 60 мг/л) удается снизить остаточное содержание нефтепродуктов до 4 мг/л [80].

Следовательно, эффект очистки нефтесодержащих стоков напорной флотацией достаточно высок, поэтому можно предположить, что в ряде случаев проведение напорной флотации в две ступени окажется технически и экономически целесообразным и обеспечит необходимую степень очистки.

При флотационной обработке, помимо снижения нефтепродуктов, значительно снижается химическое потребление кислорода. По данным Пратера [102], при обработке стоков без добавления реагентов общее ХПК снижается на 65—75%, а ХПК, создаваемое растворимыми загрязнениями, — на 15—20%. Добавление фосфатов снижает общее ХПК на 75—92%, а ХПК растворенных загрязнений — на 30—35%.

В отечественной практике флотация заняла прочное место в технологических схемах очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. Напорные или импеллерные флотационные установки входят в узел очистки стоков первой системы канализации НПЗ (маломинерализованные нефтесодержащие стоки, направляемые в оборот) и в узел очистки стоков от электрообессоливающих установок (ЭЛОУ) и сырьевых парков второй системы канализации НПЗ.

В соответствии с технологической схемой очистки стоков первой системы канализации НПЗ, сточные воды проходят через песколовки, нефтеловушки, пруды дополнительного отстаивания, флотационные установки, кварцевые фильтры и направляются в оборотную систему. Напорные флотационные установки могут устраиваться с рециркуляцией или без рециркуляции [19]. Насыщение воздухом происходит в напорных резервуарах в течение 1—2 мин при давлении 3—4 атм. Количество подаваемого воздуха — 5% от объема воды, перекачиваемой насосом. Продолжительность во флотационной камере — 20 мин, нагрузка на 1 м<sup>2</sup> поверхности водного зеркала 4—5 м<sup>3</sup>/ч. В схеме с рециркуляцией насосом подается очищенная жидкость в количестве 50% от расхода, поступающего на очистку. Естественно, что при таком соотношении очищаемой и рециркуляционной жидкости эффект очистки по схеме без рециркуляции выше.

Очистка сточных вод от ЭЛОУ осуществляется по аналогичной схеме, однако для достижения концентрации нефтепродуктов после флотации 20—25 мг/л необходимо добавление коагулянтов — хлорида железа, сульфата железа или сульфата алюминия

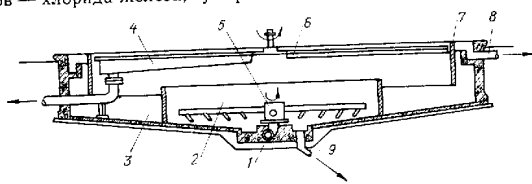


Рис. 27. Флотатор с вращающимся распределителем: 1 — подана на очистку; 2 — приемное отделение (центральная камера); 3 — флотационное отделение; 4 — шламприемник с выпуском; 5 — вращающийся распределитель; 6 — скребки; 7 — кольцевая перегородка; 8 — отвод очищенной воды; 9 — выпуск осадка.

в количестве до 50 мг/л. Объем шлама составляет около 5% от расхода сточной воды. Конструкция флотационной камеры для очистки стоков на НПЗ, разработанная ЦНИИ МПС (рис. 27), представляет собой радиальный отстойник со встроенной в центре приемной частью, оборудованной вращающимся водораспределителем.

По данным автора конструкции, такое распределение обеспечивает спокойный гидравлический режим и улучшает условия флотации [18, 52].

В большей степени загрязнены нефтепродуктами стоки железнодорожных промывочно-пропарочных станций, на которых производится обработка цистерн из-под сырой нефти (см. табл. 7).

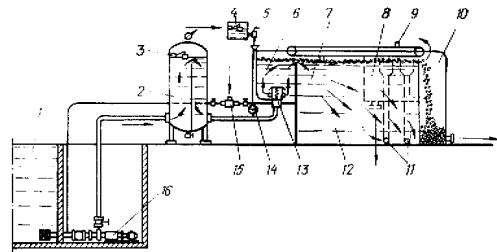


Рис. 28. Схема флотационной установки для очистки стоков промывочно-пропарочных станций:

1 — усреднитель; 2 — напорный бак; 3 — клапан выпуска воздуха; 4 — бак с коагулянтами; 5 — дозатор; 6 — приемное отделение; 7 — отстойное отделение; 8 — сборный карман; 9 — скребки; 10 — пеноприемник с выпуском; 11 — выпуск осветленной воды; 12 — флотационная камера; 13 — выпускной клапан; 14 — сетчатый фильтр; 15 — эжектор; 16 — насос.

Нефть в этих стоках отличается высокой эмульгированностью, так как со стенок цистерн она смывается сильными ударами водяных струй. Для лучшей очистки цистерн в промывочную воду иногда приходится добавлять моющие средства. Несмотря на небольшое количество стоков (500—700 м<sup>3</sup>/сут), они требуют тщательной очистки. Большая работа по очистке таких сточных вод была проделана в ЦНИИ МПС [17, 18], где разработан целый ряд конструкций флотационных установок небольшой производительности, которые можно использовать и для очистки других категорий сточных вод. Эти установки могут быть заводского изготовления.

На рис. 28 показана флотационная установка производительностью 30 м<sup>3</sup>/ч. Конструктивными особенностями этой установки являются: оборудование напорного бака поплавковым краном для автоматического выпуска избыточного воздуха, размещение в приемной части флотационной камеры пружинного выпускного клапана, регулирующего давление в напорной линии и баке, защита воздушного эжектора от засорения с помощью сетчатого фильтра. Продолжительность очистки 18—20 мин. Содержание нефти при добавлении коагулянта (100—200 мг/л глинозема) снижается со 150—120 мг/л до 26—25 мг/л, механические приме-

си удаляются на 85—90%. Без коагуляции эффект очистки значительно хуже.

Дальнейшее совершенствование конструкций флотационных установок небольшой производительности привело к созданию двухступенчатой флотационной установки (рис. 29). В основу ее

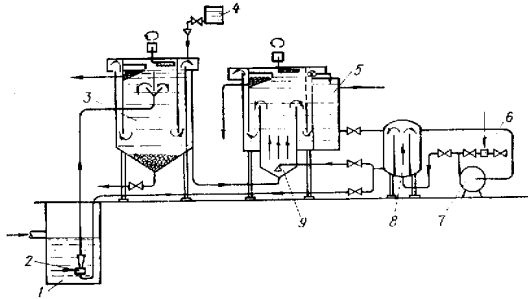


Рис. 29. Схема двухступенчатой флотационной установки:  
1 — сборный резервуар; 2 — гидроэлеватор; 3 — нефтеловушка; 4 — дозатор коагулянта; 5 — карман очищенной воды; 6 — эжектор; 7 — насос; 8 — напорный бак; 9 — флотационная камера.

положен напорный способ флотации с насыщением воздухом рециркуляционной жидкости (рециркуляционное отношение — 1:1). Насыщенная воздухом очищенная жидкость используется, во-первых, как рабочая жидкость гидроэлеватора, поднимающего обрабатываемую воду из приемной камеры на первую ступень флотации (авторы называют ее нефтеловушкой флотационного типа), и, во-вторых, для насыщения воздухом обрабатываемой воды на второй ступени флотации.

В гидроэлеваторе происходит хорошее смешение обрабатываемой и рециркуляционной жидкости, что способствует флотации нефти в нефтеловушке. Продолжительность пребывания стока на первой ступени очистки — 20 мин, на второй — 13 мин (3 мин — в приемной части, 10 мин — в отстойной). Содержание нефти на первой ступени снижалось с 1000—3500 мг/л до 180—300 мг/л, а на второй — до 70—110 мг/л без коагуляции и до 40—50 мг/л при добавлении 100 мг/л глинозема.

Дальнейшие попытки добиться более высокого эффекта очистки от нефти завершились созданием многокамерной флотационной установки (рис. 30). Нефтепродукты с помощью гидроэлеватора, потребляющего около 50% рециркуляционного расхода, поднимаются в камеру грубой очистки, в центре которой установлен гидроциклон, а затем последовательно проходит че-

рез три флотационных отделения и отстойную камеру. Флотационные отделения рассчитываются на 4—5 мин пребывания стоков, в каждое отделение подается 15—20% рециркуляционного расхода. Общая продолжительность обработки стоков — 20—25 мин. На установке успешно очищали сточные воды, содержа-

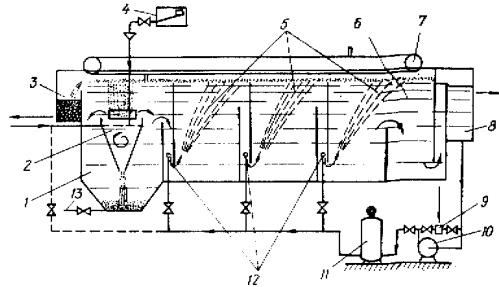


Рис. 30. Схема многокамерной флотационной установки:  
1 — камера грубой очистки; 2 — безнапорный гидроциклон; 3 — пеноуловитель; 4 — дозатор коагулянта; 5 — флотационные отделения; 6 — отстойное отделение; 7 — скребковый механизм; 8 — карман очищенной воды; 9 — эжектор; 10 — насос; 11 — напорный бак; 12 — перфорированные трубы для подачи рециркуляционной воды; 13 — выпуск осадка.

щие до 5700 мг/л нефти. После камеры грубой очистки нефти оставалось 100—300 мг/л, после трехкратной флотации — 50—100 мг/л, а при добавлении коагулянта (100—150 мг/л) — 20—40 мг/л.

В технологическую схему очистки больших количеств балластных вод танкеров флотация включается как один из основных элементов. Наилучшей конструкцией флотационной установки явилась камера с вращающимся водораспределителем [18, 55], которая может обеспечить остаточные концентрации нефти менее 20 мг/л даже без нефтеловушек.

Нефтепродукты сточные воды пробовали очищать также электрофлотацией.

По данным И. В. Герасимова [6], при очистке общего стока нефтеперерабатывающего завода электрофлотацией в несколько ступеней остаточное содержание нефтепродуктов составило 10 мг/л, при начальной концентрации — 200 мг/л. Расход электроэнергии при этом составил 0,28—0,55 квт на 1 м<sup>3</sup> очищенной воды, а расход железа — 25% от количества удаленных нефтепродуктов.

Опыты по применению электрофлотационного способа для очистки сточных вод на Горьковском нефтемазозаводе дали следующие результаты. В одноступенчатом флотаторе с железны-

ми электродами достигалось снижение количества нефтепродуктов в общем стоке с 376 мг/л до 23 мг/л при расходе электроэнергии 0,6—0,9 кВт на 1 м<sup>3</sup>, а в стоке из маслоочистного цеха с 1750 мг/л до 23—215 мг/л при расходе электроэнергии 2—4,8 кВт на 1 м<sup>3</sup>.

Применение алюминиевых электродов увеличивало расход электроэнергии в несколько раз.

#### Сточные воды вискозного производства

Исходным сырьем для получения вискозного волокна является древесная целлюлоза. В процессе ее переработки используется целый ряд химических материалов: едкий натрий, сероуглерод, серная кислота, сульфат цинка, красители, замазкоставители и др. Кроме того, в результате химического взаимодействия образуются дополнительно различные химические соединения: сульфат натрия, сероводород, сера, сернистый цинк и целый ряд других сернистых и карбонатных соединений. Во время различных операций, связанных с получением и отделкой волокна, все или часть указанных веществ попадает в канализацию.

Во избежание взаимодействия отдельных ингредиентов, входящих в состав сточных вод, сопровождающегося выделением взрывоопасных и отравляющих газов или твердой фазы, сточные воды отводятся на очистные сооружения по трем самостоятельным сетям: кислой (содержащей кислоты), щелочной (содержащей щелочи) и вискозной (содержащей отходы вискозного раствора).

Государственный институт проектирования предприятий искусственного волокна подсчитал сброс загрязнений в сточные воды (табл. 6).

Таблица 6

Содержание загрязнений в сточных водах вискозного производства, кг на 1 т выпускаемой продукции

Загрязнения	Сток		
	кислые	щелочные	вискозные
Едкий натрий	—	66—126	12—22
Серная кислота	275—426	—	—
Сульфат натрия	566—1140	0—280	—
Сульфат цинка	0—100	—	—
Сероводород	4—23	0—5	4—10
Сероводород	0—3	0—0,25	—
Альфацеллюлоза	—	—	11—25
Гемцеллюлоза	12—29	0—14	2—4
Краситель	0—2,5	—	0—2
Замазкоставитель	0—0,4	0—10	0—2

Примечание. Количество кислых стоков 370—600 м<sup>3</sup>/т, щелочных 10—180, вискозных 15—40.

Как видно из таблицы, количество сточных вод и загрязнений и их распределение по категориям стоков изменяются в широких пределах в зависимости от вида продукции и от соотношения видов, выпускаемых одним предприятием, что усложняет технологию очистки сточных вод, требуя в каждом отдельном случае особого подхода к проблеме их обработки.

Существующие методы и технология очистки сточных вод вискозного производства, несмотря на значительный объем сооружений (время пребывания в вискозных отстойниках и отстойниках-нейтрализаторах до 36 ч) имеют ряд недостатков, что сказывается на эффекте очистки промстоков и зачастую приводит к сбросу в водоем сточных вод, не удовлетворяющих требованиям санитарных и рыбохозяйственных норм.

В поисках более эффективных, чем простое отстаивание, методов осветления вискозных сточных вод были проделаны опыты по флотационной очистке их. Опыты показали, что выделение взвешенных веществ методом флотации происходит гораздо быстрее, чем при отстаивании с более высоким эффектом осветления.

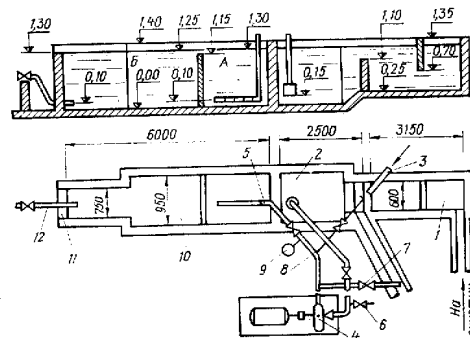


Рис. 31. Схема экспериментальной флотационной установки: 1 — камера реакции; 2 — камера нейтрализации; 3 — подача известки; 4 — насос; 5 — подающий трубопровод; 6 — воздушный патрубок; 7 — сброс избыточной воды; 8 — подача воздуха на перемешивание с известью; 9 — манометр; 10 — флотационная камера (А — приемная часть, Б — отстаивная часть); 11 — бортик перелива шлама; 12 — выпуск шлама.

Экспериментальная флотационная установка, построенная на очистных сооружениях Каменского комбината искусственного волокна (рис. 31), имела производительность 15 м<sup>3</sup>/ч при времени пребывания стоков в отстаивной части 22,5 мин.

Основными элементами ее являются: подводящие каналы, камера реакции, камера нейтрализации, флотационная камера и насосный агрегат.

Флотационной очистке в процессе исследований подвергались вискозный сток, подкисленный частью кислого стока; общий смешанный сток (без известкования) и общий смешанный сток с предварительным известкованием его.

Работа установки происходит следующим образом.

Сточные воды поступают в камеру реакции, назначение которой для коагуляции вискозного раствора и образования гидратцеллюлозных хлопьев.

При очистке стоков с известкованием на выходе из камеры реакции вводится известковое молоко в количестве, обеспечивающем рН=9—10 или избыточную щелочность 190—240 мг/л. Из камеры нейтрализации сточные воды забираются насосом, на всасывающем трубопроводе которого имеется патрубок для подсоса воздуха, и перекачиваются в приемную часть флотационной камеры.

Здесь поступивший через воздушный патрубок и растворившийся в корпусе насоса при давлении 2,5 атм воздух при резком падении давления до атмосферного выделяется в виде микропузырьков, которые, прилипая к хлопьям гидратцеллюлозы и другим нерастворимым частицам, обеспечивают их всплытие и удержание на поверхности.

Вводить флотореагенты при очистке вискозных сточных вод не нужно, так как в самих сточных водах они присутствуют в достаточном количестве в виде ксантогенатов, тритиокарбонатов, минеральных масел, олеиновой кислоты или других веществ с высокой поверхностной активностью, попадающих в сточные воды при замасливание волокна, что обеспечивает флотацию нерастворенных веществ с различными свойствами.

Особую роль в процессе флотации играют гидратцеллюлозные хлопья, сорбирующие на своей поверхности не только пузырьки воздуха, но и мелкие частицы минерального происхождения, и выносящие их в пенный слой.

Затем сточные воды поступают в отстойную часть флотационной камеры, где происходит окончательное разделение твердой и жидкой фаз: осветленная вода отводится снизу, а шлам собирается и уплотняется на поверхности. Влажность его может быть доведена до 92—90%, однако при влажности менее 95% шлам не течет и перемещать его по трубам или лоткам затруднительно.

В результате производственных исследований получены рекомендации по проектированию флотационных установок для очистки сточных вод вискозного производства:

1. В сточных водах, поступающих на очистку, должно быть обеспечено содержание свободной серной кислоты не ниже определенной величины, исходя из которой назначается время пребывания стоков в камере реакции.

Рекомендуемое содержание кислоты (400—500 мг/л) обеспечивает быструю и полную коагуляцию вискозного раствора при незначительном времени пребывания стоков в камере реакции. Однако по ряду причин не удается поддерживать такую концентрацию кислоты, поэтому содержание свободной серной кислоты в общем смешанном стоке должно быть не менее 200 мг/л.

Если баланс кислоты и щелочи в смешанном стоке не обеспечивает такое содержание кислоты, то необходимо производить подкисление смеси сточных вод серной кислотой. Поддержание кислотности на определенном уровне может быть достигнуто с помощью усреднителей или буферных резервуаров кислого стока или более равномерным сбросом кислоты и щелочи в канализацию.

Перед флотацией следует задержать крупные механические примеси — волокна скоагулировавшейся комками вискозы и т. п., поэтому в технологическую схему очистки стоков должны быть включены решетки.

2. Время пребывания сточных вод с температурой 25—30°C в камере реакции назначается в зависимости от минимального содержания свободной серной кислоты в смеси сточных вод:

Содержание серной кислоты, мг/л	Более 400	400—300	300—200
Время пребывания, мин	15—20	20—35	35—60

При уменьшении температуры смеси до 20°C его необходимо увеличивать на 15—20%.

Время пребывания сточных вод в камере нейтрализации — 10 мин.

3. В камерах реакции и нейтрализации сточные воды должны хорошо перемешиваться, что достигается:

- устройством перегородок;
- установкой механических мешалок;
- продувкой воздухом через фильтровые плиты или дырчатые трубы (1—2 м³ воздуха на 1 м³ сточных вод).

Последнее наиболее рационально, так как обеспечивает не только хорошее перемешивание стоков, но и способствует окислительным процессам в сточных водах, снижая дефицит кислорода в них.

Камеры реакции и нейтрализации следует проектировать разделенными на несколько (не менее двух) самостоятельных отделений, которые можно выключать из работы для осмотра и очистки.

4. При самотечной высотной схеме очистных сооружений насосы, устанавливаемые для подачи сточных вод из камер реакции или нейтрализации в приемную часть флотационной камеры, должны обеспечить перекачку 75% стоков в период их максимального притока при давлении 2,5 атм с тем, чтобы остальные 25% сточных вод поступали в приемную часть самотеком, для

чего устраивают соответствующий перепуск между камерой реакции или нейтрализации и флотационной камерой.

Если же в соответствии с высотной схемой расположения сооружений требуется перекачка стоков на более высокую отметку, то при равномерной работе насосов камерам реакции и нейтрализации могут быть приданы функции регулирующих емкостей, что соответственно отразится на их объеме; при неравномерной же подаче потребуются регулирование путем включения и выключения насосов.

Независимо от высоты требуемого подъема стоков давление, создаваемое насосами, должно быть не менее 2,5 *атм*, чтобы был обеспечен необходимый удельный расход воздуха.

5. Флотационная камера делится вертикальной перегородкой на две части — приемную, куда перекачиваются стоки, и отстойную, где происходит их осветление.

Объем приемной части определяется из условий размещения в ней впускных устройств, обеспечивающих равномерное распределение воды по ширине камеры и перемешивание сточных вод, подаваемых насосами, с поступающими самотеком. Ориентировочно объем приемной части может быть принят из расчета пятиминутного пребывания в ней сточных вод.

Время пребывания сточных вод в отстойной части при очистке вискозного или общего известкованного стока должно приниматься 20—25 *мин*, при очистке общего известкованного стока — 22—27 *мин*. К полученному таким образом объему отстойной части должен быть прибавлен объем, соответствующий количеству образующегося шлама при принятом периоде его накопления (см. ниже).

На рис. 32 представлена схема флотационной камеры. Рекомендуемые величины (размеры) отдельных элементов флотационной камеры в соответствии с принятыми на рис. 5 обозначениями:

$H$  — глубина отстойной части, 2—2,5 м;

$b$  — ширина камеры, 2—3 м;

$L:b$  — отношение длины к ширине, 4 : 6;

$h_2-H$  — высота борта камеры над уровнем воды, 0,2—0,3 м;

$H-h_4$  — глубина погружения перегородки, м; должна обеспечивать скорость протекания воды над перегородкой 0,5—0,7 м/сек;

$H-h_1$  — глубина погружения борта шламоотводящего лотка, м; должна равняться  $\frac{1}{3}$  толщины накопленного шлама к моменту его сброса;

$H-h_3$  — глубина погружения скребка, м; должна равняться  $\frac{1}{3}$  толщины накопленного шлама к моменту его сброса.

Скорость перемещения скребков должна быть равна скорости движения шлама над бортом шламоотводящего лотка при принятой продолжительности сброса шлама (10—15 *мин*).

При длине камеры более 10 м рекомендуется предусматривать

подачу части (примерно 15—20%) сточной жидкости, насыщенной воздухом, непосредственно в отстойную часть камеры по 1—2 дополнительным напорным линиям. Это позволит накапливать шлам более равномерным слоем и обеспечит одинаковую насыщенность его воздухом по длине камеры.

6. Объем образующегося шлама и его влажность определяются в зависимости от начального содержания взвешенных ве-

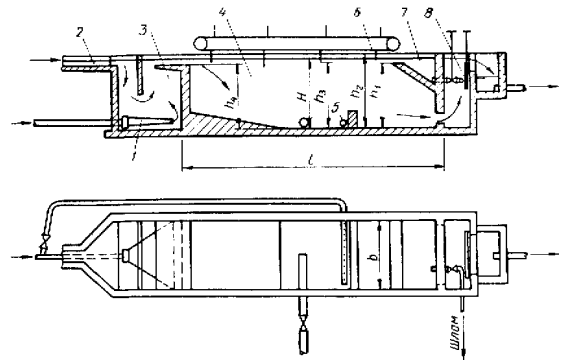


Рис. 32. Конструктивная схема горизонтальной флотационной камеры:  
1 — подача воды насосом (с воздухом); 2 — поступление воды самотеком; 3 — приемное отделение; 4 — флотационное отделение; 5 — дополнительный трубопровод подачи воды во флотационное отделение; 6 — скребковый транспортер; 7 — шламопрелиник; 8 — регулятор уровня воды.

ществ и периода его накопления по графикам, представленным на рис. 33, а, б, или по формулам (1) — (4).

При транспортировании шлама на дальнейшую обработку самотеком период его накопления на поверхности отстойной части следует принимать таким, чтобы влажность шлама находилась в пределах 94,3—94,7%.

7. При очистке сточных вод вискозного производства флотацией достигается следующий эффект.

Взвешенные вещества задерживаются при очистке вискозного стока на 98,0%, общего — на 96%, общего известкованного — на 96,5%. В том числе гидратцеллюлозные компоненты задерживаются на 98,3%, при очистке общего стока — на 97,5%, общего известкованного — на 97,2%.

Вынос взвешенных веществ без учета гидроксида цинка может быть принят в соответствии с табл. 7;

Эффект очистки от сероуглерода и сероводорода зависит от первоначального содержания их (табл. 8); от цинка при подщелачивании стоков известью до pH=9-10.

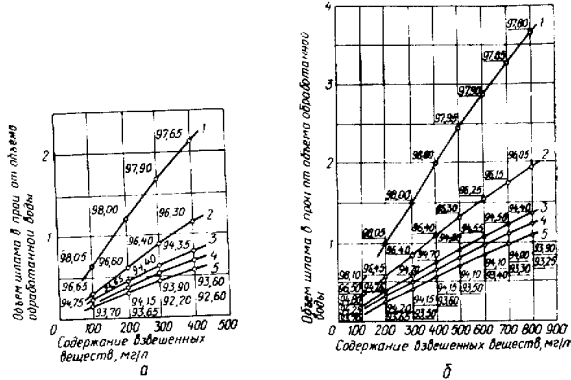


Рис. 33. Зависимость влажности (проц) и объема шлама от содержания взвешенных веществ и времени накопления шлама, ч: а — при очистке общего стока; б — при очистке общего известкового стока (с учетом образования гидроксидов цинка), 1-5 — продолжительность соответственно 1; 2; 4; 6 и 8 ч.

В осветленной воде после флотации содержится цинка 5-7 мг/л.

Таблица 7  
Содержание взвешенных веществ в осветленной воде при очистке стоков флотацией

Вид стока	Содержание взвешенных веществ в воде, мг/л	
	исходной	осветленной
Вязкий или общий	До 700	10-15
	Более 700	15-20
Известковый	До 600	15-20
	Более 600	20-30

При автоматизации процесса нейтрализации и строгом поддержании оптимального значения pH остаточная концентрация цинка может быть поведена до 1-2 мг/л.

Таблица 8

Эффективность очистки сточных вод от сероуглерода и сероводорода

Вид стока	Эффект очистки, проц., при начальном содержании, мг/л							
	сероуглерода				сероводорода			
	50	100	200	250	50	100	150	200
Вязкий (подкисленный)	10	18	28	34	10	18	23	43
Общий	18	25	44	50	9	18	27	32
Общий известковый	18	26	45	51	12	22	33	37

Примечание. Для вязкого стока при начальном содержании сероуглерода 300 мг/л эффект очистки составил 40%, а при 400 мг/л — 60%.

Гемцеллюлоза задерживается при очистке вязкого стока на 43,8%, общего — на 42,8%, общего известкового — на 43%.

Снижение окисляемости происходит при очистке вязкого стока — на 48,5%, общего — на 46,0%, общего известкового — на 50,0%; прозрачность осветленной воды по шрифту составляет 10-16 см.

При очистке вязкого и общего стоков осветленная вода бесцветна, а общего известкового — имеет слабый желтоватый оттенок.

Одна из предлагаемых технологических схем очистки сточных вод заводов искусственного волокна представлена на рис. 34.

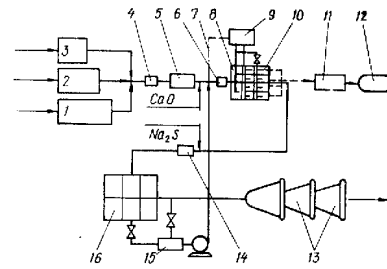


Рис. 34. Примерная технологическая схема очистки сточных вод вязкого производства:

1-3 — уреднители кислото, щелочного и вязкого стоков; 4, 5 — смесители; 6 — камера реакции; 7 — подвж воздуха на перемишывание; 8 — камера нейтрализации; 9 — насосно-компрессорная; 10 — камера флотации; 11 — сооружения по обесцвливанию шлама; 12 — шламонакопители; 13 — пруды; 14 — окислитель-реактор; 15 — резервуар промывной воды; 16 — фильтры.

В соответствии с приведенными рекомендациями Союзводоканалпроектом были запроектированы очистные сооружения Красноярского завода искусственного волокна.

Проведенные пуско-наладочные работы выявили некоторые конструктивные недостатки флотационных камер, связанные в основном с большой их длиной (35,8 м при ширине 2,8 м). Отмечалось образование в противоположной от впуска жидкости части камеры очень легкого, разрушающегося, особенно при работе скребков, шлама, что ухудшало эффект очистки [32]. Кроме того, в начале отстойной части создавалась значительная водоворотная область, мешающая образованию и существованию агрегатов пузырек-частица. В связи с этим наладчиками предложено внести изменения в конструкцию камер, сущность которых заключается в распределении подачи сточной жидкости на флотацию по всей длине флотокамеры. Необходимо однако отметить, что при проектировании флотокамер учитывалась возможность возникновения упомянутых нежелательных явлений. Для их предотвращения предусматривалась подача части сточной жидкости от насосов по специальным трубопроводам прямо в отстойные отделения камер. Однако в самом начале пуско-наладочных работ эти трубопроводы были ликвидированы и влияние такой подачи стоков на очистку не установлено. В дальнейшем же пришлось вернуться к этой схеме только в другом, более совершенном конструктивном исполнении.

При изучении работы очистных сооружений было установлено также отрицательное влияние на эффект флотации загрязнений значительного удаления флотационных камер от камер реакции и нейтрализации (около 5 км). Во время движения по трубопроводу теряется флотационная активность гидратцеллюлозных хлопьев и гидратов окисей металлов, образующихся в камерах реакции и нейтрализации, что ухудшает процесс прилипания их к пузырькам воздуха. Добавление полиакриламида непосредственно перед флотацией в дозах 0,5—1 мг/л в данном случае улучшает флотуемость загрязнений. Возможности применения флотации при очистке сточных вод вязкого производства не ограничиваются очисткой вязкого или общего стоков.

Исследования, проводившиеся на Сокальском заводе искусственного волокна, показали, что флотационные установки могут найти место в технологических схемах по регенерации цинка из кислых цинкосодержащих стоков [40].

Разработанный в Украинском институте инженеров водного хозяйства электролитический способ извлечения цинка из осадка кислого цинкосодержащего стока проверялся на комплексе экспериментальных полупроизводственных установок, моделирующих полную технологическую схему как очистки цинкосодержащего стока, так и обработки осадка и регенерации из него цинка. Средняя производительность экспериментального комплекса 5 м<sup>3</sup>/ч.

62

На основании проведенных лабораторных и полупроизводственных исследований определены оптимальные технологические режимы и разработана технологическая схема (рис. 35) очистки кислых цинкосодержащих стоков с электролитической регенерацией цинка из осадка. Кислые цинкосодержащие стоки поступают в усреднитель, куда подается часть щелочного реагента для

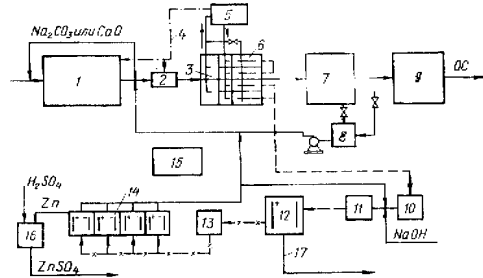


Рис. 35. Схема очистки кислых цинкосодержащих стоков с электролитической регенерацией цинка. ОС — в общий сток; 1 — усреднитель; 2 — смеситель; 3 — камера нейтрализации; 4 — подача воздуха на перемешивание; 5 — насосно-компрессорная; 6 — камеры флотации; 7 — пенополистирольные фильтры; 8 — резервуар промывной воды; 9 — ионообменные фильтры; 10 — сборник шлама; 11 — бак приготовления цинката; 12 — электрофлотационная установка; 13 — бак чистого цинкатного раствора; 14 — электролизеры; 15 — реактивное хозяйство; 16 — приготовление раствора сульфата цинка и направление его в производство; 17 — шлам в накопитель.

облегчения его последующей точной дозировки перед смесителем. Доза извести или соды должна обеспечивать рН=9—10. Из нейтрализатора сточные воды насосами, располагаемыми в насосной станции, направляются во флотационные камеры. Насыщение стоков воздухом осуществляется при давлении 3,5 атм в течение 1,5—2 мин. Продолжительность пребывания стоков во флотокамерах 35 мин. Осветленный сток направляется на пенополистирольные фильтры с высотой загрузки 1,2 м (скорость фильтрации 5 м/ч, интенсивность промывки 7 л/сек·м<sup>2</sup>, продолжительность промывки 3—4 мин), а затем, на ионообменные фильтры для доочистки от цинка.

Шлам влажностью 92—93%, содержащий цинк в виде гидроксидов, направляется в сборник. Содержащийся в шламе цинк снова переводится в растворенное состояние в баке приготовления цинката раствором едкого натра. Объем добавляемого раствора щелочи устанавливается из условия, чтобы концентрация цинка в смеси была не менее 8—10 г/л, а концентрация щело-

63



чи — 200 г/л. Дальнейшая операция состоит в осветлении раствора цинката, т. е. удалении из него грязи и взвешенных веществ. Для этого используется электрофлотация с нерастворимыми электродами. Продолжительность электрофлотации 30 мин, плотность тока на электродах — 800 а/м<sup>2</sup> при напряжении 6—8 в. Вторичный шлам в объеме 20—30% от объема смеси удаляется в шламонакопитель, а очищенный цинкатный раствор на электролизе. За счет возврата цинка в производство себестоимость очистки 1 м<sup>3</sup> стока снижается в 3—5 раз.

#### Сточные воды кожевенных заводов

Сырьем для производства различных видов кож служат шкуры домашних и диких животных. В процессе их обработки употребляют большое количество различных химических веществ, таких как серная кислота, известь, кальцинированная сода, сульфат аммония, поверхностно-активные вещества — смачиватели, керосин, метиловые эфиры, патока, синтаны и другие, которые попадают в сточные воды и сбрасываются в канализацию. Кроме того, в сточные воды переходят и химические компоненты самих шкур: белки, жиры и жироподобные вещества, некоторые минеральные вещества, содержащие натрий, калий, кальций и другие элементы.

В зависимости от местных условий и принятой технологической схемы очистки сточных вод, они могут отводиться либо единой сетью (общий сток), либо из общего стока могут выделяться кислые дубильные, содержащие в значительных концентрациях хром (от операций дубления и последующей промывки) и щелочные зольные (от операций золена и последующих промывок). В оставшуюся часть общего стока входят стоки от операций отмочки, обезжиривания, нейтрализации, обезжиривания, жирования, крашения и промывок, завершающих каждую из этих операций. Реакция этого стока слабощелочная.

Удельное количество сточных вод в расчете на 1000 дм<sup>2</sup> готовой продукции составляет от 2 до 9,5 м<sup>3</sup>, меньшие значения характерны для выпуска жестких кож, большие — для хромовых.

Количество сточных вод, образующихся при некоторых отдельных операциях, и основные показатели загрязненности их приведены в табл. 9, составленной по данным исследований на кожевенном заводе им. Ильича в Бердичеве, на заводах Ленинградского кожобъединения и по ряду литературных данных [26, 69].

Состав загрязнений сточных вод и их концентрации широко изменяются, что усложняет выбор способов очистки и технологических схем очистных сооружений и их эксплуатацию. Большинство исследователей, изучавших различные очистные сооружения кожевенных заводов, отмечали существенные недостатки в их работе и, соответственно, невысокий эффект очистки. Поэтому

Таблица 9

Характеристика сточных вод кожевенных заводов

Наименование показателей	Сток		
	общий	вольный	хромосодержащий
содержание в воде взвешенных веществ плотного остатка	2,0—12,0	0,8—5,5	0,5—1,5
хрома	4,0—11,5	9,5—15,0	22,0—170,0
сульфидов	0,05—0,3	0,0	0,1—5,3
жира	0,05—0,3	0,15—2,0	—
ПАВ	0,2—0,8	0,0—0,6	0,06—0,25
фенола	0,0—75,0	0,0	—
рН	0,0—4,0	0,0	—
ХПК, г/л	8,5—11,5	9—12	3—6,5
БПК <sub>5</sub> , г/л	2,5—3,2	—	1,8—6,1
	0,7—1,5	0,1—2,0	0,5—4,5

му исследованию в этой области продолжают, а разработка новых методов и технологических схем очистки продолжает оставаться задачей весьма актуальной.

В последние годы много внимания уделялось изучению возможности использования флотации при очистке сточных вод кожевенных заводов [50, 51, 68]. Наличие в стоках ПАВ, жира и жироподобных веществ позволяет применять данный метод. По отношению же к очистке стоков от самих ПАВ, он, в данном случае, пока остается единственно приемлемым. Поэтому не случайно, что одна из первых технологических схем с флотацией, предложенная для кожзаводов в Московском инженерно-строительном институте [23, 24] рассматривает флотацию, в первую очередь, как метод очистки стоков от ПАВ. Схема эта представлена на рис. 36. В качестве комментария к данной схеме следует сказать, что «свежие» стоки некоторых кожзаводов, несмотря на значительное содержание ПАВ, при продувке воздухом пенятся плохо или совсем не вспениваются. Обильное вспенивание, необходимое для удаления ПАВ, начинается только после выдерживания стоков в течение 12—20 ч. Интенсивная аэрация (20—40 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>·ч) в этот период приближает начало пенообразования. Поэтому при реализации данной схемы нельзя сводить продолжительность усреднения и отстаивания к минимуму, наилучшей же конструкцией усреднителя будет усреднитель с аэрацией.

В более широком плане изучались возможности применения флотации при очистке сточных вод кожевенных заводов в Украинском институте инженеров водного хозяйства [39, 56, 57] и Новочеркасском политехническом институте [50, 51]. Исследования напорный и безнапорный способы флотации, импеллерная и электрофлотация на различных этапах обработки сточных вод и в различных вариантах технологических схем.

Как показали опыты, флотация при очистке сточных вод кожевенных заводов может применяться для очистки общего стока от отдельных компонентов — шерсти, жира, ПАВ; осветления и очистки общего стока в сочетании с обработкой его коагулирующими реагентами; локальной очистки стоков отдельных операций, напри-

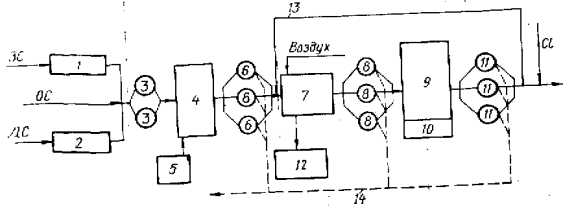


Рис. 36. Технологическая схема очистки сточных вод кожевенных заводов, разработанная в МИСИ: ЗС — общий сток; ОС — дубильные стоки; ДС — горюче-отмочные стоки; 1 — песколовка; 2 — уловитель; 3 — станция регенерации хрома; 4 — узел ликвидации пены; 5 — реактивная станция; 6, 8, 11 — отстойники; 7 — флотатор; 9 — аэротенк-смеситель; 10 — регенератор; 12 — узел ликвидации пены; 13 — рециркуляционный трубопровод; 14 — осадок на иловые площадки.

мер, для очистки сбросных хромовых соков свиного хрома или смеси хромовых соков свиного и ялового хрома (отходные хромовые соки ялового хрома флотацией очищаются плохо), в том числе с применением реагентов (подщелачивание хромосодержащих стоков с последующей флотацией гидроокиси хрома) и для очистки стоков отмочки и зольнения от шерсти и жира.

Наиболее приемлемыми оказались напорная и безнапорная, а также электрофлотация, особенно в сочетании с электрокоагуляцией.

Все исследования выполнялись сначала на лабораторных, а затем на полупроизводственных установках различных конструкций и производительности.

Так, на кожевенном заводе им. Ильича в г. Бердичеве под полупроизводственную флотационную установку была выделена часть действующей жироловки. На ней изучалась возможность очистки стока от шерсти и жира напорной и безнапорной флотацией. Последняя на основании анализа результатов исследований показала свою приемлемость. Аналогичные исследования были проведены в производственных условиях на Ленинградском кожевенном заводе им. Коминтерна, где один из действующих отстойников был переоборудован во флотационную установку. Результаты исследований приведены в табл. 10. Технологические параметры, при которых определялась эффективность работы установок на кожевенных заводах, приведены в табл. 11.

66

Таблица 10

Эффективность очистки общего стока кожевенного завода безнапорной флотацией

Загрязнения	Кожевенный завод им. Ильича			Кожевенный завод им. Коминтерна		
	Содержание загрязнений, мг/л		Эффект очистки, проц.	Содержание загрязнений, мг/л		Эффект очистки, проц.
	на поступлении	на выходе		на поступлении	на выходе	
Взвешенные вещества	1890	1215	35	4000	2380	40,5
Жиры	1533	376	75	—	4,4	91,2
Шерсть	42,3	0,99	97,6	121	97	20
Хром	78,4	59	24,8	314	278	11,5
Сульфиды	—	—	—	1070	850	21,3
Окисляемость ПАВ	22	20	6	26	17,1	34,3

Таблица 11

Технологические параметры работы установок на кожевенных заводах

Наименование показателей	Единица измерения	Кожевенные заводы	
		Бердичевский	Ленинградский им. Коминтерна
Производительность установки	м <sup>3</sup> /ч	5—7	30—45
Количество воздуха, подаваемого во всасывающий патрубок насоса	Проц. от расхода воды	2	3 (при насыщении 50% стока)
Продолжительность пребывания во флотационной камере	мин	20	30

Влажность и количество шлама, всплывающего на поверхность, зависят от продолжительности его накопления. Так, через 60 мин после начала флотации влажность шлама составляет 94—95%, а объем достигает 0,7—0,8% от количества обработанной воды. Через 8 ч накопления шлама его влажность снижается до 84%, а объем составляет 0,3—0,35%. Гидравлическая транспортировка такого шлама невозможна.

В 1 м<sup>3</sup> шлама влажностью 84% содержится 10—20 кг шерсти и 15—50 кг жира, что позволяет ликвидировать шлам путем сжигания, а при необходимости из него можно извлекать жир или шерсть.

На дно флотационной камеры выпадает осадок, объем которого после 8 ч накопления составляет 0,35% от количества очищенной воды при влажности 94—95%. Такие параметры осадка получаются при предварительной «грубой» очистке стока на решетках и ситах или отстойниках (15—20 мин отстаивания). Оса-

5\*

67

док содержит органические и минеральные вещества, в том числе 15—20% задержанного на установке жира, он подвижен и может транспортироваться по трубам.

На рис. 37 показана принципиальная конструкция флотационного шерстежирулаивателя производительностью 150 м<sup>3</sup>/ч.

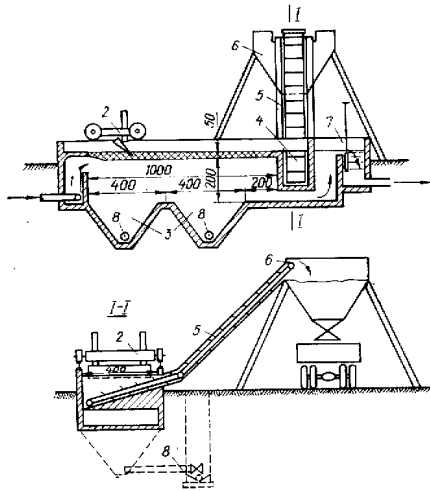


Рис. 37. Флотационный шерстежирулаиватель (для кожевенных заводов) производительностью 150 м<sup>3</sup>/ч:  
1 — приемное отделение; 2 — скребок-тележка; 3 — бункера для осадка; 4 — вилкоприсоски; 5 — ковшовый транспортер; 6 — бункер для шлама; 7 — регулятор уровня воды на выпуске; 8 — выпуск осадка.

При вывозе шлама автотранспортом, сжигании или использовании его необходим бункер. При частом удалении (1—2 раза в час) он может транспортироваться самотеком по той же линии, что и осадок. Внедрение безнапорной флотации на кожевенном заводе им. Коминтерна позволило вдвое сократить затраты на вывозку осадка.

Непосредственная флотационная обработка сточных вод (см. табл. 10) кожевенных заводов обеспечивает значительное удаление из них только жира и шерсти. Концентрация остальных загрязнений остается достаточно большой, что связано с содержа-

нием в стоках сильнодиспергированных, коллоидальных и растворенных органических веществ, успешное удаление которых требует изменения их агрегативной структуры. Нарушение агрегативной устойчивости этих веществ, в том числе и белка, достигается реагентной обработкой сточных вод или электрохимичес-

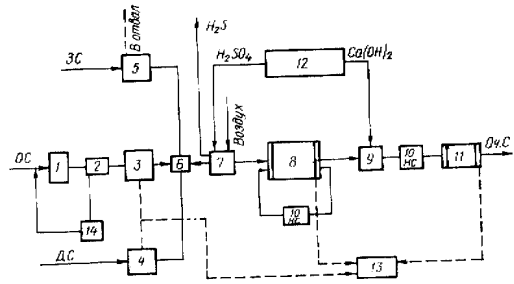


Рис. 38. Технологическая схема двухступенчатой флотационной очистки сточных вод кожевников:

3С — зольные стоки; ОС — общий сток; ДС — дубильные стоки; 1 — решетки; 2 — песколовки; 3 — отстойник общего стока; 4, 5 — сборники зольного и дубильного стоков; 6 — смеситель стоков; 7 — камера реакции и аэрации; 8 — 1-я ступень флотации; 9 — камера подщелачивания; 10 — насосные станции; 11 — 2-я ступень флотации; 12 — реагентное хозяйство; 13 — обезвоживание шлама и осадков; 14 — песковые площадки.

кой (электрокоагуляция). Реагентная обработка стоков заключается в подкислении стоков серной кислотой с последующим подщелачиванием, продувке стоков дымовыми газами для снижения pH (способ недостаточно аргументирован экспериментально), обработке стоков различными коагулянтами.

Исследования по обработке стоков кожевенных заводов серной кислотой и известью при двухступенчатом флотационном осветлении их проводились в Новочеркасском политехническом институте, на предприятиях Ростовского кожобъединения. В одной из рекомендуемых схем (рис. 38), сточные воды, предварительно освобожденные от крупных механических примесей, поступают в аэратор для подкисления (до pH=4,5—5) стоков и выдувания образующегося сероводорода. Продолжительность аэрации 20 мин, удельный расход воздуха 10 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> сточных вод. Подкисление вызывает интенсивное хлопьеобразование в сточных водах вследствие коагуляции белковых соединений. Образовавшиеся хлопья отделяются на первой ступени флотации (предусмотрена напорная флотация с использованием рабочей рециркулирующей жидкости). Насыщается воздухом под давлением 3 атм. Рециркуляционное отношение 1 : 2. Продолжитель-

ность пребывания стоков в расчете на суммарный расход стоков и рабочей жидкости — 1 ч.

Остаточное содержание взвешенных веществ 90—100 мг/л, снижение хрома — на 23, ПАВ — на 50 и сульфидов — на 30% обеспечивает 1-я ступень флотации. Последующее подщелачивание известью до  $pH=8,5-9,5$  производится для нейтрализации стока, а также для перевода хрома в гидроокись и его последующего выделение на 2-й ступени флотации, которая работает без рабочей жидкости. Продолжительность пребывания стоков — 1 ч. Эффективность очистки сточных вод двухступенчатой флотацией с подкислением и подщелачиванием по данным работы экспериментальной установки приводится в табл. 12.

Таблица 12

Снижение концентраций загрязнений при очистке стоков кожевенного завода по схеме НПИ

Наименование показателей	На поступлении	После 1-й ступени флотации	После 2-й ступени флотации
Содержание в воде, мг/л:			
взвешенных веществ	1986	101	15
хрома	110	83,5	4,2
сульфидов	155,9	17,3	13,8
жиров	187	15	13
ПАВ	48,6	25,3	13,9
$pH$	8,67	4,46	8,69
БПК <sub>5</sub> , мг/л	1015	448	289

Как видно из таблицы, двухступенчатая флотация может обеспечить достаточно высокий эффект очистки сточных вод кожевенного завода по всем показателям. Количество шлама, образующегося на 1-й ступени флотации при 4—6-часовом накоплении его, составляет 3,8—5% от количества очищенной жидкости, а влажность — 93,1—95,4%. На 2-й ступени количество шлама после 4 ч накопления составляет 1,64—2,2% при влажности 95,8—96,9%.

Другая технологическая схема очистки сточных вод кожевенных заводов с применением коагуляции и флотации разработана в Украинском институте инженеров водного хозяйства. В основной части эта схема использована при проектировании очистных сооружений бердичевского кожевенного завода им. Ильича Киевским ГПИ-5. Технологическая схема (рис. 39) предусматривает отдельную очистку общего стока завода и совместную биологическую очистку с городскими стоками. Кроме того, схемой предусматривается возможность специальной доочистки части биологически очищенных стоков с направлением их на технические нужды завода.

Сточные воды кожевенного завода при проходе через решетки, песколовки или отстойники, рассчитанные на их 15—20-минут-

ное пребывание, выделяют тяжелые примеси и затем направляются в вертикальные отстойники, где отстаиваются в течение 3—4 ч. В отстойниках задерживается основная масса нерастворенных примесей, что позволяет уменьшить дозу коагулянта, необходимую для полного осветления стоков. Осадок из отстойников

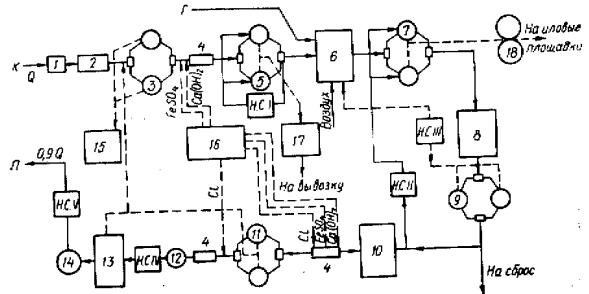


Рис. 39. Технологическая схема очистки сточных вод кожевенного завода флотацией в одну ступень с последующей совместной очисткой с городскими стоками: Г — стоки кожезавода; П — подача в производство; 1 — решетки; 2 — песколовки; 3 — отстойники; 4 — смесители; 5 — флотационные установки; 6 — усреднители; 7 — флотационный биокоагулятор; 8 — аэротенки; 9 — вторичные отстойники; 10 — биофильтры; 11 — отстойники после биофильтров; 12 — контактные резервуары; 13 — фильтры; 14 — резервуар чистой воды; 15 — шламонакопители; 16 — реагентное хозяйство; 17 — цех механического обезвоживания; 18 — метантенки.

в количестве 5—10% от объема обрабатываемых стоков с влажностью 95% направляется в шламонакопители. Возможно механическое обезвоживание его и вывоз.

В частично осветленную жидкость вводятся растворы сернистого железа и извести. Доза сернистого железа ориентировочно может быть определена в 300 мг/л, плюс по 100 мг/л на каждые 500—600 мг/л, оставшихся после отстаивания взвесей. Доза извести принимается из расчета доведения стоков до  $pH=10$  (примерно на 200—300 мг/л больше дозы сернистого железа, считая на  $CaO$ ).

После смешения с реагентами стоки поступают на флотационную очистку (предусматривается напорная). Рециркуляционная жидкость (коэффициент рециркуляции — 1) насыщается воздухом в течение 2 мин под давлением 4—5 атм. Принимая меньшее давление насыщения, необходимо увеличивать коэффициент рециркуляции (при давлении 2,5—3 атм коэффициент рециркуляции следует принимать 2). Продолжительность пребывания смеси во флотационной камере 1 ч.

Объем шлама, соответствующий влажности 94—95%, т. е. когда шлам еще удаляется самотеком, может быть определен по следующей упрощенной формуле (в проц. от объема обработанной воды)

$$W = 1,5 C, \quad (40)$$

где  $C$  — концентрация нерастворенных примесей, г/л. Для расматриваемого случая

$$C = B + K + \frac{(1+a)H}{2}, \quad (41)$$

где  $B$  — концентрация взвеси после отстаивания, г/л;

$K$  — концентрация гидроксидов железа и хрома, г/л;

$H$  — доза  $\text{CaO}$ , г/л;

$a$  — содержание активной части в извести в долях единицы.

После флотации стоки кожевального завода поступают в усреднитель-аэратор, где смешиваются с городскими стоками и куда направляется весь избыточный активный ил из вторичных отстойников, а затем во флотационный биоагрегат, принцип работы которого описан выше, и в аэротенки.

Часть стоков, прошедших биологическую очистку, подвергается дополнительной биологической очистке на биофильтрах, скловых фильтрах, обеззараживается и направляется снова на завод как техническая вода.

Данные эффективности очистки по этой схеме представлены в табл. 13 и определены при работе экспериментальных производственных установок на очистных сооружениях Бердичевского кожзавода.

Таблица 13

Снижение концентрации загрязнений при очистке стоков кожевального завода по схеме УИИВХ

Наименование показателей	Характерные показатели стоков, мг/л					
	на входе	после отстаивания	после флотации	после смешения со стоками города	после биоагрегации-флотации	после вторичных отстойников
Содержание в воде:						
взвешенных веществ	3790	1895	200	30	140	20
хрома	16,0	128	5	2	1,5	0,5
сульфидов	111	106	15	5	3	0
жиров	1360	680	136	50	0	0
ПАВ	171	137	27	10	8	5
БПК <sub>20</sub>	2000	1600	800	450	270	20

Примечание. Величина рН после флотации сточных вод составляла 10, во всех остальных случаях — 8,5.

Сравнивая результаты флотационной очистки стоков в табл. 12 и 13, полученные разными исследователями в различных условиях, следует отметить, во-первых, что эти результаты дают до-

вольно близкие значения по качеству очистки (учитывая большое различие в исходных концентрациях загрязнений) и, во-вторых, что реагентная обработка стоков данных предприятий в сочетании с флотационным осветлением их обеспечивает достаточно высокий для практических целей эффект очистки.

Наличие в сточных водах кожевальных заводов больших количеств сильно диспергированных загрязнений, обладающих высокой агрегативной устойчивостью, привело к исследованию и другим методам ее свивжения, кроме реагентных. Одним из них стала электрокоагуляция в сочетании с электрофлотацией. Достоинство метода — отсутствие сложного реагентного хозяйства, большая компактность сооружений, лучшая управляемость ими и более надежная автоматизация.

Рекомендации по применению этого метода использованы Ленинградским проектно-конструкторским институтом при проектировании очистных сооружений кожевального завода им. Коминтерна [57]. Исследования проводились на лабораторных и производственных экспериментальных установках различных конструкций (малой и большой модели) производительностью 100—200 л/ч и 1—3 м<sup>3</sup>/ч. Установки были оборудованы двумя электродными системами — вертикального типа в камере коагуляции (растворимые электроды) и горизонтального типа в камере флотации (нерастворимые электроды). Питание выпрямленным током осуществлялось от выпрямителей марки ВСА-5.

В первом цикле исследований очищался общий сток завода. Перед подачей на электрокоагуляцию-флотацию сток отстаивался в течение 10—15 мин. Результаты исследований (табл. 14)

Таблица 14

Очистка общего стока электрокоагуляцией-флотацией

Загрязнения	Концентрация загрязнений, мг/л		Загрязнения	Концентрация загрязнений, мг/л	
	на поступлении	на выходе		на поступлении	на выходе
Взвешенные вещества	1500,0	235,0	Хром СПАВ	200,0	1,0
Сульфиды	200,0	10,3		25,0	15,0

Примечание. Величина рН на поступлении составляла 10,5, на выходе — 10,0.

показывают, что методом электрокоагуляции-флотации можно получить эффект очистки при следующих электрических параметрах:

Плотность тока, а/м <sup>2</sup>	50—100
Расход тока, а·ч/м <sup>3</sup>	400
Расход электроэнергии, квт·ч/м <sup>3</sup>	2,5
Расход металла электродов, г/м <sup>3</sup>	400

Объем шлама составлял 7,5% от расхода сточной жидкости при влажности 95%.  
Значительный расход электроэнергии объясняется повышенным содержанием сульфидов в сточной жидкости. При очистке общего стока отмечено также заметное влияние на устойчивость работы установки залповых сбросов зольных стоков, которое можно устранить только 4—6-часовым предварительным усреднением.

Таблица 15

Очистка общего стока, без стоков золы электрокоагуляцией-флотацией при pH = 8,0

Загрязнения	Концентрация загрязнителей, мг/л		Загрязнения	Концентрация загрязнителей, мг/л	
	на поступлении	на выходе		на поступлении	на выходе
Взвешенные вещества	1200,0	200,0	СПАВ	35,0	15,0
Сульфиды	72,0	5,0	Жиры	100,0	30,0
Хром	100,0	1,0			

Примечание. Окисляемость на поступлении составляла 800, на выходе — 280.

Поэтому были проведены исследования по очистке общего стока завода без стоков золы. Результаты исследований приведены в табл. 15. Электрические параметры при этом составили:

Плотность тока, $A/m^2$	100—200
Расход тока, $A \cdot ч/м^3$	200
Расход электроэнергии, $квт \cdot ч/м^3$	1
Расход металла электродов, $г/м^3$	180

Объем шлама составил 3,5% от расхода сточной жидкости при влажности 94%.

На основании проведенных исследований была разработана технологическая схема очистки сточных вод кожевенных заводов с использованием метода электрокоагуляции-флотации (рис. 40) [56].

В соответствии с этой схемой зольные стоки выделяются из общего и проходят самостоятельную реагентную обработку и осветление.

Остальные стоки проходят через сита или решетки, песколовки, усреднители в течение 4—8 ч. оборудованные системой аэрации, обеспечивающей подачу воздуха с интенсивностью 4—6  $м^3/м^2 \cdot ч$ , отстойники или напорные флотационные установки для улавливания шерсти и жира, электрокоагуляторы-флотаторы

ры — для основной очистки стоков. При повышенных требованиях к очистке сточных вод предусматривается фильтрация их через пенополистирольные фильтры. В некоторых конкретных

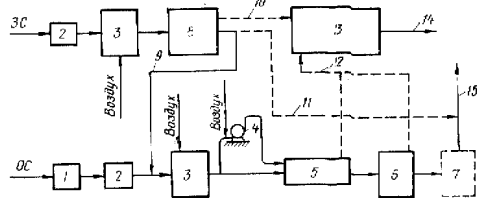


Рис. 40. Схема очистки сточных вод кожевенного завода с электрокоагуляцией-флотацией:

ЗС — зольные стоки; ОС — общий сток; 1 — сита или решетки; 2 — песколовки; 3 — усреднители; 4 — насос; 5 — напорные флотационные установки (или отстойники); 6 — электрокоагуляторы-флотаторы; 7 — пенополистирольные фильтры; 8 — цех обезвреживания золы; 9 — отвод зольных стоков в общий для дальнейшей очистки; 10 — отвод осадка; 11 — сброс зольных стоков при пониженных требованиях к очистке; 12 — отвод шлама; 13 — цех обработки осадков и шламов; 14 — вывод осадка и шлама; 15 — сброс стоков.

случаях (например, кожевенный завод им. Коминтерна) такая схема может дать снижение затрат в 1,4 раза по сравнению с химической обработкой.

### Сточные воды меховых фабрик

На меховых фабриках осуществляется выделка различных мехов: кролика, кошки, ондатры, нутрии, выдры, соболя, песка и др. Меховой полуфабрикат подвергается химической, физико-химической и механической обработке, лартиями или поштучно. Весь технологический процесс выделки делится на две части: операции сырьевого цеха и красильного.

В сырьевом цехе производится отмока, мездрение, пикелевание, дубление кож. Эти операции сопровождаются образованием сточных вод, загрязненных белковыми веществами, жирами, хромом, ПАВ, кислотами, органическими и минеральными механическими примесями. Удельный расход сточных вод в сырьевом цехе составляет 120—160  $м^3$  на 1 т полуфабриката.

В красильном цехе производится уморение, протравление, крашение, солка. В канализацию поступают сточные воды, загрязненные различными красителями, хромом, кислотами и щелочами, ПАВ, органическими веществами и механическими примесями. Удельный расход сточных вод в красильном цехе составляет 240—250  $м^3$  на 1 т подвергающегося крашению сырья.

Все сточные воды фабрики делятся на две категории: первая — хромосодержащие стоки, куда входят все сбросы сырьевого цеха (без отмоки) и протравки красильного, и вторая — окрашенные стоки, куда входят стоки красильного цеха (без протравки) и отмоки. Состав этих сточных вод приводится в табл. 16.

Таблица 16  
Состав сточных вод меховых фабрик

Наименование показателей	Сток	
	хромосодержащий	окрашенный
Содержание в воде, мг/л:		
взвешенных веществ	500—2500	100—800
хрома (трех- и шестивалентного)	10—60	—
ПАВ	40—110	20—100
ХПК, мг/л	2500—7000	100—3000
pH	3,5—5,1	5,8—6,8
Окраска по разведению	—	1:20+1:100

Из таблицы видно, что стоки меховых фабрик имеют высокую концентрацию загрязнений, усугубляемую залповыми сбросами загрязнителей. Существующая на ряде фабрик технология очистки заключается в реагентной обработке хромосодержащего стока железным купоросом, кислотой и известью, для перевода шестивалентного хрома в трехвалентный и образования гидроокисей, и последующем отстаивании его совместно с окрашенным стоком в вертикальных отстойниках. Это не дает высокого эффекта по таким показателям как жиры, ПАВ, взвеси, окраска и отличается большим объемом осадка.

В связи с этим в Украинском институте инженеров водного хозяйства была предпринята попытка интенсифицировать очистку промышленных сточных вод меховых фабрик.

Исследования, проведенные на Ленинградской меховой фабрике № 1, привели к выводу о целесообразности использования метода электрокоагуляции-флотации с последующей доочисткой на фильтрах с загрузкой из вспененного полистирола. Выполнялись они как в лабораторных условиях, так и на полупромышленных моделях производительностью 100—200 л/ч и 1—3 м<sup>3</sup>/ч. Питание электродных систем выпрямленным током происходило от выпрямителей ВУ 110/24 и ВСА-5. На обработку подавался общий сток меховой фабрики как с предварительной коагуляцией сернокислым железом и отстаиванием (доза по иону железа — 600 мг/л) — «режим доочистки», так и без коагуляции — «режим очистки». Величина pH=8—9 поддерживалась раствором карбида кальция (реагент, применяющийся на фабрике для нейтрализации).

Продолжительность пребывания стока в камере коагуляции — 5—7 мин, в камере флотации — 30—40 мин. Эффект очистки в

Таблица 17

## Очистка сточных вод меховых фабрик электрокоагуляцией-флотацией

Наименование показателей	Режим очистки		Режим доочистки	
	на поступлении	на выходе	на поступлении	на выходе
Содержание в воде, мг/л:				
взвешенных веществ	1985	229	1023	219
хрома	23	0,76	4,4	0,9
железа	—	0,8	3,05	1,4
ПАВ	57,5	22,2	24,6	10,1
ХПК, мг/л	4300	1590	2980	1915
Окраска по разведению	1:15+1:50	1:2+1:7	1:3+1:16	1:1+1:6

Таблица 18

## Электрические параметры, при которых определялась эффективность при очистке и доочистке

Наименование показателей	Единица измерения	При очистке	При доочистке
Расход электроэнергии	кВт·ч/м <sup>3</sup>	1	0,5
Расход тока	а·ч/м <sup>3</sup>	300	100
Плотность тока	а/м <sup>2</sup>	50	20
Расход металла электродов	мг/л	300	100

обоих режимах приведен в табл. 17 и определен при электрических параметрах по табл. 18.

Электродная система в камере флотации в окончательном варианте не использовалась, так как в камере электрокоагуляции образовывалось достаточное для флотации количество газовых пузырьков.

Как видно из табл. 17, остаточные концентрации загрязнителей при том и другом варианте очистки примерно одинаковы. Несколько лучше в режиме доочистки происходит общее снижение ПАВ и уменьшается окраска.

С учетом технико-экономической оценки вариантов это позволило рекомендовать в качестве рациональной технологической схемы очистки сточных вод меховых фабрик схему с предварительной коагуляцией и отстаиванием стоков, последующей электрокоагуляцией-флотацией и фильтрованием (рис. 41).

В соответствии с этим коагуляции и подщелачиванию подвергаются хромосодержащие стоки (доза сернокислого железа — 300 мг/л, подщелачивание до pH=8). Затем хромосодержащие стоки направляются в усреднитель, куда подаются и окрашенные стоки. Продолжительность усреднения — 4—6 ч. Первое осветление общего стока происходит в отстойниках. Продолжительность отстаивания — 2 ч. Дополнительное осветление осуществляется

методом электрокоагуляции-флотации в камере, встроенной в кольцевой пенополистирольный фильтр со следующими параметрами фильтрации:

Скорость фильтрации, м/ч	6-8
Диаметр гранул фильтрующей загрузки, мм	1-2
Высота слоя фильтрующей загрузки, м	0,7-0,8
Диаметр поддерживающей загрузки, м	2-4
Высота слоя поддерживающей загрузки, м	0,5-0,6
Продолжительность фильтроцикла, ч	8-10
Продолжительность промывки, мин	4-5
Расширение загрузки при промывке, м	0,6-0,7

Основное назначение фильтров заключается в создании защитного действия в случае проскока загрязнений. Сток после фильтров содержит 80-120 мг/л взвешенных веществ, 7-10 мг/л ПАВ, 0,2-0,5 мг/л хрома.

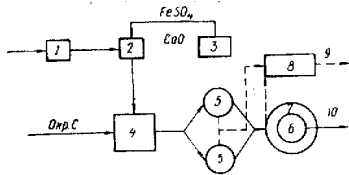


Рис. 41. Технологическая схема очистки сточных вод меховых фабрик:

Окр. С — окрашенный сток; 1 — сборник хромосодержащих стоков; 2 — камера реакции; 3 — реактенное хозяйство; 4 — усреднитель; 5 — отстаивание; 6 — электрокоагулятор-флотатор; 7 — пенополистирольный фильтр; 8 — обезвоживание осадка; 9 — отвод осадка в отвал; 10 — очищенный сток.

Осадок из отстаивников в количестве 2-4% от обработанной воды и шлам из флотационной камеры в количестве 1% при влажности 95% направляются на механическое обезвоживание и затем в отвал.

**Сточные воды фабрик искусственных технических кож \***

Фабрики искусственных технических кож выпускают специальные картоны-заменители кож, которые используются в основном для изготовления внутренних деталей обуви. В качестве сырья берется целлюлоза, макулатура, обрезки кожи, хромовая стружка. Для проклеивания массы и придания водостойкости картону употребляют битум, канифоль, силикатный клей, каолин, едкий натрий, глинозем, латексы. Все эти вещества попадают в сточные воды вместе со значительным количеством волокнистых примесей и взвесей.

В канализацию сбрасывается 40-50% всей воды, используемой в технологическом процессе. Остальная вода находится в обороте и идет на приготовление и разбавление массы перед отливом картона.

\* Раздел написан в соавторстве с инж. А. И. Чернеуком.

Состав загрязнений сточных вод производства обувных картонов при pH=6,5-8,0 характеризуется показателями, мг/л

ХПК	200-800
Взвешенные вещества	250-900
БПК <sub>5</sub>	40-75
Сухой остаток	800-4600
Прокаленный остаток	300-800
Латекс	5-30
Интенсивность окраски по разбавлению	1:10-1:50

Взвешенные вещества представлены в основном в виде волокнистых материалов, являющихся ценным сырьем в производстве обувных картонов. Поэтому полное извлечение волокна из сточных вод имеет большое значение для экономии волокнистых материалов.

Отмечается также наличие в сточных водах нефтепродуктов в виде смазочных материалов и керосина, который попадает в производственную канализацию при периодической очистке отдельных узлов папмашин от проклеивающих материалов.

В процессе изготовления картона почти все технологические операции связаны со значительным водопотреблением, средние данные о котором приведены в табл. 19.

Таблица 19

**Расход воды при производстве технических кож**

Технологические операции	Расход воды на 1 г картона, м <sup>3</sup>		
	при многослойном отливе на лавашниках	при однослойном отливе на машинках	
		„Пашке“	„Перель“
Размол сырья в гидроразбивателях, конических мельницах и роллах	14,0	40,0	14,0
Разбавление массы перед проклейкой в мешальных бассейнах	42,0	19,0	26,0
Разбавление массы перед отливом картона	278	18,0	50
Мойка суком и сеток картоноделательных машин	135-200*	50,0	180
Приготовление проклеивающих эмульсий	7,0	4,0	4,0
Охлаждение подшипников технологического оборудования	4,0	10,0	10,0
Охлаждение и уплотнение сальников вакуум-насосов	—	90**	90**

Примечание. Неучтенные расходы воды на 1 г картона во всех случаях составило 10 м<sup>3</sup>.

\* Большее значение относится к двухцилиндровым папмашинам.

\*\* Вода используется многократно после охлаждения в холодильниках.

К качеству воды, потребляемой для изготовления картона, предъявляются высокие требования [109], основными из которых являются:



Общая жесткость, град	17,0
Постоянная жесткость, град	3,0
Железо, мг/л	0,02—0,015
Хлориды, мг/л	8—11
Сульфаты, мг/л	39—40
Сухой остаток, мг/л	400
Прокаленный остаток, мг/л	300
pH	7,0
Мутность, мг/л	10

Соблюдение таких требований приводит к усложнению схемы водоснабжения предприятий «Искож» в тех случаях, когда вода из природных источников не соответствует этим показателям.

Предприятия, потребляющие воду непосредственно из природных источников, обычно используют ее в технологическом процессе без предварительной химической очистки, что в случае большой общей жесткости воды приводит к преждевременной коагуляции латекса и, следовательно, к ухудшению качества проклейки кожзамениителей. Во избежание этого к латексу добавляют различные поверхностно-активные вещества, что усложняет процесс приготовления проклеивающих и загрязняет производственные стоки этими же веществами.

Актуальной задачей предприятий «Искож» является снижение потребления свежей воды и, соответственно, уменьшение до минимума количества сточных вод, что возможно лишь путем создания замкнутого цикла водоснабжения.

Естественно, возникают опасения в отношении влияния замкнутых систем водоснабжения на качество выпускаемой продукции.

Опыт работы ряда предприятий, использующих подсеточные воды для трех первых операций (см. табл. 23) позволяет сделать вывод о несущественном влиянии состава воды на качество обувных картонов.

Наиболее значительное количество свежей воды (до 50%) расходуется на sprысках картоноделательных машин.

Радикальным путем снижения потребления свежей воды для sprысков является использование производственных сточных вод с предварительным их осветлением.

При многослойном отливе картона на папмашинах качество sprысковых вод должно быть довольно высоким. Наличие в этих водах волокна более 30 мг/л забивает sprысковые трубы и заиливает сукно папмашины.

При однослойном отливе на машинах «Пашке» содержание волокна в sprысковых водах может быть несколько повышено, так как сетка, на которой формируется картон, имеет относительно большие размеры ячеек. Однако при этом остается опасность забивки sprысковых трубопроводов, что в конечном итоге нарушает технологический режим.

Существующие способы очистки сточных вод предприятий «Искож» (отстаивание, фильтрование на фильтрах «Вако») не по-

зволяют получить воду, удовлетворяющую качеству sprысковых вод.

Осветление воды в отстаивниках различных конструкций дает возможность получить снижение взвешенных веществ на 50—60% при времени отстаивания 1,5—2 ч.

Исследования процесса отстаивания показали, что добавление сернистого алюминия дозой в 350 мг/л повышает эффект осветления до 91% при остаточном содержании взвесей 40—60 мг/л.

Наиболее эффективно происходит осветление сточных вод предприятий «Искож» при подщелачивании их до pH = 9,0—9,5 с последующим добавлением сернистого алюминия (250 мг/л). Эффект осветления достигает 98%, остаточное содержание взвеси — 10—30 мг/л.

Однако при отстаивании часть волокна всплывает на поверхность, тем самым снижая эффект осветления.

Эффект очистки сточных вод по волокну при работе фильтров «Вако» с фильтрующим подслоем достигает 70—80%.

В качестве подслоя необходимо применять длинноволокнистые материалы, в частности, небеленную целлюлозу, после предварительного размола в роллах. Можно также использовать скоп, уловленный на фильтре, но при этом качество осветленной воды значительно ухудшается из-за проскока через фильтровальную сетку мелкого волокна.

На некоторых предприятиях очистка осуществляется только через сетку, закрепленную на большом барабане фильтра. Эффект работы таких фильтров не превышает 30%.

Рациональной системой канализования является разделение сточных вод в момент их образования на два потока: «чистые» и «грязные», что возможно как при многослойном (папмашины), так и при однослойном отливе картона (машины «Пашке», длинносеточные машины).

К «чистым» сточным водам следует отнести подсеточные воды папмашин и воды, образующиеся при вакуумной дегидрации однослойного отлива.

К «грязным» относятся воды после мойки сукон и сеток, а также регистровые воды.

Такое разделение позволит производить очистку «чистых» сточных вод с минимальными затратами и использовать их в качестве sprысковых вод, а «грязные», после удаления из них крупных плавающих загрязнений, совместно с избытком «чистых», направлять на разбавление и приготовление массы перед отливом картона.

Исследования по очистке сточных вод фабрик кожзамениителей для использования их в оборотном водоснабжении производились Украинским институтом инженеров водного хозяйства на Ленинградском и Одесском заводах «Истехкож» и Таганрогском заводе «Термопласт».

Наряду с исследованием традиционных методов очистки (фильтры «Вако», отстаивание) были изучены различные способы флотации (напорная, электрофлотация, электрокоагуляция-флотация) с применением и без применения коагулянтов.

Таблица 20

Очистка стоков при различных способах флотации и технологических параметрах

Наименование показателей	Исходная вода	Вода, очищенная способом								
		напорной флотации			электрофлотации			электрокоагуляция-флотации		
		Доза сернокислого алюминия, мг/л			Расход тока, а·ч/м <sup>3</sup>					
	0	250	450	12,5	25	50	12,5	25	50	
Содержание взвешенных веществ, мг/л	531	224	209	112	262	215	143	79	44	31
ХПК, мг/л	517	436	389	326	427	408	351	366	352	331

Сравнительные исследования различных способов флотации и обработки реагентами (табл. 20) показали, что для получения воды, пригодной в оборотном использовании, наиболее подходящим является способ электрокоагуляции-флотации. Данные, приведенные в табл. 24, получены при следующих параметрах:

**Напорная флотация**

Давление насыщения, атм . . . . . 3,0  
Продолжительность насыщения воздухом, мин . . . . . 5

Продолжительность флотации, мин . . . . . 15

**Электрофлотация**

Электроды графитовые

Пребывание в электродной камере, мин . . . . . 3

Пребывание в отстойной камере, мин . . . . . 15

**Электрокоагуляция-флотация**

Электроды алюминиевые

Пребывание в электродной камере, мин . . . . . 3

Пребывание в отстойной камере, мин . . . . . 15

Дальнейшие исследования на полупромышленных установках позволили разработать технологическую схему очистки сточных вод с использованием их в обороте, осуществленную на Одесском заводе «Кожзаменитель», которая может быть рекомендована и для других аналогичных предприятий.

Технологическая схема включает в себя (рис. 42) сита или решетки с прозорами, равными 0,5—0,75 расстояния между пластинами электродов. На предприятиях, где имеются установленные фильтры «Вако», целесообразно сохранить их в схеме, тогда надобность в установке решеток или сит отпадает. Затем сточные воды должны пройти усреднение в течение 4—6 ч, с тем,

чтобы обеспечить большую стабильность электрических параметров на следующей ступени очистки — электрокоагуляторах-флотаторах. Усреднитель проектируется, как усреднитель с аэрацией.

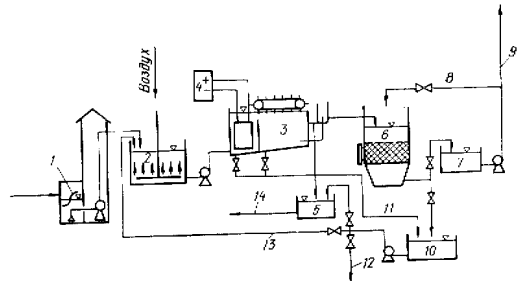


Рис. 42. Технологическая схема очистки сточных вод завода «Кожзаменитель»:

1 — решетки; 2 — усреднитель; 3 — электрокоагулятор-флотатор; 4 — выпрямитель; 5 — сборник шлама; 6 — деполимеризационный фильтр; 7 — сборник чистой воды; 8 — подача воды на промывку фильтра; 9 — отвод чистой воды; 10 — сборник промывочной воды; 11 — сброс осадка; 12 — сброс в городскую канализацию; 13 — возврат промывочной воды на очистку; 14 — отвод шлама.

Электрокоагуляционно-флотационные установки выполняются горизонтального типа со следующими электрическими параметрами электродной системы:

Плотность тока, а/м <sup>2</sup> . . . . .	40—60
Расход тока, а·ч/м <sup>3</sup> . . . . .	15—20
Расход электроэнергии, квт/м <sup>3</sup> . . . . .	0,1—0,3
Расход металла электродов (алюминия), г/м <sup>3</sup> . . . . .	5—7
Продолжительность флотации, мин . . . . .	20—25

Объем шлама при влажности 96% составляет 1,5—2% от объема обработанной воды. Он сбрасывается в резервуар, откуда возвращается обратно в производство. Сточная жидкость с содержанием взвешенных веществ 50—70 мг/л направляется на пенополистирольные фильтры с плавающей загрузкой из гранул вспененного полистирола. Общая высота загрузки — 1,1—1,2 м. Диаметр гранул — от 1,5 до 6 мм. Фильтрование и промывка фильтров осуществляются сверху вниз. Рекомендуемая скорость фильтрации — 7—10 м/ч, интенсивность промывки — 12,5—15 л/сек·м<sup>2</sup>, продолжительность промывки — 10—15 мин 1 раз в смену (2—3 раза в сутки). Вода после фильтров содержит взвешенных веществ 10—20 мг/л (при 30 мг/л фильтр выключается на промывку) и направляется в сборник чистой воды, откуда забирается в производство и на промывку фильтров.

Промывные воды и осадок из электрокоагулятора-флотатора собираются в резервуар-сборник, откуда направляются в усреднитель на повторную очистку. Из этого же резервуара предусматривается сброс продувочной воды в городскую канализацию.

#### Сточные воды мясокомбинатов

Сточные воды мясокомбинатов содержат большое количество загрязнений, образующихся в процессе производства, главным образом при промывке полупродуктов, а также при их переработке, при поддержании чистоты в помещениях и мойке оборудования.

Производственные сточные воды мясокомбинатов можно разделить на несколько категорий: жиросодержащие стоки, загрязненные жиром и другими отходами, грязные, содержащие навоз, каньгу, песок, минеральные и органические растворенные вещества; незагрязненные от холодильных и котельных установок.

Обычно на мясокомбинатах предусматривается две канализационные сети — по одной транспортируются жиросодержащие стоки, по другой — все остальные.

Как при самостоятельной очистке сточных вод мясокомбинатов, так и при сбросе их в городскую канализацию, основные проблемы возникают в связи с наличием жиросодержащих стоков, поскольку в любом случае необходимо из этих стоков удалять жир. Удаление его в жироловках обычных конструкций, основанных на принципе отстаивания, не превышает в лучшем случае 40—50%. При дооборудовании их системой удаления осадка можно повысить извлечение жира до 60—70%, однако, учитывая, что начальные концентрации жира составляют от 500 до 1000 мг/л, такой эффект нельзя признать достаточным.

Вопросам повышения эффективности работы жироловок и разработке новых конструкций их посвящен целый ряд работ [47, 48]. Исследовались и совершенствовались конструкции жироловок. Оценивалось влияние на эффект задержания жира предварительной аэрации, реагентной обработки, в частности, хлорирования и т. д. Кроме того, изучалась и возможность применения различных способов флотации для удаления жира из стоков мясокомбината [34, 49].

По данным зарубежных авторов [76], высокий эффект очистки от жира и взвешенных веществ (98,6—99,9%) обеспечивает напорная флотация в сочетании с коагуляцией стоков сернокислым алюминием с дозами до 400 мг/л.

В Ленинградском инженерно-строительном институте детально исследовалась возможность применения импеллерной флотации. Особый интерес представляют опыты, проведенные в производственных импеллерных флотационных машинах М-6 с объемом камер 6,52 м<sup>3</sup> [49]. Стоки подвергались однократной обработке

в одной машине и двукратной последовательно в двух машинах в течение 10—15 мин. При однократной флотации эффект очистки от жира составил 53,4% (с 267 мг/л до 125 мг/л), при двукратной — 70% (с 297,4 мг/л до 75 мг/л). Эффект очистки по взвешенным веществам составил соответственно 50,3% и 64%. При этом количество воды, отходящей с пеной (декантата), достигает 20%. Декантат остается сильно загрязненным жирами и взвесями и требует дальнейшей очистки. Повышение эффекта очистки стоков заключается в данном случае в увеличении продолжительности флотации, что, однако, вряд ли целесообразно, так как повлечет за собой и увеличение объема декантата. В связи с этим способ импеллерной флотации при очистке зажиренных стоков мясокомбинатов может найти только ограниченное применение.

Более высокие результаты получены при извлечении жира из сточных вод мясокомбинатов методом электрофлотации [33, 34]. Авторы рекомендуют электрофлотационную жироловку с анодом, изготовляемым из графитовых пластин толщиной 50—60 мм, уложенных на дно жироловки. Катодом служит сетка из нержавеющей стали, расположенная над анодом на расстоянии 10—20 мм. Оптимальные расчетные параметры процесса электрофлотации следующие:

Плотность тока, $ма/см^2$	10—15
Напряжение на электродах, $в$	6
Продолжительность обработки жидкости, $мин$	7—12
Расход электроэнергии, $квт·ч/м^3$	0,25

При этих параметрах эффект очистки от жира на полупроизводственной установке составил в среднем 96,4%, при начальных концентрациях жира 440—4570 мг/л. Вместе с тем авторы отмечают плохое осветление воды и рекомендуют вести процесс электрофлотации с предварительной обработкой реагентами (0,8 г/л хлорного железа и 0,8 г/л хлорной извести) при следующих параметрах:

Плотность тока, $ма/см^2$	20—22
Продолжительность обработки, $мин$	12—18
Расход электроэнергии, $квт·ч/м^3$	0,3

В этом случае достигалась не только высокая степень обезжиривания, но и снижалась концентрация взвешенных веществ с 1955 мг/л до 62,5 мг/л.

Следовательно, добавку реагентов в столь высоких дозах не всегда можно признать приемлемой, так как, кроме затрат на сами реагенты и их приготовление, возрастут затраты на транспортировку и ликвидацию возросших объемов осадков и шламов, ухудшится, если не утратится вовсе, возможность регенерации жира из флотационного шлама.

Последнее обстоятельство имеет немаловажное значение, поскольку получение из шламов технического жира вполне возмож-

но, а его количество может достигать в зависимости от мощности комбината 200—500 кг/сут и более.

Метод электрокоагуляции-флотации, испытанный на Ровенском мясокомбинате Украинским институтом инженеров водного хозяйства, дал положительные результаты — он почти не имеет упомянутых недостатков [60].

Таблица 21

Характеристика жиродержащих стоков мясокомбината	Величина показателей		
	максимальная	минимальная	средняя
Содержание в стоках, мг/л:			
жиров	1840	82	800
взвешенных веществ	4580	135	1100
ХПК, мг/л	2650	160	960

Жиродержащие стоки комбината характеризуются показателями, приведенными в табл. 21, количество их составляет 300—350 м<sup>3</sup>/сут. Хотя основная масса жиров находится в грубодисперсной форме, содержание эмульгированных жиров и коллоидальных органических веществ в стоке значительно. И с теоретической стороны и в результате сравнительных исследований (сравнивались напорная, электрофлотация и электрокоагуляция-флотация) для таких стоков наиболее подходящим оказался способ электрокоагуляции-флотации, как наиболее энергично воздействующий на снижение агрегативной устойчивости высокодисперсных загрязнений.

В результате исследований установлены необходимые параметры процесса и эффект очистки сточных вод:

Продолжительность обработки стоков, мин	40
Удельный расход электричества, а·ч/м <sup>3</sup>	100
Плотность тока, а/м <sup>2</sup>	150—200
Расход электроэнергии, квт/м <sup>3</sup>	1,2
Напряжение, в	12
Расход металла (железа) электродов, мг/л	100
Снижение концентрации жира, проц.	90—95
Снижение концентрации взвешенных веществ, проц.	70
Снижение ХПК, проц.	70

Объем шлама составляет 2—4% от количества обработанной воды при влажности 82—84%, содержание жира — 30% от сухого вещества.

Электрокоагулятор-флотатор рекомендуется устраивать горизонтального типа со стальными вертикально расположенными электродами (см. рис. 22). Предварительно жиродержащие

стоки должны пройти грубую очистку на решетках с зазорами менее 2 см (2 см — расстояние между электродами). К установке необходим подвод пара на случай разогрева жира, застывшего на поверхности.

#### Сточные воды фабрик первичной обработки шерсти

На фабриках первичной обработки шерсти (ПОШ) промывается овечья шерсть перед отправкой ее на дальнейшую переработку.

Сточные воды ПОШ представляют собой загрязненную промывную воду, которая включает в себя вещества, смываемые с волокон в процессе промывки (механические примеси, шерстный жир, пот, волокно) и добавляемые в воду для отмычки шерсти от загрязнений (мыла, сода, ингибиторы и неионогенные моющие вещества, поваренная соль).

Загрязнения фабрик ПОШ находятся в различном дисперсном состоянии: грубодисперсном (песок, глина, шерсть, жир, остатки растений); коллоидном (жир, глина, гуминовые вещества, продукты деструкции кератина); молекулярном (мыла, СПАВ, белки, органические кислоты жиропота) и ионном (сода, поташ, соли неорганических кислот жиропота, сульфаты, хлориды).

Данные о загрязненности стока фабрик ПОШ и ее снижении при отстаивании приведены в табл. 22.

Таблица 22

Наименование показателей	Сток	
	неочищенный	после 2-часового отстаивания
Содержание в воде, г/л:		
взвешенных веществ	6,0—24,0	5,0—14,0
шерсти	10—500	0
жиров	1500—6000	1000—4300
СПАВ	370—800	300—600
ХПК, г/л	—	6,0—26,0
Щелочность, мг/л	50—92	50—98
Плотный остаток, г/л	9,0—35,0	8,0—22,0

Примечание. Величина рН стоков в обоих случаях оставалась 8—10,5; прозрачность — 0.

Удельный расход воды составляет при промывке шерсти по схеме с противотоком 40 м<sup>3</sup> на 1 т мытой шерсти, а при использовании воды полоскательной барки — 25 м<sup>3</sup> на 1 т шерсти [2]. Удельное количество загрязнений, смываемых с шерсти, представлено в табл. 23.

Таблица 23  
Содержание загрязнений в сточных водах фабрик ПОШ, кг на 1 т мытой шерсти

Загрязнения	Мытая шерсть		
	тонкая	полутонкая	грубая
Шерстный жир	250—350	150—250	40—60
Пот	170	160	120
Механические примеси	600—700	500—600	300

Примечание. Содержание волокна в воде для всех видов мытой шерсти составляло 1—5 кг/т.

На большинстве современных фабрик ПОШ очистка сточных вод предусматривается в 2 этапа. На 1-м этапе из наиболее загрязненных сточных вод извлекается ценный шерстный жир (лаволин). Регенерированный, он представляет собой побочную продукцию фабрик. На 2-м этапе происходит общая очистка стоков по всем показателям, степень которой определяется в каждом конкретном случае исходя из местных условий.

Для извлечения из стоков шерстяного жира на Невинномысской фабрике ПОШ был разработан нашедший широкое применение флотационно-сепарационный способ, изучение и исследование которого производилось также во ВНИИ ВОДГЕО [25]. В цех жиродобычи поступают наиболее концентрированные по жиру стоки противотока и первых двух барок от промывки тонкой и полутонкой шерсти (схема на рис. 43). Жиродержащие стоки поступают в импеллерные флотационные машины. В зависимости от типа импеллера (аэратора) извлечение жира из стока может достигать 70—94% при продолжительности флотации 60—120 мин. Пена из машин поступает в один сборник для разрушения при подготовке паром и затем в другой для нагрева образовавшейся жировой эмульсии до 90—95°, которая идет на первую сепарацию, перекачивается для упаривания в бак и затем направляется на вторую. Товарный жир собирается в приемник, откуда разливается в тару. Выход товарного жира зависит от успешной работы флотационных машин и сепараторов и составляет 40—52% от всего количества, поступающего со стоками.

Второй этап — очистку общего стока — предлагалось осуществлять различными методами по различным технологическим схемам.

В практику последних лет вошел метод сбраживания стоков [11] и химической очистки [30], заключающийся в отстаивании стоков, обработанных большими дозами глинозема и извести (доза глинозема 150—250 мг/л по иону алюминия, доза извести — 1000—1600 мг/л по СаО). Последний, учитывая состав стоков и особенно фазово-дисперсное состояние загрязнителей, в принципе может обеспечить высокий эффект предварительной очистки, достаточный для подачи стоков на биологическую станцию. Од-

нако большое количество осадка, образующегося при химической очистке, обусловленное высокими дозами реагентов, создает дополнительную проблему его уплотнения и обезвоживания, решение которой требует больших капитальных и эксплуатационных затрат, связанных, например, с механическим обезвоживанием осадка на барабанных вакуум-фильтрах.

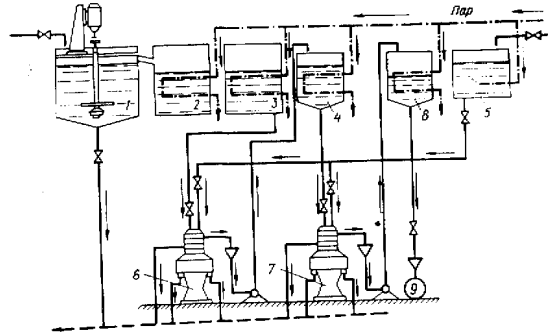


Рис. 43. Схема флотационно-сепарационного способа извлечения шерстного жира:

1 — флотационная машина; 2 — пеносборный бак; 3 — промежуточный бак; 4 — бак для подогрева жира; 5 — бак для подогрева водопроводной воды; 6 — первичный сепаратор; 7 — вторичный сепаратор; 8 — сборник товарного жира; 9 — разлив жира в тару.

Поиски метода, близкого по эффективности к химическому, но дающего меньший объем осадков, привели к исследованию флотации для очистки сточных вод ПОШ. Исследования проводились Украинским институтом инженеров водного хозяйства на Невинномысской ПОШ им. Ленина. Были рассмотрены несколько возможных способов флотации.

Обнадеживающие результаты получены при электрокоагуляционно-флотации. Так, при продолжительности пребывания жидкости в камере электрокоагуляции 20 мин и при электрических параметрах:

Напряжение, в	20
Плотность тока, а/м <sup>2</sup>	250
Расход электроэнергии, квт/м <sup>3</sup>	16

удалось получить снижение концентрации взвешенных веществ с 5460 мг/л до 25, жиров — с 2300 мг/л до 32, сульфанола — с 850 мг/л до 40 мг/л. Судя по электрическим параметрам, вода

обладает низкой электропроводностью, что требует высоких расходов электроэнергии. При добавлении в воду 2 г/л поваренной соли (предусматривается технологией промывки шерсти), тот же эффект получен при расходе электроэнергии 3,1 квт/м<sup>3</sup> и напряжении 4 в.

Большой практический интерес представляет флотация пузырьками углекислого газа, выделяющегося при подкислении стока (химическая флотация). Фактически это тоже химическая очистка стоков, по форме отличающаяся от вышеупомянутой химической очистки ВНИИ ВОДГЕО только порядком ввода реагентов, когда сначала сток обрабатывается глиноземом и известью до pH=12, а затем, после отстаивания, серной кислотой для нейтрализации избыточной щелочности.

При химическом методе УИИВХ сначала вводится глинозем и кислота до pH=4—4,5, а затем, после флотационного осветления, известь для нейтрализации избыточной кислоты. Естественно, что характер протекающих химических реакций в том и другом случаях будет различен. В сильно щелочной среде образуются хлопья труднорастворимого алюмината кальция, обладающие высокой адсорбиционной способностью, что и приводит к осветлению сточной жидкости. В слабощелочной среде после введения коагулянта образуется гидроокись алюминия, являющаяся хорошим коагулянтом и сорбентом, а после добавки кислоты вероятно коагуляция белковых веществ, изоэлектрическая точка большинства которых находится в пределах pH=4,1—4,7. Специальные опыты указывают также на образование связей между СПАВ и солями кальция и алюминия (табл. 24).

Влияние дозы глинозема на удаление СПАВ

Таблица 24

Содержание СПАВ в исходной воде, мг/л	Условия очистки		Содержание СПАВ в осветленной воде, мг/л	Содержание СПАВ в исходной воде, мг/л	Условия очистки		Содержание СПАВ в осветленной воде, мг/л
	pH	доза глинозема, мг/л			pH	доза глинозема, мг/л	
480	3,5	1000	31,0	468	12,0	0,0	149,0
476	5,0	1000	42,6	462	12,0	1000	34,5
468	4,5	0,0	252,0				

Исследования по флотационной очистке сточных вод в кислой среде проводились как в лабораторных условиях, так и на экспериментальных производственных флотационных установках производительностью 250 л/ч (горизонтального типа) и 1,4—3,4 м<sup>3</sup>/ч (вертикального типа). На установки подавался сток, уже обработанный сернокислым алюминием, приготавливаемым в реагентном хозяйстве действующих очистных сооружений. При ручной

(не автоматической) дозировке реагентов в отдельные периоды ощущалась недостаточность газообразования. Поэтому установки были дополнительно оборудованы электродной системой для электрофлотации, которая включалась в период малого газообразования. Как показали исследования, наличие дополнительной электродной системы оправдывает себя при горизонтальной конструкции флотационной камеры. При вертикальной же кратковременные снижения интенсивности выделения газа существенно на эффективность работы не сказываются. При автоматизированном дозировании реагентов устройство дополнительной электродной системы не требуется.

Усредненные результаты работы горизонтальной флотационной камеры и основные параметры реагентной и электрохимической обработки жидкости приведены в табл. 25. Как видно из таблицы, при химической флотации в данных условиях можно получить достаточно высокий эффект очистки по всем показателям, особенно при продолжительности пребывания стоков 40 мин и вспомогательном действии электродной системы. При накоплении шлама на поверхности в течение 2 ч его объем составлял 10—11% от объема обработанной воды при влажности 85—87%.

Таблица 25  
Очистка сточных вод фабрики ПОШ флотацией при различных технологических параметрах

Наименование показателей	Время пребывания воды во флотационной камере, мин					
	20		25		40	
	исходной	очищенной	исходной	очищенной	исходной	очищенной
Содержание в воде, мг/л:						
взвешенных веществ	5930	580	5670	227	5410	67
жиров	1865	170	2013	125	1850	52
СПАВ	345	19	374	26	338	24
ХПК, мг/л	15500	2040	13150	2560	11710	2220
pH	8,6	4,5	8,6	4,5	8,6	4,8
Доза коагулянта, мг/л, считая на нон алюминия	160—200		160—200		160	
Доза кислоты, мг/л	1085		1030		775	
Расход электроэнергии, квт·ч/м <sup>3</sup>	0,0		0,14		0,14	

Исследования работы вертикальной флотационной камеры позволили уточнить все необходимые параметры химической флотации и ее эффективности, на основании чего была предложена технологическая схема очистки сточных вод фабрик ПОШ флотацией в кислой среде и конструкция флотокамеры.



Таблица 46  
Эффективность очистки сточных вод фабрик ПОИ флотацией в кислой среде

Наименование показателей	Величина показателя воды, мг/л		Эффективность очистки, проц.
	исходной	очищенной	
Содержание в воде:			
взвешенных веществ	7840	155	98,1
жиров	2260	176	92,2
СПАВ	415	34	91,8
ХПК	16800	2110	87,4

Примечание. Величина рН (без нейтрализации) исходной воды составляла 9, очищенной — 4,3.

температуры стоков ниже 18° в зимнее время, особенно при наличии накопителей. Рабочее напряжение на электродах 6—8 в. При подаче воды во флотокамеру насосами устройство электродной системы излишне. В этом случае достаточна подача воздуха в насосы в количестве 1—2% от расхода перекачиваемой воды. Из камеры реакции стоки поступают в активную зону флотокамеры, где происходит

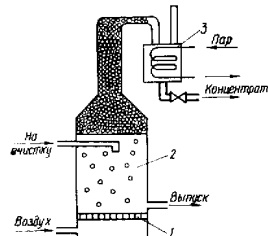


Рис. 46. Схема установки для очистки небольших количеств сточных вод от высокомолекулярных соединений: 1 — фильтровые пластины; 2 — разделяющее отделение; 3 — пеногаситель.

всплывание загрязнений вместе с пузырьками газа. Всплывший шлак спиральным скребком периодически сгребается в шламоотводящий лоток. Осветленная жидкость через отверстия в нижней части камеры отводится в кольцевой карман, а затем через водостив с регулируемой кромкой — на дальнейшую обработку. Несфлотированные частицы поступают в осадочную зону, сползают в приямок и (1—2 раза в сутки) выводятся из флотокамеры.

Для обеспечения надежной и бесперебойной работы установки ВНИИ ВОДГЕО разработана система автоматизации дозирования реагентов.

#### Сточные воды других производств

Очистка флотацией сточных вод не ограничивается рассмотренными выше производствами. Имеется и целый ряд других предприятий, где она или используется в технологических схемах

очистки стоков, или доказана возможность и целесообразность ее применения.

Сточные воды от производства и переработки животных жиров могут очищаться напорной [79] или вакуумной флотацией [106]. В случае регенерации жира вводить коагулянты не рекомендуется, хотя это и затруднит задержание сильно эмульгированной части жиров [70].

Результаты очистки сточных вод напорной флотацией следующие. Содержание жира снижалось с 4300—3830 мг/л до 270—0 мг/л или на 93—99%; БПК — с 6800 мг/л до 470 мг/л или на 93%. При этом регенерировалось около 4 кг жира на 1 м<sup>3</sup> сточных вод. При вакуумной флотации содержание жира уменьшалось с 900 мг/л до 40 мг/л или на 99%, а взвешенные вещества задерживались в количестве 96% — 5000 мг/л до очистки и 200 мг/л после очистки.

По другим источникам [92], эффект очистки сточных вод производства пищевых жиров флотацией с применением реагентов несколько ниже — 50—85% по удалению жира и 20—40% по снижению БПК. Указывается [74], что обработка стоков электрическим током при напорной флотации способствует задержанию жиров.

Сточные воды коксохимического производства, содержащие масла, молистые вещества и нафталин, очищались в лабораторных условиях импеллерной флотацией [9]. Использовалась шестиклапчатая флотационная лабораторная машина конструкции института «Механобр» с рабочим объемом камеры 5—6 л. При очистке общего стока (температура стока 55—57°) производительность установки достигала 690—800 л/ч. Остаточное содержание масла составило 4,2—33,7 мг/л. При понижении температуры сока до 20—30° остаточное содержание масел уменьшалось до 2—5 мг/л. Окисляемость снижалась примерно в 2 раза.

Очистка стока дефлегматоров бензолного отделения (66—100 мг/л остаточного масла) менее эффективна, по-видимому, из-за более высокой температуры сточных вод, достигавшей 76—86°.

Имеется также опыт извлечения нафталина импеллерной флотацией из сточных вод коксохимического производства [82]. На установке, состоявшей из 4 камер общей производительностью около 1000 м<sup>3</sup>/ч извлекается 15 т нафталина в сутки, с очищенной водой сбрасывается 0,05 мг/л. Благодаря регенерации в писываемом примере, его побочное производство увеличилось в три раза.

Сточные воды газосланцевого завода могут очищаться от смолы в аппарате, предложенном Н. А. Гребневым [10], с диспергированием воздуха через пористые колпачки (см. рис. 18) с отверстиями, средний диаметр которых 20 мкм. Давление воздуха под колпачками 1,5 атм, расход воздуха — 0,24—0,31 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, подача сточной жидкости — от 8 до 12,5 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> водного зеркала



при пребывании ее в аппарате в течение 20—30 мин. При таких рабочих параметрах выход смолы не превышал 1—1,6 мг/л, тогда как начальное содержание смолы было 110—220 мг/л. Отмечено, что в щелочной среде быстрее происходит зарастание отверстий колпачков, во избежание чего воду рекомендуется подкислять.

Сточные воды прачечных подвергались очистке флотацией, как в порядке опытной проверки [114], так и в производственном масштабе [94]. В лабораторных условиях испытывалась вакуумная флотация с предварительной обработкой жидкими реагентами — сернистым алюминием, хлорным железом, известью. Лучшие результаты получены при использовании хлорного железа и сернистого алюминия, правда, при довольно высоких дозах — 500 мг/л и 600 мг/л (табл. 27).

Таблица 27

Эффективность очистки сточных вод прачечных вакуумной флотацией

Наименование показателей	Величины показателей исходной сточной воды	Эффект очистки, проц. с применением	
		сернистого алюминия	хлорного железа
Содержание веществ, мг/л: взвешенных	500	—	88
растворенных (мыла, за-масливателей)	500	77	97
БПК, мг/л	1200	82	83

Производственная установка, работающая по способу напорной флотации с применением сернистого алюминия и каустика, обеспечивает возврат воды в производство в количестве 87% и может быть доведено до 95%.

При очистке сточных вод прачечных (более поздние работы) на первое место выдвигается проблема освобождения этих стоков от поверхностно-активных веществ. Отмечается, что методом пенной сепарации [83] в пену можно перевести 80—90% ПАВ, при одновременном снижении концентрации жиров на 49%, взвешенных веществ — на 79%, ХПК и БПК — на 40%. Концентрат пены, содержащий до 659 мг/л ПАВ может быть использован повторно для стирки. По другим данным [31] возможный максимальный эффект очистки от ПАВ не превышает 66—76% при условии добавления коагулирующих добавок (25—60 мг/л).

Сточные воды рыбоконсервных заводов очищались как импеллерной, так и напорной флотацией [65]. Опыты по импеллерной флотации проводились в лабораторной флотационной машине типа 138Б-ФЛ института «Механобр». Результаты очистки стоков в зависимости от продолжительности флотации и при коэффициенте аэрации 0,12 приведены в табл. 28.

Учитывая высокое загрязнение декантата и необходимость его очистки, процесс предпочтительнее вести при минимальной продолжительности флотации.

Таблица 28

Очистка стоков рыбоконсервных заводов импеллерной флотацией

Наименование показателей	Сток до очистки	Величины показателей в очищенной воде при продолжительности флотации, мин			
		3	5	10	15
Содержание в воде, мг/л:					
жиров	603	8,0	7,2	3,6	0,7
взвешенных веществ	1310	382	337	288	113
ХПК, мг/л	2560	1350	1323	1141	1030
Объем декантата в проц. от отработанной воды	—	10,9	13,2	22,7	28,1

Опыты по напорной флотации велись при флотации в течение 5, 10 и 15 мин, при длительности насыщения стоков воздухом — 1,5 и 2 мин, давлении насыщения — 2, 3 и 4 ати и при насыщении воздухом 30, 50 и 100% обрабатываемой жидкости. При рекомендуемой авторами продолжительности флотации 15 мин, давлении 3 ати, длительности насыщения воздухом 2 мин и количестве насыщаемой воды 50—100% эффект очистки составил, проц.:

По жирам	97,9
По взвешенным веществам	77,7
По ХПК	45—47

Сточные воды завода синтетических продуктов (исходное сырье — нефтепродукты), содержащие ряд специфических загрязнителей, таких как углеводороды, летучие жирные кислоты, всплывающие вещества — нефть и масла, сероводород, алкилсульфат, для выбора метода предварительной очистки подвергались отставанию и флотации с коагуляцией и без коагуляции [37]. Обработка сточной жидкости напорной флотацией (другие способы флотации — импеллерная и с диспергированием воздуха через мелкие поры из-за обильного вспенивания оказались технически малоприемлемыми) производилась в лабораторной установке (см. рис. 14). Сточная жидкость заливалась в напорный бак, в котором от трубопровода сжатого воздуха создавалось давление 2—3 ати. Через 3—4 мин часть жидкости выпускалась в цилиндр, где происходило выделение пузырьков воздуха и образование пенного слоя. Через 20 мин после впуска из средней части цилиндра очищенная вода отбиралась для анализа. Предварительно была проведена серия опытов по подбору вида и оп-

Таблица 29

Снижение концентрации загрязнений в общем стоке завода синтетических продуктов при отстаивании и флотации

Загрязнение	Содержание загрязнений, мг/л											
	после часового отстаивания				после напорной флотации				после отстаивания			
	без коагуляции		с коагуляцией		без коагуляции		с коагуляцией		без коагуляции		с коагуляцией	
	сток	сниже-ние, проц.	сток	сниже-ние, проц.	сток	сниже-ние, проц.	сток	сниже-ние, проц.	сток	сниже-ние, проц.	сток	сниже-ние, проц.
Взвешенные вещества	234,0	37	251,3	44,8	246,0	32,0	287,6	21,0	280,4	87,0	16,9	13,5
	255,4	15	275,4	221,7	328,6	265,7	21,0	496,0	21,0	496,0	21,5	21,5
	315,6	284,4	287,6	225,0	662,7	165,6	69,5	227,0	113,4	46,9	113,4	46,9
Углеводороды	148,5	37	251,3	44,8	246,0	32,0	287,6	21,0	280,4	87,0	16,9	13,5
	190,5	15	275,4	221,7	328,6	265,7	21,0	496,0	21,0	496,0	21,5	21,5
	284,4	284,4	287,6	225,0	662,7	165,6	69,5	227,0	113,4	46,9	113,4	46,9
Летучие кислоты	234,0	37	251,3	44,8	246,0	32,0	287,6	21,0	280,4	87,0	16,9	13,5
	255,4	15	275,4	221,7	328,6	265,7	21,0	496,0	21,0	496,0	21,5	21,5
	315,6	284,4	287,6	225,0	662,7	165,6	69,5	227,0	113,4	46,9	113,4	46,9

98

ределения дозы коагулянта. По данным этих опытов коагуляция проводилась сернокислым алюминием при дозе его 300—400 мг/л.

Результаты опытов по отстаиванию (время отстаивания 1 ч) и напорной флотации сведены в табл. 29.

Как видно из таблицы, снижение концентрации взвешенных веществ и летучих кислот при флотации заметно выше, чем при отстаивании (при уменьшении объема сооружений в 2—3 раза). Снижение концентрации углеводородов примерно одинаково. Количество шлама, образующегося при флотации по объему, в два раза меньше, чем осадка при отстаивании. Таким образом, метод предварительной очистки сточных вод завода синтетических продуктов может быть выбран на основании необходимой степени предварительной очистки или путем технико-экономического сравнения.

Сточные воды производства белково-витаминных концентратов, образующихся на опытно-промышленной установке, изучались в Новочеркасском политехническом институте. Автором были проведены опыты по осветлению смеси сбросной бражки с промывной водой импеллерной и напорной флотацией. Импеллерная флотация из-за обильного вспенивания оказалась технически неприемлемой.

Осветлению напорной флотацией подвергались предварительно коагулированные стоки. Доза реагентов составила: гли-

нозем — 300—400 мг/л, известь — до рН = 9—10. Для более полной коагуляции желателен предварительное выдерживание стока в течение 5—7 ч.

Параметры напорной флотации:

Давление насыщения, атм	3
Продолжительность растворения воздуха, мин	3
Продолжительность флотации, мин	15—20

Результаты опытов приведены в табл. 30.

Таблица 30

## Очистка сточных вод БВК напорной флотацией

Наименование показателей	До флотации	После флотации	Эффект очистки, проц.
Содержание в воде, мг/л:			
взвешенных веществ	1105,0	94,7	91,5
углеводородов	440,0	310,0	30,0
фосфора	81,7	15,5	81,0
общего азота	53,2	39,0	26,5
БПК <sub>20</sub> , мг/л	452,0	134,0	71,0

Объем шлама после 20-минутного накопления составлял 3—5% от объема обработанной воды, а его влажность — 95—96%.

## Очистка сточных вод от некоторых специфических загрязнений

Как уже упоминалось, флотацию можно рассматривать не только как метод удаления из сточных вод нерастворенных загрязнений, но и как метод понижения концентрации растворенных высокомолекулярных соединений, например, синтетических поверхностно-активных веществ, некоторых ионов, в частности, радиоактивных изотопов, бактерий и клеток.

Выпуск продукции органического синтеза промышленностью возрастает все больше. В связи с трудностью очистки сточных вод от большинства из них обычными методами, многие исследователи все шире используют для этого пенную флотацию [22, 27, 38, 69, 78, 81, 94, 101]. Не все описанные способы флотации одинаково пригодны для этой цели. Наиболее приемлемыми являются те, которые обеспечивают достаточно большое, в широких пределах регулируемое количество подаваемого воздуха (импеллерная, пневматическая, эрлифтная флотация, флотация при подаче воздуха через фильтры). Флотационная очистка от растворенных органических веществ не всегда может быть осуществимой и практически целесообразной, все зависит от вида растворенных высокомолекулярных соединений и их концентрации в исходной воде. Так, например, в отдельных опытах автора по очистке стоков завода синтетических продуктов на лабораторной

99

импеллерной установке оказывалось, что в пену переходит около половины всей сточной жидкости, а в оставшейся — сохраняется еще высокая концентрация вспенивателей. Практически такая очистка непригодна. Но с другой стороны, в ряде случаев флотация может оказаться единственным приемлемым методом понижения концентрации растворенных высокомолекулярных соединений, зачастую отрицательно влияющих на последующие этапы очистки сточных вод.

Переводом в пену могут удаляться многие органические вещества: синтетические высокомолекулярные спирты и эфиры, синтетические жирные кислоты и их соли, нафтеновые кислоты, алкилсульфаты и алкилсульфонаты, алкиламиды и этаноламины и многие другие продукты органического синтеза.

Технологический режим, основные параметры и эффект флотации должны быть в каждом отдельном случае определены экспериментально. На основании имеющихся данных можно добиться эффекта очистки, например, от СПАВ, при флотации на 80—95% и выше.

В технологических схемах очистки сточных вод, соответствующих по составу сооружений полной биологической очистке стоков, флотационные установки могут располагаться после первичных отстойников. Пена сгребается скребками или сдувается воздухом с поверхности жидкости в пеногаситель, который для ускорения гашения пены оборудуется паровыми змеевиками для нагрева пены или соплами для впуска острого пара.

Для очистки небольших количеств производственных сточных вод пенный сепаратор можно устраивать, как показано на рис. 46, в виде вертикальной колонны, к верхней части которой присоединяется труба, отводящая пену в пеногаситель.

В предыдущем разделе приведены результаты некоторых опытов по очистке промышленных стоков завода синтетических продуктов. Кроме этого, рассматривался вопрос об очистке стоков завода от синтетических поверхностно-активных веществ [38], представленных в изучаемом стоке, главным образом, алкилсульфатом натрия, поступающим в сточные воды от производства моющего средства «Прогресс». Как известно, алкилсульфаты практически не удаляются при простом отстаивании. Их концентрация в стоке, подвергающемся биологической очистке, не должна превышать 20 мг/л.

Очистка общего стока завода синтетических продуктов от алкилсульфата натрия производилась при различных режимах работы трех типов лабораторных установок. Наиболее приемлемые результаты получены при следующих параметрах: для напорной флотации — давление насыщения 2,5 атм, продолжительность насыщения 5 мин, продолжительность флотации 20 мин; импеллерной флотации — окружная скорость импеллера 12 м/сек, продолжительность флотации 45 мин, количество воздуха 4,5—5,0 объема на объем жидкости; для флотации при подаче воздуха через

пористые материалы — давление под пористой пластиной 1,5 атм, количество воздуха 3,0—3,5 объема на объем жидкости, продолжительность флотации 60 мин.

Очищался общий сток без добавления реагентов и при добавлении сернистого алюминия, оптимальная доза которого была установлена в 350 мг/л.

Результаты опытов, полученные при указанных выше параметрах, отражены в табл. 31.

Таблица 31  
Снижение концентрации алкилсульфата при различных способах флотации

Флотация	Эффект очистки от алкилсульфата (п.ч. 86 мг/л)		Объем жидкости, отходящей с пеной (концентрат), в проц. от обработанной воды	
	без коагуляции	с коагуляцией	без коагуляции	с коагуляцией
Напорная	67	78	2,7	4,4
Импеллерная	65	65	21,7	15,7
При подаче воздуха через пористые материалы	63	62	14,3	10,7

Следует обратить внимание на то, что сток завода синтетических продуктов отличается весьма высокой способностью к вспениванию (пенное число достигает 5—6 и выше).

На основании анализа полученных данных можно сделать ряд выводов и установить некоторые закономерности, характеризующие процесс извлечения СПАВ пенной сепарацией или флотацией.

Напорная флотация некоагулированного стока дает эффект очистки всего на 2—4% выше, чем два других способа, что нельзя оценить как существенное преимущество, тогда как напорная флотация коагулированного стока повышает эффект очистки по сравнению с другими способами флотации на 13—16%.

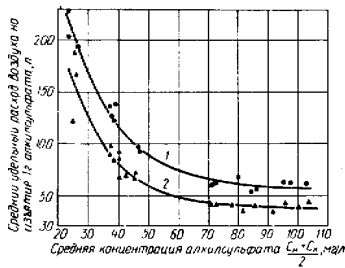
Недостатком импеллерной флотации и флотации через пористые пластины, по сравнению с напорным способом, является образование значительного количества жидкости, отходящей вместе с пеной (концентрата).

Большое количество концентрата обуславливается содержанием алкилсульфата натрия (30—140 мг/л) при одновременном присутствии различных углеводородов и летучих кислот, способствующих вспениванию, а также величиной рН=8,5—10,5, обеспечивающей максимальное вспенивание.

Объем концентрата зависит от начального содержания алкилсульфата, т. е. от количества его, переходящего в пену, от расхода воздуха и от содержания взвешенных веществ в жидкости.

Важными показателями, характеризующими процесс извлечения ПАВ импеллерной флотацией и флотацией через пористые пластины, являются: расход воздуха (удельный), идущий на изъятие 1 г ПАВ, и количество концентрата, образующегося при изъятии 1 мг/л ПАВ.

В связи с тем, что при равномерной подаче воздуха скорость изъятия ПАВ в каждый момент определяется концентрацией их



в жидкости и замедляется при уменьшении ее, удельный расход воздуха, л/г, возрастает при малых концентрациях ПАВ (рис. 47).

Рис. 47. Графики зависимости удельного расхода воздуха от средней концентрации алкилсульфата натрия:

1 — при импеллерной флотации; 2 — при флотации с подачей воздуха через пористые пластины.

Удельный расход воздуха целесообразно указывать в зависимости от средней концентрации ПАВ, под которой понимается полусумма начальной и допустимой (расчетной) конечной концентраций ПАВ.

Количество концентрата, образующегося при снятии 1 мг/л ПАВ, выражается в процентах от объема обработанной жидкости. В рассматриваемом случае эти проценты получились следующими: при импеллерной флотации некоагулированного стока 0,375, коагулированного 0,27; при флотации через пористые пластины некоагулированного стока 0,27, коагулированного 0,2.

При высоком пенном числе (более 3—4) возможность применения импеллерной флотации и флотации через пористые пластины ограничивается объемом получаемого концентрата, так как технически и экономически вряд ли целесообразно получение концентрата в объеме большем, чем 10—12%.

Таким образом, расчет рассматриваемых флотационных установок в общем виде сводится при небольшом пенном числе к выбору объемов сооружений и технологических параметров, обеспечивающих снижение ПАВ до необходимых концентраций, а при большом пенном числе к выбору объемов сооружений и технологических параметров, обеспечивающих максимально возможное снижение содержания ПАВ при приемлемом объеме образующегося концентрата.

Расчет импеллерных установок и установок с пористыми пластинами по предлагаемой методике производится на основании исходных данных:

суточный расход сточных вод —  $Q_{сут}$  м<sup>3</sup>/сут;

максимальный часовой расход —  $Q_{макс.ч}$  м<sup>3</sup>/ч;

начальная концентрация ПАВ —  $C_{нач}$  мг/л;

конечная концентрация ПАВ —  $C_{кон}$  мг/л;

максимально допустимое количество концентрата в проц. от

объема обрабатываемой жидкости —  $K_{макс}$  проц.

общих рекомендаций:

продолжительность флотации —  $t$  мин

(в пределах 45—75 мин);

интенсивность аэрации —  $I$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч

(в пределах 8—15 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч);

статический уровень жидкости —  $H_{ст}$  м

(в пределах 2—4 м для флотации через пористые пластины

и 1,5—2 м при импеллерной флотации);

специальных рекомендаций, получаемых экспериментальным путем:

удельный расход воздуха на единицу снимаемых ПАВ

—  $q$  л/г;

количество концентрата, приходящегося на 1 мг/л

снимаемых ПАВ в процентах от объема обрабатываемой жидкости

—  $k$  проц.;

пенное число

—  $n$ ;

окружная скорость импеллера, м/сек, или вид пористых

пластин (труб).

Расчетом определяются:

$W_{\phi}$  — общий объем флотационных установок, м<sup>3</sup>;

$V$  — расчетный расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$f$  — площадь водного зеркала установок, м<sup>2</sup>;

$I$  — интенсивность аэрации, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·ч;

$K$  — объем концентрата, м<sup>3</sup>/сут, для слабопенящейся жидкости

или

$C'_{кон}$  — конечная концентрация ПАВ, мг/л, для сильнопенящейся

жидкости ( $n > 4$ );

$W_{п}$  — объем пеноприемника, м<sup>3</sup>.

$$W_{\phi} = \frac{Q_{макс.ч} \cdot t}{60}, \quad (42)$$

$$f = \frac{W_{\phi}}{H_{ст}}, \quad (43)$$

$$V = \frac{P \cdot v}{24}, \quad (44)$$

$$I = \frac{V}{f}, \quad (45)$$

$$C'_{кон} = C_{нач} - \frac{K_{макс}}{k}, \quad (46)$$

где  $\Pi$  — суточное количество ПАВ подлежащих удалению; для слабо вспенивающейся жидкости, кг:

$$\Pi = \frac{Q_{\text{сут}} (C_{\text{нач}} - C_{\text{кон}})}{1000}, \quad (47)$$

для сильно вспенивающейся жидкости:

$$\Pi = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot \frac{K_{\text{макс}}}{k}}{1000}. \quad (48)$$

При расчете следует стремиться, чтобы  $I$  находилась в указанных выше пределах, чего можно достичь изменением значения  $t$  (также в указанных пределах).

Объем концентрата для слабо вспенивающейся жидкости

$$K = \frac{\Gamma \cdot k (C_{\text{нач}} - C_{\text{кон}}) Q_{\text{сут}}}{100}, \quad (49)$$

где  $\Gamma$  — коэффициент, учитывающий увеличение объема концентрата за счет принятого способа гашения пены; при обогреве пены змеевиками  $\Gamma = 1,0$  при дождевании  $\Gamma = 1,3-2$ .

Объем пеносборника  $W_n$  должен вмещать в себя расчетный объем пены, который может быть определен по группе формул [69].

Как уже упоминалось, напорная флотация обладает, по сравнению с двумя другими рассмотренными способами флотационного удаления ПАВ, существенным преимуществом в части объема образующегося концентрата (что особенно важно при очистке сильнопенящихся жидкостей), так и некоторым преимуществом в эффективности удаления ПАВ.

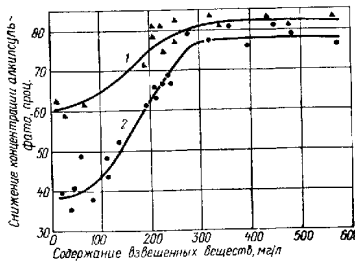


Рис. 48. Влияние содержания взвесей на эффект извлечения алкилсульфата натрия напорной флотацией:

1 — с добавлением коагулянта; 2 — без добавления коагулянта.

Недостатком напорного способа по отношению к очистке стоков от ПАВ является также значительная зависимость эффекта очистки от содержания взвешенных веществ (рис. 48).

Таким образом, при очистке сточных вод от алкилсульфата натрия напорную флотацию можно применять при концентрации взвешенных веществ выше 200—250 мг/л. Если же она менее

100 мг/л, то напорная флотация, как способ очистки от ПАВ, малоэффективна, поэтому необходимо вводить коагулянт в больших дозах.

В Московском инженерно-строительном институте на основании исследований, выполненных на тонкосуконной фабрике и кожевенном заводе, разработаны рекомендации по удалению синтетических поверхностно-активных веществ из сточных вод этих производств [69]. Для удаления СПАВ принят способ флотации с диспергированием воздуха через пористые материалы. При очистке сточных вод тонкосуконных фабрик установлены следующие параметры флотации:

Продолжительность флотации, мин	30—45
Интенсивность подачи воздуха, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·ч	10—12

Объем образующегося при разрушении пены концентрата — 1—5% от объема обработанной воды.

При этом снижение неионогенных ПАВ составляет 60%, анион-активных — 41,5%. На 25—40% снижаются такие показатели как БПК и ХПК, концентрация взвешенных веществ уменьшается на 70%.

При очистке стоков кожевенного завода по схеме, приведенной на рис. 37, параметры флотации составляют:

Продолжительность флотации, ч	1
Интенсивность подачи воздуха, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·ч	10—12
Объем концентрата, проц.	0,63
Эффект удаления ПАВ, проц.	53
БПК снижается на 14%, ХПК — на 28%.	

Схема установки, разработанной в МИСИ, для очистки больших количеств сточных вод от СПАВ, приведена на рис. 49.

Радиоактивные изотопы, попадающие в жидкие отходы при их получении или использовании, могут тем или иным способом [53, 66] концентрироваться в осадке, который подлежит выпариванию и захоронению. Захоронение радиоактивных отходов очень сложная и дорогостоящая операция, поэтому уменьшение объема осадков может быть достигнуто флотацией. Гидроокиси металлов (железа, алюминия) могут быть хорошими сорбентами для многих радиоактивных изотопов. При подборе соответствующего флотореагента, осадок гидроокиси, занимающий значительный объем (до 2% от количества обрабатываемой воды), может быть уплотнен в 3—4 раза и более, в зависимости от начальной концентрации осадка. Так, керосиновый контакт Петрова явился хорошим флотореагентом для флотации осадка гидроокиси железа [3].

В Уральском политехническом институте большие работы проводятся по извлечению из сточных вод радиоактивных изотопов флотационным способом [1, 53]. Причем, исследования здесь ведутся по двум направлениям, во-первых, подбор «носителя» избирательно сорбирующего определенный изотоп, и, во-вторых, создание условий и установление технологических параметров

для флотации данного «носителя». Так, например, показано, что  $^{89}\text{Sr}$  может быть извлечен из раствора путем сорбции его осадками фосфоровольфраматов алкиламмония с последующим выделением осадков из жидкости флотацией. Такие «носители» и условия их флотации подобраны для большого числа различных изотопов.

Различные сточные воды имеют бактериальные загрязнения. Поэтому для их устранения сточные воды на конечном этапе очистки подвергаются хлорированию. Однако в отдельных случаях может иметь значение удаление бактериальных загрязнений на отдельных стадиях очистки и тогда метод, позволяющий достичь наибольшего извлечения бактерий из сточной жидкости, будет иметь определенные преимущества перед другими.

Флотационному выделению бактерий из жидкости посвящены некоторые работы [71, 85, 95]. Холпер, изучивший применение флотации для очистки водопроводной воды, нашел, что уменьшение количества бактерий при флотации достигает 90% и более. При бактериологических анализах сточных вод концентрация бактерий в пенном слое на лабораторных флотационных установках может облегчить нахождение болезнетворных бактерий [95].

#### ФЛОТАЦИОННОЕ УПЛОТНЕНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

В результате развития промышленного и коммунального строительства непрерывно увеличивается количество сточных вод и соответственно осадков, образующихся при их очистке. Количество образующихся осадков на станциях биологической очистки составляет 0,6—1% от объема сточных вод, а при других методах очистки воды, например химическом, возможно их образование 3—10% от объема сточных вод.

Полная биологическая очистка сточной жидкости заканчивается обычно за 6—18 ч, а обработка осадка в метантенках длится 10—15 суток с подсушкой его на иловых площадках до нескольких месяцев. Поэтому проблема сокращения объема осадков, продолжительности их обработки и ликвидации является весьма актуальной, заслуживающей детального изучения.

При любом методе обработки осадка первой ступенью является уплотнение. Конечный продукт уплотнения — такой осадок, который еще сохраняет все физические свойства жидкости. При этом осадки следует рассматривать как дисперсные системы, в которых дисперсной фазой являются твердые частицы, а дисперсной средой — жидкость. В результате такого уплотнения удаляется большая часть свободной воды, т. е. воды, энергия связи которой со структурой твердой фазы осадка минимальна.

Эффективное уплотнение является важной частью общей проблемы обезвоживания осадка. При этом значительно уменьшается его объем и вследствие этого и строительный объем метантенков в случае сбраживания осадка и увеличивается производительность такого оборудования как вакуум-фильтры, центрифуги, фильтр-прессы при механическом обезвоживании. Кроме того, снижение объема осадка приводит к уменьшению затрат при его транспортировке и накоплении.

При подаче осадка на сбраживание благодаря предварительному его уплотнению увеличивается производительность метантенков или уменьшается их объем; уменьшается расход тепла, необходимый для создания определенной температуры в метантенке; уменьшается нагрузка «по воде» на иловые площадки; сокращается объем иловой жидкости, которая вновь возвращается на станцию.

Уплотнение осадков сточных вод является обязательным и перед обезвреживанием его методами «мокрого сжигания». Для того, чтобы этот процесс, был энергетически приемлемым, необходимо, чтобы подающийся в реактор осадок имел теплоту сгорания порядка 265 ккал/л. При средней теплотворной способности активного ила и осадка первичных отстойников 4200 ккал/кг сухого вещества следует, чтобы влажность осадка была не более 94%.

Если осадки первичных отстойников сравнительно легко уплотняются при отстаивании до влажности 93—95%, то осадки вторичных отстойников, биологические шламы, особенно активный ил после азотенков, работающих на полную очистку сточной жидкости, уплотняются значительно хуже. Это объясняется специфичностью физико-химических свойств активного ила: большой структурообразующей способностью, высоким содержанием связанной воды, незначительным объемным весом. В то же время большой интерес в перспективе представляет именно раздельная обработка осадков с выделением активного ила как сырья для извлечения витаминов и белковых веществ. В активном иле

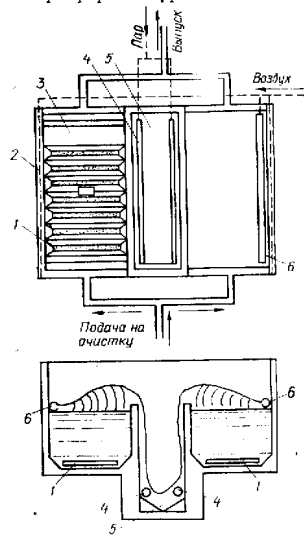


Рис. 49. Схема флотационной камеры для удаления СПАВ:

1 — фильтровые пластины; 2 — воздухопровод; 3 — флотационное отделение; 4 — паропровод; 5 — пеноуловитель (сборник концентрата); 6 — воздушные трубы для сушки пены.

содержатся в разных количествах витамины В<sub>2</sub> и В<sub>12</sub>, тиамин, рибофлавин, гамма-никотиновой кислоты, биотин, л-аминобензойная кислота, пиридоксин, холин, пантотеновая и фолиевая кислоты, цианокобаламин, а также 17 различных аминокислот [93]. Активный ил используют для удобрения, он превосходит навоз, и эффективнее, чем сырые и сброженные осадки [105].

В настоящее время в практике обработки осадков встречаются различные способы уплотнения.

Способ гравитационного уплотнения получил широкое применение в виду простоты конструкции и эксплуатации установок. Конструктивно илоуплотнители выполняются в виде радиальных или вертикальных отстойников. Осадок поступает в среднюю часть отстойника и хлопья ила осаждаются в виде илового слоя на дне. Уплотняющийся ил перемещается скребком к центральному колодцу и удаляется. Иловая жидкость переливается через водослив, расположенный по периметру уплотнителя.

Однако даже 5—15-часовое пребывание избыточного активного ила из аэротенков в гравитационных уплотнителях не позволяет получить ил с содержанием сухих веществ более 2—3%. Кроме того, при залеживании ил загнивает, выделяя при этом газы, всплывает и выносятся с иловой жидкостью. Процесс анаэробного разложения, возникающий в уплотнителях-отстойниках, неблагоприятно сказывается на дальнейшей обработке такого осадка, особенно на вакуум-фильтрах. Увеличивается расход коагулянта и создаются антисанитарные условия работы в цехах механического обезвоживания.

С целью интенсификации процесса уплотнения активного ила осуществлялось его осаждение в смеси с уплотняющими добавками (хлорное железо, серная кислота, известь, железный купорос, диатомит, зола). Однако снижение влажности ила в течение 24—96 ч уплотнения было незначительным, содержание сухих веществ в уплотненном иле не превышало 3%.

Центрифугирование осадка для его уплотнения состоит в использовании центробежной силы, с помощью которой в сотни раз увеличивается сила тяжести твердых частиц, а, следовательно, ускоряется процесс отсепарации их от воды.

В последние годы появился ряд новых высокоскоростных установок, использующихся не только для уплотнения осадков (дисковые центрифуги), но и для более глубокого их обезвоживания (шнековые центрифуги) с доведением влажности осадка до 75% и ниже.

Производительность центрифуги по кеку зависит от исходной концентрации ила по сухому веществу. Так, при повышении концентрации активного ила Люблинской станции аэрации с 0,4—0,6% до 2—3% производительность по кеку возросла с 1,5—3 до 8—15 кг/ч. В дальнейшем выделенный кек дегельминтизируется, а фугат используется для биохимической очистки сточных вод вместо циркуляционного активного ила.

Замораживание осадков при температуре —5—10°С и последующее оттаивание изменяет их физико-химические свойства, благодаря чему резко увеличивается их водоотдача за счет перераспределения различных форм связи влаги, увеличивается объем свободной воды за счет уменьшения общего количества связанной влаги.

Проведенные исследования [62] показали, что замораживание и оттаивание приводят к коагуляции твердой фазы осадков, поэтому нет необходимости в химических реагентах в процессе их обезвоживания. На водоотдачу осадка влияют исходные свойства и тип обрабатываемого осадка. Замораживанию подвергались предварительно уплотненный активный ил влажностью 96,5% и сырой осадок влажностью 94,6% Тушинской станции аэрации, а также сброженный осадок Люблинской станции. В результате оттаивания влажность активного ила непосредственно после отвода образовавшейся воды была 88—92%, а сырого осадка — 82—85%.

Последующее более глубокое обезвоживание осадков производилось на вакуум-фильтрах наливного типа с получением кека влажностью 81—83% для активного ила, 75—78% для сброженного осадка и 70—74% для осадка первичных отстойников.

Флотационное уплотнение осадков рассматривается как процесс подъема на поверхность частиц осадка за счет прилипания их к пузырькам воздуха или газа. Причем, если при осветлении флотацией сточных вод на первом месте стоит фактор скорости и полноты осветления жидкости, то при уплотнении осадка — скорости и степени уплотнения шлама.

Насыщение осадка пузырьками газа (воздуха) можно производить различными способами — напорным, вакуумным, безнапорным, электрофлотацией, химическим и биологическим путями.

Возможность использования флотации для уплотнения осадков и илов давно привлекала внимание исследователей и инженеров как у нас в стране, так и за рубежом [100].

Данные, полученные в результате наблюдений за работой некоторых установок по флотационному уплотнению осадков сточных вод, представлены в табл. 32 [93].

В конструктивном оформлении наибольшее распространение за рубежом получили установки напорной флотации. На рис. 50 представлена технологическая схема уплотнителя типа «Рекс». Зона уплотнения образуется между сплошной частью впускной перегородки и нижней кромкой погружной, но не доходящей до дна, водосливной перегородки.

Время пребывания жидкости, включая рециркуляционный расход, в зоне флотации составляет 15—20 мин, а в зоне уплотнения может составлять несколько часов.

Представляет интерес установка, предложенная Сайбаттари (рис. 51), которая состоит из герметической емкости (на ри-

Таблица 32

Результаты производственных испытаний по флотационному уплотнению осадков сточных вод на различных станциях США

Местонахождение установок	Тип осадка, подлежащего уплотнению	Производительность, т/сут			Содержание сухого вещества в осадке, проц.						
		макс.	средн.	миним.	сыром			уплотненным			
					макс.	средн.	миним.	макс.	средн.	миним.	
Дальтон шт. Джорджия	АО	—	4,55	—	1,29	—	7,8	6,1	4,8		
Атланта шт. Джорджия	АО	57,3	34,2	16,7	2,7	1,90	1,1	8,3	7,4	6,4	
Округ Нассау шт. Нью-Йорк	A	17,1	9,6	4,0	1,25	0,81	0,55	7,2	4,9	3,3	
Округ Нассау шт. Нью-Йорк	A	49,5	28,7	15,9	1,00	0,77	0,48	4,75	3,7	2,82	
Округ Уэйн шт. Мичиган	A	0,50	0,57	0,54	0,50	0,45	0,34	4,9	4,6	4,4	
Сан-Хосе шт. Калифорния	АО	620	458	310	2,79	2,30	1,79	8,10	7,1	5,87	
Курс Бревери шт. Колорадо	A	—	3,6	—	—	0,77	—	—	4,1	—	
Левитгаун шт. Пенсильвания	A	—	3,8	—	—	0,80	—	—	6,5	—	
Бойс шт. Айдахо	A	4,4	4,0	1,5	0,50	0,46	0,40	4,10	4,0	3,60	

Примечание. А — активный ил; АО — смесь активного ила и осадка первичных отстойников.

рисунке не показана), куда подается порция сточной воды после биохимической очистки в смеси с активным илом. Туда же через аэратор подается сжатый воздух для перемешивания и насыще-

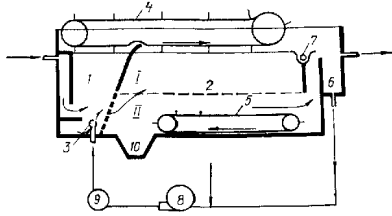


Рис. 50. Схема флотационного илоуплотнителя типа «Рекс»:

1 — приемное отделение; 2 — флотационное отделение; 3 — трубопровод распределения рециркуляционной воды; 4 — поверхностный скребковый транспортер; 5 — донные скребки; 6 — карман поливовой жидкости; 7 — шламоприемник; 8 — насос; 9 — напорный бак; 10 — осадочный бункер.

ния жидкости. Из герметической емкости жидкость, насыщенная воздухом, по трубопроводу, заканчивающемуся патрубком с отверстиями, под давлением, существующим в герметической емкости, подается в прямоугольный резервуар, где происходит флотация активного ила. Сфлотированный активный ил удаляется транспортером в бункер и далее винтовым транспортером (на

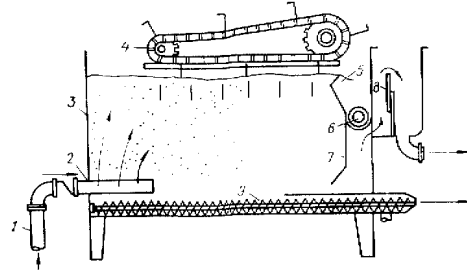


Рис. 51. Схема флотационного илоуплотнителя:

1 — подающий трубопровод; 2 — распределительная труба; 3 — камера флотации; 4 — скребковый механизм; 5 — шламоприемник; 6 — шпек удаления шлама; 7 — перегородка; 8 — регулятор уровня воды; 9 — шпек удаления осадка.

рис. показан с торца) выводится из флотатора. Подиловая жидкость, проходя под перегородкой, удаляется через водостив. Грубодисперсные примеси, выпадающие в осадок, удаляются винтовым транспортером. При периодах наполнения и выпуска жидкости из герметической емкости по 0,5 мин и давлении воздуха 4,2 атм, влажность активного ила, поступающего и сбрасываемого из флотатора, составляет соответственно 99,6 и 91,8%.

В большинстве известных технологических схем работа флотационных илоуплотнителей осуществляется с рециркуляцией жидкости или с рабочей жидкостью. Рециркуляционную или рабочую жидкость насыщают воздухом под давлением 3,5—5,0 атм и подают в уплотнитель. Для эффективной и быстрой флотации ила необходимо выдерживать определенное отношение расхода жидкости, насыщенной воздухом, к расходу уплотняемого ила.

Указывается [90], что с увеличением этого отношения с 1 до 2 скорость всплывания ила увеличивается в 4 раза, а с 1 до 3 — в 6 раз. Поскольку увеличение количества рабочей жидкости не только обеспечивает большее количество воздушных пузырьков, но также улучшает условия всплывания иловых частиц (вследствие разбавления ила), то возрастание общего расхода не приводит к увеличению емкости флотокамеры в той же пропорции.



При удачно подобранном соотношении рабочей жидкости и ила, объем флотокамеры может оказаться даже меньше, чем при работе по схеме с прямым насыщением ила воздухом.

В качестве рабочей жидкости можно употреблять сточную жидкость, прошедшую механическую или биологическую очистку, а также подиловую жидкость флотационного уплотнителя. Лучше всего использовать биологически очищенную сточную жидкость, а подиловую жидкость из уплотнителя сбрасывать в аэротенк, во избежание накапливания во флотационной установке большого количества нефлотирующихся веществ, что может затруднить работу напорной системы.

Представляет интерес работа по применению напорной флотации для уплотнения избыточного активного ила, выполненная на Люблинской и Купцевской станциях аэрации [28, 29].

На основании проведенных исследований была предложена схема флотационного илоуплотнителя и даны его некоторые предварительные расчетные параметры. Здесь предусмотрено двухступенчатое уплотнение ила во флотационном резервуаре до влажности 98,8—98,5% в течение 20 мин и в илоуплотнителе — до конечной влажности 96,5—96% в течение 2 ч. В илоуплотнителе происходит вторичное всплывание выходящего из флотационного резервуара ила без дополнительного насыщения его воздухом.

При конструировании обоих резервуаров рекомендовалось принимать рабочую глубину 1,0—1,5 м, а соотношение длины к ширине — более 2:1. Всплывший и уплотненный ил удалялся скребковым механизмом, скорость движения которого 0,9—1,4 м/мин. Независимо от общей толщины всплывшего ила скрепки рекомендовалось погружать во флотационный резервуар на глубину не более 5 см, а в илоуплотнитель — не более 10 см, чтобы не нарушить всплывание слоев ила.

Н. А. Лукиных были также проведены исследования, свидетельствующие о возможности применения существующих методов обработки уплотненного флотационным методом ила, т. е. сбраживания его в метантенках и обезвоживания на вакуум-фильтрах. Эффект обезвоживания активного ила, уплотненного отстаиванием и флотацией, одинаков (80—82%), но в последнем случае расход коагулянта, в качестве которого применялось хлорное железо, меньше (5,5% вместо 7—7,5% от веса сухого вещества активного ила). Кроме того, при вакуумфильтрации флотированного активного ила фильтрат содержит незначительное количество взвешенных веществ 33 мг/л, в то время как при обезвоживании отстаенного ила количество взвешенных веществ составляет 28—330 мг/л.

Следует упомянуть также о попытках уплотнения осадков за счет пузырьков газа, выделяющегося при химических реакциях.

В одной из первых работ в области химической флотации осадков сточных вод в качестве химического реагента использовался

гипохлорит кальция, который при добавлении к илу медленно растворяется с выделением хлора и кислорода [104]. Требуется определенное количество реагента, чтобы получить достаточное количество газа. Процесс химической флотации идет очень медленно (24—48 ч), но содержание сухого вещества в уплотненном активном иле повышается до 10 раз по сравнению с исходным. Аналогичные результаты получены и в других работах [87, 88].

В связи с тем, что флотационное уплотнение осадков долгое время не находило применения в отечественной практике, возникла необходимость в разработке более конкретных и полных рекомендаций по применению данного метода для уплотнения осадков и илов.

Такая работа в отношении избыточного активного ила была выполнена в Украинском институте инженеров водного хозяйства. Исследования выполнялись на очистных сооружениях Ровенского льнокомбината и Невинномысского химкомбината. Предварительно были проведены лабораторные опыты по выбору оптимальных способов насыщения ила воздухом.

Способы механического диспергирования воздуха и подачи его через пористые материалы, осуществляемые при обычных технологических параметрах, могут обеспечить снижение объема уплотняемого ила на 10—20% при сохранении высокой концентрации сухого вещества в подиловой жидкости.

Электрофлотация при расходе электроэнергии 5—7 квт·ч/м<sup>3</sup> обеспечивает уменьшение объема ила на 65—80% (при содер-

жании сухого вещества в уплотняемом иле 8—4,5 г/л и концентрации сухого вещества в подиловой воде 150—200 мг/л).

При непосредственном насыщении ила воздухом удавалось добиться уменьшения его объема в 2—4 раза в зависимости от давления насыщения в напорном баке и продолжительности уплотнения (рис. 52).

Было установлено, что перемешивание ило-воздушной смеси в напорном баке существенно сказывается на дальнейшем уплотнении ила. Так, насыщение ила воздухом при давлении 2 атм с перемешиванием смеси

дает такое же уплотнение, как и насыщение при 4 атм без перемешивания.

Недостатком прямого насыщения ила воздухом является высокое содержание сухого вещества в подиловой жидкости (400—800 мг/л), что связано с диспергированием хлопьев активного

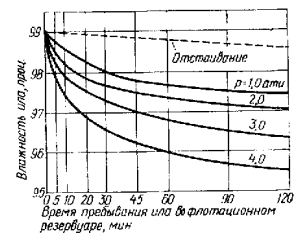


Рис. 52. График уплотнения ила во времени при различной степени насыщения его воздухом (давлении в напорном баке).

и: рабочим колесом насоса или при перемешивании в напорном баке. Добавление флотореагентов и флокулянтов в уплотняемый ил снижало концентрации сухого вещества в подиловой жидкости на 20—25%, что, разумеется, нельзя считать удовлетворительным. Вторая причина заключается в том, что того количества воздуха, которое может быть максимально подано в жидкость при прямой напорной флотации, недостаточно для подъема в пенный слой всего ила.

Поэтому за основу в дальнейших исследованиях была принята напорная флотация с использованием рабочей жидкости, поскольку только этот способ насыщения ила воздухом обеспечивает неразрушаемость хлопьев активного ила и позволяет подобрать такое количество воздуха, которое окажется достаточным для подъема всех частичек ила в пенный слой (табл. 33).

Таблица 33

Влияние количества рабочей жидкости на эффект уплотнения ила и качество подиловой воды

Наименование показателей	Отношение объема рабочей жидкости к объему ила			
	0	1	2	3
Содержание сухого вещества, мг/л: в осветленной смеси подиловой и рабочей жидкости	900—1000	330—420	100—150	20—30
в пересчете на подиловую жидкость	900—1000	660—880	300—450	80—120
Объем уплотненного ила, проц. от исходного	35—45	30—33	19—21	12—13

Последующие работы выполнялись на полупроизводственных экспериментальных установках двух типов — горизонтального и вертикального. Схема флотационной установки с горизонтальной флотокамерой объемом 1 м<sup>3</sup> представлена на рис. 53, а схема установки с вертикальной флотокамерой объемом 3,3 м<sup>3</sup> — на рис. 54. В обеих схемах предусматривается раздельная подача уплотняемого ила и рабочей жидкости, а также перемешивание водовоздушной смеси в напорном баке насосом.

Высота вертикальной флотокамеры 3,2 м принята в соответствии с высотой типового илоуплотнителя-отстойника (III-4-18-734, тип 4) Союзводоканалпроекта с тем, чтобы полученные данные могли быть использованы для переоборудования последнего во флотационный илоуплотнитель.

Всесторонние исследования, проведенные на экспериментальных установках, позволили разработать рекомендации по применению и проектированию флотационного уплотнения активного ила.

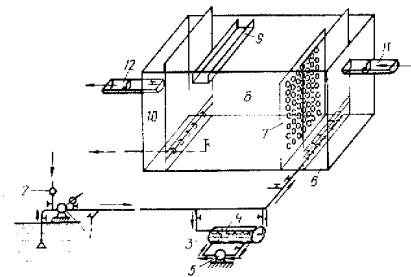


Рис. 53. Схема экспериментальной установки горизонтального типа для флотационного уплотнения осадков сточных вод:  
1 — насос подачи рабочей жидкости; 2 — воздушный патрубок; 3 — напорный бак; 4 — разбрызгиватель; 5 — перемешивающий насос; 6 — дырчатая труба; 7 — перегородка-газитель с отверстиями; 8 — флотационное отделение; 9 — шламосборник; 10 — отделение подиловой воды; 11 — измеритель расхода ила, поступающего на уплотнение; 12 — измеритель расхода подиловой и рабочей жидкости.

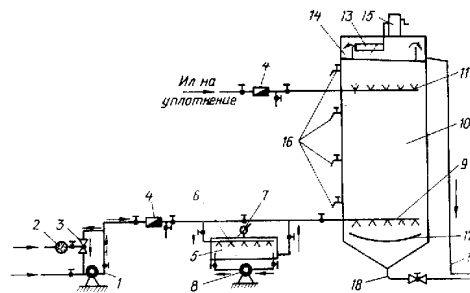


Рис. 54. Схема экспериментальной флотационной установки вертикального типа для уплотнения осадков сточных вод:  
1 — насос подачи рабочей жидкости; 2 — воздушный патрубок с измерителем расхода воздуха; 3 — эжектор; 4 — водомер; 5 — напорный бак; 6 — разбрызгиватель; 7 — манометр; 8 — перемешивающий насос; 9 — дырчатый распределитель рабочей жидкости; 10 — флотационное отделение; 11 — дырчатый распределитель ила; 12 — оградитель; 13 — скребок; 14 — пробоотборники; 15 — выпуск уплотненного ила; 16 — выпуск подиловой и рабочей жидкости.

На флотационное уплотнение посредством напорной флотации с насыщением воздухом рабочей жидкости может подаваться избыточный активный ил после полной и неполной биологической очистки. Насыщение рабочей жидкости воздухом осуществляется в напорном баке в течение 2—3 мин при давлении 2—4 атм. Отношение количества рабочей жидкости к объему уплотняемого ила составляет 2—3. При проектировании и подборе оборудования это отношение должно быть увязано с давлением и продолжительностью насыщения таким образом, чтобы удельный расход воздуха, выделяющегося во флотационной камере, составлял 10—12 л на 1 кг сухого вещества активного ила. При этом можно воспользоваться формулой

$$n = 12 \frac{V_T C}{(P-1) \rho - (P \rho - \rho_a) e^{-k_T t}}, \quad (50)$$

где  $n$  — отношение количества рабочей жидкости к количеству уплотняемого ила;

$V_T$  — вес 1 л воздуха при данной температуре, г;

$C$  — концентрация активного ила, г/л;

$P$  — давление насыщения, атм.

Остальные обозначения, как в формулах (10) и (11).

Для лучшего растворения воздуха в напорном баке предусмотрено перемешивание водовоздушной смеси насосом, производительность которого составляет 30—50% от расхода рабочей жидкости.

В качестве рабочей жидкости рекомендуется использовать очищенную сточную воду после вторичных отстойников или же воду, выходящую из флотокамеры. Принципиальная конструкция флотокамеры представлена на рис. 55. Продолжительность пребывания смеси рабочей жидкости и ила в рабочей зоне камеры 40—60 мин. Высота рабочей зоны — 2—3 м. Избыточный ил подается в верхнюю часть камеры, а рабочая жидкость — в нижнюю. Ил и рабочая жидкость по площади камеры распределяются радиальными распределительными трубами с отверстиями диаметром 0,5—1 см. Скорость выхода жидкости из отверстий принимается для труб, распределяющих ил, 0,7—1 м/сек, для труб, подающих рабочую жидкость — 1,8—2,2 м/сек. На иловых трубах отверстия устраиваются в верхней части, на трубах рабочей жидкости — сбоку.

Смесь подиловой и рабочей жидкости, освободившаяся от иловых частиц, поступает в нижнюю часть вертикального стакана, выполняемого из стальной трубы диаметром 500 мм, проходит в верхнюю часть его и отводится через выпускную камеру за пределы установки.

Шлам, собирающийся на поверхности, периодически через 3—4 ч (по достижении влажности 94,5—95%), спиральным скребком сбрасывается в шламотоководящий лоток, в котором устанавливается боковой скребок для предотвращения налипания шлама на

стенки. Скорость вращения скребка принимается из условия, чтобы уборка уплотненного шлама с поверхности не занимала более 15—20 мин (5—8 об/час). Глубина погружения скребка в ил 10—15 см (конструкция скребка должна предусматривать возможность регулирования глубины погружения).

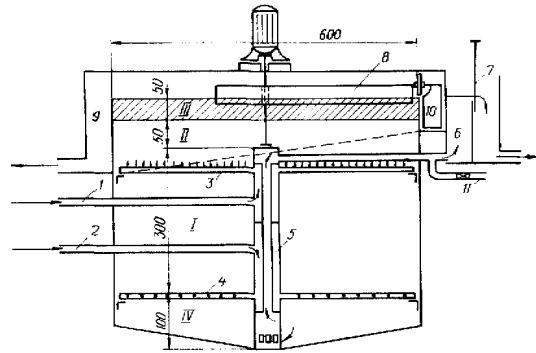


Рис. 55. Флотационный илоуплотнитель производительностью 100 м<sup>3</sup>/ч (по суммарному расходу ила и рабочей жидкости):

I — зона флотации; II — зона уплотняющего шлама; III — зона уплотненного ила; IV — зона подиловой воды; 1 — подача ила на уплотнение; 2 — подача рабочей жидкости; 3 — иловые распределительные трубы (радиальные); 4 — распределительные трубы рабочей жидкости (радиальные); 5 — центральная распределительная колонна; 6 — выпускная камера; 7 — регулятор уровня на выпуске подиловой и рабочей жидкости; 8 — скребок-спираль Архимеда; 9 — шламотоководящий кольцевой желоб; 10 — скребок внутри желоба; 11 — сбросной трубопровод.

Количество уплотненного ила в расчетах следует принимать в 20% от объема уплотняемого, а содержание сухого вещества в смеси подиловой и рабочей жидкости 30—50 мг/л.

Флотационную камеру можно проектировать и в виде прямоугольного резервуара с отношением длины к ширине от 5:1 до 8:1 со съемом уплотненного ила скребковым транспортером, причем при длине резервуара более 6 м сдвиг ила целесообразнее осуществлять по более короткому пути, т. е. по ширине камеры.

Включение в технологическую схему обработки осадков флотационных илоуплотнителей вместо илоуплотнителей-отстойников приведет, согласно технико-экономическим подсчетам, к снижению капитальных затрат на сооружения по обработке осадка на 15—25%, а эксплуатационных — на 5—10%.

Кроме уплотнения активного ила флотации, нами была изучена возможность уплотнения флотацией осадков некоторых промышленных стоков.

Учитывая, что на ряде заводов искусственного волокна очистка промышленных стоков ведется путем отстаивания, были проведены исследования по уплотнению осадка флотацией.

Осадок, который образуется при очистке сточных вод вискозного производства в отстойниках, характеризуется высокой влажностью, достигающей 98—99%, и в зависимости от производственных мощностей заводов искусственного волокна может составлять 1000—1500 м<sup>3</sup>/сут и более. Уплотнение осадка под действием собственного веса происходит очень медленно.

Практика проектирования показывает, что в отдельных случаях в силу удаленности шламонакопителя от завода возникает вопрос о целесообразности механического обезвоживания и вывоза осадка. Это обезвоживание, как показывает зарубежная практика и работы наших исследователей, может осуществляться в центрифугах, на вакуум-фильтрах, на фильтр-прессах. Количество, стоимость, а также нормальный режим таких установок находятся в непосредственной зависимости от количества и влажности исходного осадка. В связи с этим прежде, чем направлять осадок на механическое обезвоживание, его необходимо предварительно уплотнить более простым способом.

Флотационное уплотнение осадка изучалось на очистных сооружениях Каменского комбината искусственного волокна. Осадок, образующийся при отстаивании, подвергался напорной флотации. Насыщение воздухом производилось центробежным насосом или в специальном цилиндре, подключенном к трубопроводу сжатого воздуха (см. рис. 14). Давление в цилиндре созда-

3 ч. Влажность и объем осадка через определенные промежутки времени фиксировались.

Некоторые результаты опытов приведены в табл. 34.

Таким образом, прямой напорной флотацией можно уменьшить объем осадка примерно вдвое.

Для достижения более высокого уплотнения осадка (трех-четырёхкратного) флотацию необходимо вести при значительно большем количестве измельченного воздуха, т. е. применять напорную флотацию при подаче воздуха с рабочей жидкостью.

#### ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, НАЛАДКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ФЛОТАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

В настоящее время проектирование флотационных установок, предназначенных для очистки сточных вод, осуществляется на основании отдельных рекомендаций, разработанных в результате исследований по очистке тех или иных категорий сточных вод.

Выбор способа насыщения стоков воздухом и конструкции флотационных установок, как правило, делается на основе материалов, полученных при изучении методов очистки данных сточных вод. При этом следует учитывать, что импеллерная и пневматическая флотации, а также флотация с диспергированием воздуха через пористые материалы более приемлемы для очистки стоков от нефти, масел, жиров (если стоки загрязнены преимущественно этими веществами) и для пенной сепарации растворенных соединений — СПАВ и др.

Флотационные установки большой производительности (более 150—200 м<sup>3</sup>/ч), а также при значительном содержании в стоках оседающих (нефлотирующихся) веществ, необходимо применять установки вертикального типа; горизонтальные же (если отсутствуют в стоках оседающие примеси) при производительности до 150—200 м<sup>3</sup>/ч, а при наличии оседающих примесей — до 100—120 м<sup>3</sup>/ч.

Размещают флотационные установки, работающие с накоплением и периодическим сбросом шлама, в отапливаемых помещениях (во избежание замерзания шлама на поверхности). Установки с непрерывным сбросом шлама при среднегодовой температуре до +3° помещают в отапливаемых помещениях, при среднегодовой температуре от +3° до +6° — в легких неотапливаемых, а при более высоких температурах их можно располагать на открытом воздухе. В помещениях должна быть вентиляция, обеспечивающая пятикратный обмен воздуха в 1 ч, а при электрофлотации и электрокоагуляции-флотации кратность воздухообмена определяется расчетом, исходя из количества вы-

Таблица 34  
Результаты флотационного уплотнения осадка сточных вод заводов искусственного волокна

исходного	Влажность осадка, проц.		Количество нефлотированного осадка в проц. от всего объема
	испльшшого при времени отстаивания, ч		
	0,5	3	
98,55	98,00	97,24	1,00
98,71	97,81	97,09	1,10
97,52	96,45	95,02	7,86
98,27	97,79	97,32	1,83
97,83	97,23	96,31	6,70

валось в пределах 2,5—3,5 атм, продолжительность насыщения осадка воздухом составляла 2—5 мин. Насыщенный воздухом осадок выпускался в мерные сосуды, где отстаивался в течение

деляющегося при электролизе водорода, чтобы не создавались взрывоопасные концентрации. Над электродным отделением устраивается местный отсос воздуха.

Оборудуются флотационные камеры скребковыми механизмами для удаления шлама, регуляторами уровня воды в камере, регуляторами количества сбрасываемого шлама, трубопроводами для выпуска осадка, опорожнения.

Скребоквые механизмы могут применяться различных конструкций в зависимости от типа и размеров флотационных камер. Скребоквые транспортеры практически пригодны для прямоугонных флотокамер любых размеров, как с периодическим, так и с непрерывным сбросом осадка. Непригодны они только для периодической уборки хорошо уплотняющегося шлама, содержащего склеивающиеся (жиры) и волокнистые (шерсть) вещества (войлокообразная масса), как например, шлам шерстежироулавливателей кожевенных заводов.

При таких шламах следует применять скребок-тележку, длина пути которого не должна превышать 8—10 м. Для флотокамер круглой формы рекомендуется применять скребок типа спирали Архимеда. Обычная глубина погружения скребков в шлам от  $\frac{1}{3}$  до  $\frac{1}{4}$  толщины шлама (но не менее 8—10 см), а ножа скребковой тележки —  $\frac{1}{2}$  толщины шлама. На рис. 56, а и б показаны две схемы расчетного расположения уровня шлама и низа скребков относительно борта шламоотводящего лотка. Схема а применяется в тех случаях, когда предусматривается съезд шлама с влажностью 93—94% и выше, и его дальнейшая гидравлическая транспортировка (самотеком), а схема б используется при более низкой его влажности и дальнейшей механической транспортировке. Скорость движения скребков в схеме а рассчитывается так, что количество шлама, подгоняемого скребками к шламоотводящему лотку, в единицу времени равно количеству шлама, переливающегося через борт лотка. При несоответствии этого происходит перемещение или разрушение шлама скребками,

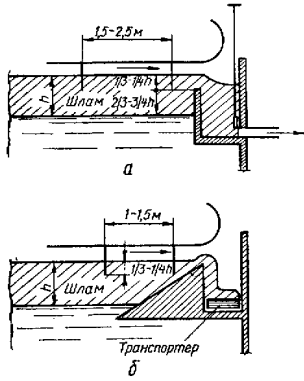


Рис. 56. Схемы расположения скребков и уровня шлама относительно борта шламоприемника:  
а — для текучего шлама; б — для нетекучего шлама.

или прорыв воды в шламоотводящий лоток. Более тонкая регулировка в дальнейшем осуществляется шибером или задвижкой, устанавливаемыми на шламоотводящей трубе. Скорость движения скребков на схеме б может быть принята 10—15 см/сек. Число оборотов скребка типа спирали Архимеда следует принимать 5—10 об/мин в зависимости от диаметра так, чтобы окружная скорость находилась в пределах 10—15 см/сек. Во всех случаях целесообразно предусматривать возможность регулирования скорости движения скребков в пределах двукратного уменьшения и увеличения ее против расчетной.

Расстояние между скребками (см. рис. 56) следует принимать тем меньше, чем более плотный шлам образуется при флотации. Электродные камеры электрофлотационных установок покрываются изнутри электроизоляционными материалами, например, винилпластом для предотвращения утечек тока.

Во избежание образования отложений на электродах и для их равномерного срабатывания, предусматривается переключение полярности электродов (для профилактики один раз в смену, при неблагоприятном качестве стока два-четыре раза в час).

Питание электродной системы должно осуществляться постоянным током от выпрямителей, позволяющих регулировать рабочий ток в диапазоне 30—50% от расчетного, что обеспечит более экономную работу установки. Напряжение электролиза по соображениям техники безопасности не должно превышать 36 в.

Соединяются электроды как по монополярной, так и по биполярной схемам. При очистке жидкости с невысокой электропроводностью предпочтительнее монополярная схема. При ширине электродной камеры более 1 м электродную систему лучше проектировать в виде отдельных блоков с соединением электродов внутри блоков по одной из упомянутых схем. Это облегчит изготовление, монтаж и замену электродной системы во время эксплуатации.

Управление работой флотационных установок должно быть сосредоточено непосредственно у флотационных камер (рабочее место оператора). Оператор с пультов управления должен осуществлять следующие основные операции.

1. Управлять работой насосов, подающих сточную жидкость в камеры флотации.
2. Управлять работой насосов рециркуляции или рабочей жидкости и регулировать рециркуляционный расход или расход рабочей жидкости.
3. Регулировать давление, создаваемое насосами в напорном баке или напорном трубопроводе.
4. Регулировать подачу воздуха для флотации.
5. Регулировать подачу сточной жидкости в отдельные камеры.
6. Изменять электрические параметры работы электродной системы (при электрофлотации).

7. Осуществлять дозирование реагентов (если их подача предусматривается).

8. Включать и выключать скребковые механизмы и регулировать скорость их движения.

9. Управлять задвижками или шиберами на выпусках очищенной воды из каждой камеры.

10. Управлять задвижками или шиберами, регулирующими выпуск шлама из каждой камеры.

11. Включать механизмы для транспортировки шлама (если они предусмотрены).

У пультов управления должны быть сосредоточены все необходимые контролирующие, показывающие и регистрирующие приборы.

Обязательна установка двух пультов управления: первый — у места впуска стоков в камеры, второй — у места выпуска стоков и сброса шлама. С первого пульта осуществляется управление операциями с 1 по 7, а со второго — с 8 до 11. При большой длине и значительном количестве камер желательно, чтобы с каждого пульта можно было управлять всеми перечисленными операциями.

Эксплуатация флотационных установок, работа которых основана на сложных физико-химических явлениях, связана с постоянным наблюдением за процессом, что требует специальной подготовки и высокой квалификации эксплуатационного персонала.

Отработка режима эксплуатации флотационных установок, уточнение всех технологических параметров, обеспечивающих предусмотренный эффект очистки стоков, осуществляется в период пуско-наладочных работ.

Рекомендации по организации и проведению пуско-наладочных работ относятся к напорным и электрофлотационным установкам, но в той или иной степени могут быть использованы и при других способах флотации (безнапорная, химическая, пневматическая, при подаче воздуха через пористые материалы).

Пуск и наладка флотационных установок осуществляется в следующей последовательности (здесь не учтены общепринятые работы, такие как сверка с проектом построенных сооружений, обкатка насосного и механического оборудования, проверка под нагрузкой электрохозяйства и т. п.).

1. Очищенная и рециркуляционная или рабочая жидкость равномерно распределяется по камерам флотации.

2. При напорной флотации регулируется и устанавливается расчетное давление в напорном баке и трубопроводах.

При электрофлотации и электрокоагуляции-флотации регулируются и устанавливаются расчетные параметры электрического тока.

3. При напорной флотации регулируется подача воздуха во всасывающие патрубки насосов.

При электрофлотации и электрокоагуляции-флотации осуществляется наблюдение за работой электродной системы, в результате чего:

а) оценивается достаточность количества выделяющегося газа и катионов металла и производится подрегулировка электрических параметров по этим показателям;

б) устанавливается график корректировки электрических параметров по часам суток в связи с колебаниями качества поступающей на очистку сточной жидкости;

в) определяется оптимальная частота изменения полярности электродов;

г) определяется динамика и состав отложений на электродах, их влияние на изменение электрических параметров и качество очистки стоков, разрабатывается график вывода электродных блоков на промывку и очистку от отложений.

4. Проверяется равномерность распределения шлама по поверхности флотокамер, и при необходимости в работу включаются дополнительные трубопроводы или электродные системы (см. рис. 32, 45).

5. Определяется периодичность сброса шлама.

6. Обработываются операции по сбросу шлама с поверхности камер.

7. Устанавливается периодичность и режим удаления осадка.

8. Определяется эффективность работы флотационной установки.

9. При отклонении фактического эффекта очистки стоков от проектного изменяются и корректируются основные технологические параметры (давление насосов, подача воздуха, рециркуляционное отношение) для установления оптимального режима работы.

10. Уточняются после выведения установки в нормальный режим параметры операций по удалению шлама и осадка.

Стоки по флотокамерам равномерно распределяются задвижками, которые должны быть установлены на всех видах трубопроводов при входе их в каждую камеру.

Регулирование давления в напорной линии и баке производится задвижкой или регулятором давления «до себя», устанавливаемым на общем напорном трубопроводе перед камерами.

Электрические параметры регулируются на основании показаний контрольно-измерительных приборов первоначально для наиболее неблагоприятного периода работы установки (максимальный приток, наибольшая загрязненность, минимальная электропроводность жидкости).

Количество воздуха регулируется краном, установленным на воздушной трубке, подсоединенной к эжектору или непосредственно к всасывающему патрубку. Кроме того, подачу воздуха можно регулировать задвижкой или вентилем, установленным перед эжектором (изменяя напор перед эжектором).

Для нормальной работы флотационной установки количество подсосываемого воздуха должно соответствовать необходимому удельному расходу его.

При регулировании количества подаваемого воздуха следует установить максимальную степень открытия воздушного крана эжектора, при которой нарушается или заметно ухудшается работа насоса, и минимальную степень открытия крана, при которой заметно ухудшается процесс флотации.

При установлении диапазона открытия воздушного крана следует помнить, что количество подсосываемого воздуха зависит от уровня сточной жидкости в приемном резервуаре насосной станции. Максимальная степень открытия воздушного крана устанавливается при минимальном уровне воды в резервуаре, а минимальная степень открытия воздушного крана при максимальном уровне воды.

Дальнейшее регулирование должно производиться в пределах установленного диапазона.

Регулирование количества воздуха можно считать законченным после того, как в приемном отделении флотационной камеры будет образовываться устойчивая водо-воздушная эмульсия и не будет происходить непрерывного выделения крупных пузырьков воздуха; выделение пузырьков говорит о ненужном избытке воздуха, который может ухудшать процесс флотации, создавая пробки в напорной линии, уменьшая объем воды в баке и др.

Достаточное количество выделяющегося электролитического газа и металла электродов оценивается по качеству очищенной жидкости. Главной задачей данного цикла наладки является достижение предусмотренного эффекта очистки при минимальных затратах электроэнергии.

Для составления графика корректировки электрических параметров по часам суток необходимо вести постоянное наблюдение за изменением качества сточной жидкости по ее электропроводности или другим показателям, косвенно оценивающим электропроводность (рН, кислотность, щелочность, общая минерализация). При ручном регулировании электрических параметров число обязательных корректировок их не должно превышать двух-трех раз в смену.

Частота изменения полярности электродов непосредственно связана с динамикой образования отложений на электродах и их пассивацией. Поэтому определять оптимальную частоту изменения полярности следует с установления продолжительности нормальной работы электродной системы без смены полярностей.

О нарушении нормальной работы электродной системы в связи с образованием отложений и пассивацией судят по увеличению напряжения и резкому падению силы тока.

Затем постепенно увеличивая частоту переключения полярностей необходимо найти такую частоту, дальнейшее увеличение

которой положительного влияния на продолжительность работы электродной системы не оказывает. Ориентировочно оптимальная частота переключений полярности находится в пределах 15—120 мин.

На основании полученных данных о продолжительности нормальной работы электродной системы при оптимальной частоте переключений полярности составляется график вывода электродных блоков на промывку и очистку от отложений и по составу отложений уточняют способ восстановления поверхности электродов (промывка водой, кислотой, щелочью, механическая очистка и т. д.).

Равномерность распределения всплывающего шлама по поверхности камер проверяют после окончания работ по регулировке давления и подсоса воздуха и включения флотационных камер в непрерывный режим работы.

Для определения равномерности распределения шлама по поверхности камер через 1—2 ч после начала накопления шлама на поверхности камеры измеряют высоту слоя шлама по площади камеры стеклянной трубкой длиной 100 см, градуированной в см. К одному ее концу присоединяется резиновый шланг, свободный конец которого располагается ниже уровня воды во флотаторе. Опустив стеклянную трубку на глубину, заведомо большую высоты шлама, заряжают сифон и при медленном ее поднимании определяют момент, когда по трубке начнет идти шлам. Отметив на трубке уровень шлама в этот момент, ее вынимают и устанавливают высоту слоя шлама.

Замер шлама нужно производить в 3—4 точках по длине или радиусу (первая точка на расстоянии 1,5—2 м от приемной камеры, последняя — у борта шламоотводящего лотка). Если высота шлама в первой точке будет превосходить высоту шлама в конце камеры не более чем в два раза, распределение шлама по поверхности камеры следует признать удовлетворительным. В этом случае включение дополнительных напорных линий, подающих сток прямо в отстойную часть флотационных камер, нецелесообразно.

Если же высота шлама в начале камеры более чем в 2 раза превосходит высоту шлама в конце, а тем более, если в конце имеется непокрытое шламом водное зеркало, что может иметь место при камерах длиной более 10 м, то в работу включаются дополнительные напорные линии, которые рассчитываются на подачу не более 20% расхода сточных вод.

В зависимости от характера распределения шлама по длине камеры может быть включена одна или две дополнительные линии.

Нагружать дополнительные напорные линии следует постепенно, непрерывно наблюдая за качеством осветленной воды. Если после очередного увеличения подачи стока через дополнительные линии вынос взвешенных веществ увеличится, необходимо убе-

даться, что это влияет подача через дополнительные линии (несколько раз уменьшив и вновь увеличив расход по линиям) и после этого установить максимально допустимую степень открытия задвижек на дополнительных напорных линиях.

Сбросив затем накопленный шлам, снова произвести замер толщины шлама по длине камеры, чтобы удостовериться в достаточно равномерном распределении его по длине.

Установление наилучшего режима работы дополнительных напорных линий можно ускорить, создавая в каждой камере разное соотношение подачи сточных вод.

Периодичность сброса шлама указывается в проекте.

Однако практически время накопления слоя шлама будет зависеть от колебания взвешенных веществ в пределах суток и от колебания расхода сточных вод, пропускаемых через флотатор. Поэтому для удобства эксплуатации следует установить график сброса шлама в конкретных условиях. Для этого необходимо в течение 10—15 дней производить круглосуточный контроль за приростом шлама, измеряя его высоту через каждый час и осуществляя сброс шлама по достижении им средней высоты, принятой в расчетах. Результатом работы должен явиться график, показывающий конкретное время начала операций по сбросу шлама в пределах суток (например, 1-й сброс — 8 ч; 2-й — 10,30; 3-й — 12,30 и т. д.).

При выполнении данных работ (а также работ предыдущего цикла наладки) необходимо, кроме того, установить, какой максимальный слой шлама может быть накоплен и сброшен без ухудшения качества очистки как в период работы флотатора, так и, в особенности, в период сброса шлама и работы скребков. В результате этого должен быть подтвержден или уточнен принятый в проекте слой шлама, при достижении которого начинается сброс шлама, и график сброса определен уже исходя из этой уточненной высоты слоя.

Отработка операций по сбросу шлама с поверхности флотационных камер может быть начата уже при выполнении второго цикла наладочных работ.

В процессе отработки этой операции необходимо добиться, чтобы, во-первых, со сбрасываемым шламом уходило возможно меньшее количество воды (точнее, только то количество, которое необходимо для движения шлама самотеком по отводящим лоткам и трубам) и, во-вторых, чтобы при сбросе не происходило взмучивания, перемешивания шлама и ухудшения качества очищенной жидкости.

Для соблюдения указанных условий необходимо, чтобы скорость движения скребков вдоль камеры при сбросе шлама была равна скорости движения шлама к борту шламоотводящего лотка. Поскольку конструкция скребкового механизма не всегда предусматривает регулирование скорости движения скребков, то регулировать в процессе наладки придется скорость движения

шлама, т. е. количество шлама, переливающегося через борт шламоотводящего лотка, или его уровень над бортом лотка.

Таким образом, при отработке сброса шлама необходимо установить и зафиксировать оптимальный уровень шлама в камере при сбросе, т. е. уровень регулируемого водослива на выходе осветленной воды из камеры флотации, а также его расход, т. е. степень открытия шиберов в шламоотводящем лотке.

Рабочие положения указанных регуляторов при сбросе шлама необходимо установить для трех случаев подачи стоков на флотацию, а именно: работа при максимальном, минимальном и среднем притоках сточных вод на флотацию.

Периодичность и режим сброса осадка через грязевые трубы устанавливается во время работы флотационных камер. Поскольку часть нерастворенных веществ неизбежно будет оседать на дно (2—5% от общего количества), то для их удаления предусмотрены грязевые трубы, сброс через которые выпавшего на дно осадка целесообразно производить при слое осадка в средней части камеры не менее 0,4—0,5 м.

Во время наладки устанавливается периодичность продувки флотационных камер. Для этого с начала эксплуатации камер наблюдают за приростом осадка, выпадающего на дно (за его уровнем). Эти наблюдения можно производить при помощи градуированную трубку, соединенную с сифоном, можно достаточно точно (2—3 см) установить уровень стояния осадка в любой момент. Отбирая этой же трубкой пробы осадка, можно дать оценку его качества.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Березюк В. Г., Никифоров А. Ф., Пушкарев В. В. и др. Очистка природных и сточных вод пенной флотацией и сорбцией твердыми сорбентами. Тезисы докладов и сообщений Всесоюзной научно-технической конференции «Охрана водных ресурсов от загрязнений и их рациональное использование». Ровно, 1972.
2. Васильев Г. В. Очистка сточных вод предприятий текстильной промышленности. Легкая индустрия, 1968, № 8.
3. Вознесенский С. А., Серета Г. А., Басков Л. И., Ткаченко Е. В., Багрецов В. Ф. К вопросу о применении флотации при очистке радиоактивных сточных вод. «Атомная энергия», т. 9, вып. 3, 1960.
4. Волкова З. В. Закрепление частиц минералов в поверхности пузырьков воздуха при флотации. ЖФХ, т. XIV, № 5—6, 1940.
5. Галузин В. А. Реконструкция установки для улавливания волокна методом электролиза из сточных вод бумагоделательных машин. Сб. трудов ВНИИ Госзнака, вып. 4, М., 1964.
6. Герасимов И. В. Очистка сточных вод общего стока НПЗ постоянным электрическим током с применением флотации. Труды Уфимского нефтяного института. Вып. III, 1960.
7. Глебоващ В. А., Классен В. И., Плаксин И. Н. Флотация. М., Госгортехиздат, 1961.
8. Годен А. М. Флотация. М., Госгортехиздат, 1959.
9. Горелов П. Н., Горных Т. Н., Мустафин Ф. А. Очистка от масел и смолстых веществ сточных вод во флотомашине. «Кокс и химия», 1961, № 3.
10. Гребнев Н. А. Аппарат для доочистки от смол и нефти способом флотации. Информационно-технический листок № 18, Л., 1957.
11. Гришина Е. Е. Опыты по анаэробной очистке сточных вод от мойки шерсти. «Гидротехника и мелiorация», 1964, № 10.
12. Дерягин Б. В. Упругие свойства тонких слоев воды. ЖФХ, т. III, № 1, 1932.
13. Дерягин Б. В., Духин С. С., Лисиченко В. А. Кинетика прилипания минеральных частиц к пузырькам при флотации, ЖФХ, т. XXXIII, № 10, 1959 и т. XXXIV, № 3, 1960.
14. Думанский А. В. Учение о коллоидах. М.—Л., Госхимиздат, 1948.
15. Жуков А. И., Демидов Л. Г., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. Канализация промышленных предприятий. М., Стройиздат, 1969.
16. Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. Канализация промышленных предприятий. М., Госстройиздат, 1962.
17. Караванов И. Н. Флотационная очистка сточных вод железнодорожных промыочно-пропарочных станций. «Вестник ВНИИЖТ», 1960, № 6.
18. Караванов И. И., Резник Н. Ф. Флотационная очистка сточных вод от нефтепродуктов. М., ЦНИИТЭнефтехим, 1966.
19. Карелин Я. А., Жуков Д. Д. и др. Очистка производственных сточных вод. М., Стройиздат, 1970.
20. Классен В. И. Влияние адсорбции газов на флотиримость минералов. «Горный журнал», 1948, № 9.
21. Классен В. И. Вопросы теории аэрации и флотации. М.—Л., Госхимиздат, 1949.
22. Когановский А. М., Клименко Н. А. Физико-химические методы очистки промышленных сточных вод от поверхностно-активных веществ. Киев, «Наукова думка», 1974.
23. Кондратавичус В. И. Предварительная локальная очистка сточных вод кожевенных заводов. «Кожевенно-обувная промышленность», 1968, № 12.
24. Кондратавичус В. И. Удаление синтетических поверхностно-активных веществ из сточных вод кожевенных заводов. «Кожевенно-обувная промышленность», 1969, № 1.
25. Кулаков Е. А. Сточные воды фабрик первичной обработки шерсти, их очистка и извлечение шерстяного жира (ланоллина). Сб. «Очистка промышленных сточных вод». № 2, М., Госстройиздат, 1959.
26. Ласков Ю. М., Кондратавичус В. И. Расход и состав сточных вод кожевенных заводов. «Кожевенно-обувная промышленность», 1968, № 9.
27. Лукин Н. А. Очистка сточных вод, содержащих синтетические поверхностно-активные вещества. М., Стройиздат, 1972.
28. Лукин Н. А. Принципы флотации в применении к уплотнению избыточного активного ила. Научные труды АКХ, вып. 1, М., Изд-во МКХ РСФСР, 1949.
29. Лукиных Н. А. Уплотнение активного ила методом флотации. Научные труды АКХ, вып. II—III, М., Изд-во МКХ РСФСР, 1951.
30. Лурье Ю. Ю., Антипова Т. С. Очистка сточных вод шерстомойной фабрик. «Текстильная промышленность», 1968, № 2.
31. Луценко Г., Метлунова Р., Цветкова Н. Очистка сточных вод прачечных. «Жилищное и коммунальное хозяйство», 1972, № 9.
32. Малков В. А. Интенсификация очистки сточных вод вискозного производства методом напорной флотации. «Химические волокна», 1973, № 4.
33. Матов Б. М., Романчук И. В., Кречетов В. И. Осветление сточных вод мясокомбината электрофлотационным способом с применением реагентов. Научно-техническая информация «Мясная и птицеперерабатывающая промышленность», вып. VI, ЦИНИТИПИЩЕПРОМ, 1967.
34. Матов Б. М., Романчук И. В. Электрофлотация жира сточных вод мясокомбината. Научно-техническая информация «Мясная и птицеперерабатывающая промышленность», вып. 18, ЦИНИТИПИЩЕПРОМ, 1967.
35. Мацнев А. И. Очистка сточных вод вискозного производства методом флотации. Новочеркасск. Редакционно-издательский отдел НПИ, 1961.
36. Мацнев А. И. Флотация как метод очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ. Доклады XV научной конференции НПИ, Новочеркасск, 1964.
37. Мацнев А. И. Опыты по очистке сточных вод завода синтетических продуктов. Доклады III научно-технической конференции по водоснабжению и канализации, Новочеркасск, 1966.
38. Мацнев А. И., Куликов Н. И. Снижение концентрации поверхностно-активных веществ при флотации. Доклады III научно-технической конференции по водоснабжению и канализации, Новочеркасск, 1966.
39. Мацнев А. И., Синева О. П., Рогов В. М., Потаненко П. П. Применение безнапорной флотации для предварительной очистки сточных вод кожевенных заводов. Труды института, вып. I, Л., Ленгипроводхоз, 1972.
40. Мацнев А. И., Синева О. П., Россинский Н. П. Об электролитической регенерации цинка из цинкодержащих осадков сточных вод. «Химические волокна», 1973, № 4.
41. Мацнев А. И., Шкляревский И. Г. Флотационное уплотнение осадков сточных вод. Сб. «Водоснабжение и канализация», вып. 19, М., ЦБНТИ МКХ РСФСР, 1972.
42. Монгайт И. Л. Рациональная схема очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. Сб. «Очистка промышленных сточных вод». М., Госстройиздат, 1957.
43. Монгайт И. Л. Результаты исследований по доочистке общего стока Московского нефтеперерабатывающего завода на опытной полупроизводственной установке. В кн. «Борьба с загрязнением водоемов». М., Госгортехиздат, 1958.
44. Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. Методы очистки сточных вод. М., Госгортехиздат, 1958.

45. *Перевалов В. Г.* Очистка от нефти методом флотации промышленной сточной воды. Сб. «Очистка промышленных сточных вод», М., «Гостройиздат», 1957.
46. *Перевалов В. Г.* Новый способ очистки промышленных сточных вод от нефти. В кн. «Борьба с загрязнением водосморов», М., Гостолтехиздат, 1958.
47. *Песенсон И. Б.* Выделение жира из сточных вод путем отстаивания. Доклады XVIII научной конференции ЛИСИ. Л., 1960.
48. *Песенсон И. Б.* Исследования влияния добавления хлора к жиросодержащим сточным водам на эффект выделения жира при последующем отстаивании. Доклады XXIII научной конференции ЛИСИ, 1956.
49. *Песенсон И. Б.* Исследования по очистке от жира и взвешенных веществ сточных вод мясокомбинатов флотацией в производственных импеллерных машинах. «Санитарная техника», краткие содержания докладов XXV научной конференции ЛИСИ. Л., 1967.
50. *Плешаков В. Д., Чернышев В. Н.* Флотационный способ очистки сточных вод от хрома. Сб. «Очистка природных и сточных вод». Труды НИИ, т. 234, Новочеркаск, 1971.
51. *Плешаков В. Д., Чернышев В. Н.* О выделении белка из сточных вод кожевенного производства. Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы, серия «Технические науки», № 2, Ростов-на-Дону, 1973.
52. *Побегайло П. И., Бондарь А. А., Резник Н. Ф.* Исследование промышленной флотационной установки для очистки сточных вод нефтеперерабатывающего завода. Сб. «Очистка производственных сточных вод» № 4, М., Стройиздат, 1969.
53. *Пушкарев В. В., Егоров Ю. В., Хрусталев Б. Н.* Осветление и дезинфекция сточных вод пенной флотацией. М., Атомиздат, 1969.
54. *Рейбиндер П. А.* и др. Физикохимия флотационных процессов. М.—Л., Металлургиздат, 1933.
55. *Резник Н. Ф.* Очистка балластных вод. «Водоснабжение и санитарная техника», 1965, № 7.
56. *Рогов В. М., Мацнев А. И., Жукель Ю. А., Синео О. П.* Выбор схемы очистки сточных вод. Информационные материалы № 25. Л., Ленизгпроздхоз, 1972.
57. *Рогов В. М., Мацнев А. И., Синео О. П., Симановская Н. Н.* Расчет установок для электрокоагуляции флотации. Информационные материалы № 25. Л., Ленизгпроздхоз, 1972.
58. *Ромк М. М.* Адсорбционные процессы в химической технологии. М., Госхимиздат, 1951.
59. *Синео О. П., Игнатенко А. П.* Интенсификация очистки сточных вод с использованием флотационной биокоагуляции. Тезисы докладов и сообщений Всесоюзной научно-технической конференции «Охрана водных ресурсов от загрязнения и их рациональное использование в народном хозяйстве», Ровно, 1972.
60. *Синео О. П., Игнатенко А. П.* Извлечение жиров из сточных вод мясокомбинатов методом электрокоагуляции-флотации. Тезисы докладов и сообщений Всесоюзной научно-технической конференции «Охрана водных ресурсов от загрязнения и их рациональное использование в народном хозяйстве» Ровно, 1972.
61. *Скорсгалетти В. В.* Теоретическая электрохимия. Л., Госхимиздат, 1963.
62. *Туровский И. С., Любарский В. М.* Влияние замораживания и оттаивания на свойства осадка сточных вод. «Водоснабжение и санитарная техника», 1970, № 7.
63. *Усыров О. Г., Лагров Н. С., Ефремов И. Ф.* О роли поляризованного взаимодействия в процессе электрофоретического осаждения. «Коллоидный журнал», т. 28, 1966, № 4.
64. *Фрумкин А. Н.* Об явлениях смачивания и прилипания пузырьков. ЖФХ, т. XII, № 4, 1938.
65. *Шифрин С. М., Песенсон И. Б., Заббаров А. Н.* Способы удаления из сточных вод рыбкопсервных предприятий жира и взвешенных веществ. «Санитарная техника». Сб. трудов ЛИСИ, 1971, № 69.
66. *Якимов Г. В.* Очистка воды и сточной жидкости от радиоактивных изотопов. Изд-во МКХ РСФСР, 1961.
67. *Якимов Г. В., Мацнев А. И.* О технологии очистки промышленных сточных вод Барнаульского завода искусственного и синтетического волокна с применением флотационного метода. Труды Новочеркаского политехнического института, т. 157, Новочеркаск, 1964.
68. *Яковле С. В., Кондратович В. И.* Исследования по очистке сточных вод кожевенных заводов. «Водоснабжение и санитарная техника», 1969, № 8.
69. *Яковлев С. В., Ласков Ю. М.* Очистка сточных вод предприятий легкой промышленности. М., Стройиздат, 1972.
70. *Blair J. G.* Food Engineering. Vol. 31, N 6, 1959.
71. *Boyles W. A., Lincoln R. E.* Applied Mikrobiol. Vol. 6, p. 327, 1958.
72. *Bohnke B., Schweiz Z.* Hydrol. H—31, N 2, 1969.
73. *Chris H., Gotuas H.* Sewage Works Journal. Vol. 15, N 2, 1943.
74. *Clemens O. A., Ziemba J. V.* Food Engineering. Vol. 43, N 8, 1971.
75. *Collins R., Burns R. C.* Engineering News-Record. Vol. 146, N 16, 1951.
76. *Dirasian H. A.* Water and Wastes Engineering. Vol. 7, N 5, 1970.
77. *Edwards G. P., Kesavulu V., Smith S. W. P. C. F.* Vol. 33, N 7, 1961.
78. *Eldib A. W. P. C. F.* Vol. 33, N 9, 1961.
79. *Farrel L. S.* Water and Sewage Works. Vol. 100, p. 171, 1958.
80. *Fiske C. E., Mernitz P.* Petroleum Engineering. Vol. 27, N 6, 1955.
81. *Gaden E. L., Kevorkian V.* Chemical Engineering. Vol. 63, N 10, 1956.
82. *Gisler H. I.* Waste Engineering. Vol. 27, N 2, 1956.
83. *Grievens R. B., Bewley J. L. W. P. C. F.* Vol. 45, N 3, 1973.
84. *Hess R. W.* Sewage and Industrial Wastes. Vol. 25, N 6, 1953.
85. *Hopper S. H., Mc Cowen M. C. Y. A. W. W. A.* Vol. 44, N 8, 1952.
86. *Jenks H. W.* Engineering News-Record. Vol. 145, N 16, 1950.
87. *Kaeding J.* Vom Wasser. 1961, Bd. 28. Weinheim/Bergstr., 1962.
88. *Kaeding J.* Wasserwirtsch. Wassertechn. J. 12, N 1, 1932.
89. *Kalinske A. A.* «Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes». Vol. 2. Edited by Br. Joseph McCabe, F. S. C. and W. W. Eckenfelder, Jr. Reinhold Publishing Corporation, N—Y, 1958.
90. *Katz W. J.* Publik Works. Vol. 89, N 12, 1958.
91. *Katz W. J.* Petroleum Refiner. Vol. 37, N 5, 1958.
92. *Katz W. J.* Wastes Engineering. Vol. 30, N 7, 1959.
93. *Katz W. J., Geinopolos A. W. P. C. F.* Vol. 39, N 6, 1967.
94. *Klein S. A., Mc Gauthey P. H. W. P. C. F.* Vol. 35, N 1, 1963.
95. *Kozovskova I.* Cskoslovenska farmacie. R. XII, N 1, 1963.
96. *Laboon J. F.* Sewage and Industrial Wastes. Vol. 6, p. 423, 1952.
97. *Levy R. L., White R. L., Shea T. G.* Water Research. Vol. 6, N 12, 1972.
98. *Logan R. P.* Sewage Works Journal. Vol. XXI, N 5, 1949.
99. *Mays T. J.* Sewage and Industrial Wastes. Vol. 25, N 10, 1953.
100. *Mc Cartey P. L. W. P. C. F.* Vol. 38, N 4, 1966.
101. *Mc Gauthey P. H., Klein S. A.* Sewage and Industrial Wastes. Vol. 31, p. 877, 1959.
102. *Prather B. V.* Petroleum Refiner. Vol. 40, N 5, 1961.
103. *Rohlich G. A.* Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 46, N 2, 1954.
104. *Rudolfs W.* Sewage Works Journal. Vol. 15, N 4, 1943.
105. *Schroeder H., Lieven-Gollnitz L.* Monthly Techn. Rev. H—5, N 3, 1961.
106. *Sessler R. E.* Sewage and Industrial Wastes. Vol. 97, N 10, 1955.
107. *Simons G. E.* Water and Sewage Works, Referens and Data. R—161, 1948.
108. *Stone A. R.* Journal and Proc. Inst. Sewage Purification. N 5, 1962.
109. *Supera A., Przytulski S.* Przegląd skorzany. N 5, 1971.
110. *Talley W. J.* Effluent and Water Treatment Journal. Vol. 12, N 1, 1972.
111. *Templeton W.* Wastes Engineering. Vol. 27, N 12, 1955.
112. *Weismantel G. E.* Chemical Engineering. Vol. 78, N 27, 1971, 113.
113. *White R. L., Gole T. G.* Publik Works. Vol. 104, N 2, 1973.
114. *Wolner H. J., Kunn V. M., Kauh P. A.* Sewage and Industrial Wastes. Vol. 26, N 4, 1954.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	18
<b>Физико-химические основы флотационного процесса</b>	
Методы флотационной обработки сточных вод	18
Классификация способов флотационной обработки	18
Флотация с выделением воздуха из раствора	19
Флотация с механическим диспергированием воздуха	29
Флотация с подачей воздуха через пористые материалы	33
Электрофлотация	36
Биологическая и химическая флотация	41
<b>Очистка флотацией некоторых категорий сточных вод</b>	42
Городские сточные воды	42
Сточные воды, содержащие нефть и нефтепродукты	47
Сточные воды вискозного производства	54
Сточные воды кожевенных заводов	64
Сточные воды меховых фабрик	75
Сточные воды фабрик искусственных технических кож	78
Сточные воды мясокомбинатов	84
Сточные воды фабрик первичной обработки шерсти	87
Сточные воды других производств	94
Очистка сточных вод от некоторых специфических загрязнений	99
<b>Флотационное уплотнение осадков сточных вод</b>	106
<b>Особенности проектирования, наладки и эксплуатации флотационных установок</b>	119
Литература	128

*Анатолий Иванович Мацнев*

**ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ФЛОТАЦИЕЙ**

Редактор *Е. Г. Фесенко*  
 Художественный редактор *Н. С. Величко*  
 Обложка художника *Г. И. Головаченко*  
 Технический редактор *З. П. Золотарева*  
 Корректор *Г. А. Величка*

БФ 10243. Сдано в набор 12. V. 1975 г. Подписано к печати 11. XI. 1975 г. Формат бумаги 80x90 мм. Бумага типографская М 1. Объем: 8,25 печ. л., 8,73 уч.-изд. л. Тираж 7000. Зак. 5-1514. Цена 57 коп.  
 Издательство «Будівельник», Киев, Владимирская, 24.  
 Киевская фабрика печатной рекламы, Киев, Выборгская, 84.

