

мых одиночными водозаборными скважинами, объясняется отсутствием пояса строгой санитарной защиты.

Близость к земной поверхности кристаллического фундамента, разделенного тектоническими нарушениями на блоки, обусловило насыщение подземных вод радоном. Концентрации радона в верхнепротерозойском горизонте на водозаборе Волохва составляет до 36,1; водозаборе Щара-1 до 22,8; на водозаборе Щара-2 до 26 Бк/дм<sup>3</sup>, что выше РДУ (18 Бк/дм<sup>3</sup>).

УДК 628.353.

**Яромский В.Н., Головач Т.И.**

## **ВЫБОР МЕТОДОВ И СООРУЖЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

На современном этапе стремительного развития технического прогресса и значительного увеличения роста объемов производства многие промышленные предприятия столкнулись с рядом проблем, влияющих на экологическую обстановку в республике. Одной из таких проблем является создание надежных препятствий для проникновения загрязненных производственных сточных вод в гидросферу. В нашей республике имеется большое количество предприятий молочной промышленности, на которых в процессе производства образуются сточные воды, загрязненные как нерастворенными минеральными и органическими примесями, так и растворенными органическими соединениями. На каждом из этих предприятий возникает вопрос, как добиться высокой степени очистки сточных вод с минимальными капитальными и эксплуатационными затратами.

В процессах переработки молока образуется значительное количество сточных вод, различающихся по составу и объему.

Загрязненные сточные воды предприятий молочной промышленности загрязнены продуктами распада переработки молока (белок, молочный камень, азот и т. п.), моющими средствами (кальционированная и каустическая сода, соляная и серная кислота и др.), частичками твердых продуктов переработки молока (кусочки творога, молочные пленки, сырное зерно и прочие), примесями минерального происхождения (грунт, песок), жирами и посторонними предметами (стекло, фольга и др.).

Концентрация загрязнений сточных вод молочных предприятий колеблется в широких пределах и зависит от профиля выпускаемой продукции [4]. Концентрация взвешенных веществ сточных вод городских молочных заводов и заводов сухого и сгущенного молока в среднем составляет 350 мг/л, а сыродельных заводов - 600-1000 мг/л.

Реакция среды свежей сточной воды - чаще всего нейтральная или слабощелочная, но легко переходящая в кислую вследствие сбраживания молочного сахара.

Концентрация жиров и жироподобных веществ в сточных водах заводов и цехов, специализированных на выпуске высокожирной продукции, составляет 200-400 мг/л, в сточных водах других производств обычно не превышает 100 мг/л.

Первым этапом очистки сточных вод предприятий молочной промышленности является механическая очистка от нерастворенных примесей. Проблема выбора сооружений механической очистки, которые обеспечивали бы устойчивое качество воды при выходе из этих сооружений, является центральной, так как неудовлетворительное качество воды после этих сооружений отрицательно сказывается на работе сооруже-

ний биохимической очистки сточных вод. Анализ приведенных данных свидетельствует, что экологическое состояние подземных вод Баранович и многих сельских населенных пунктах неблагоприятное. Для восстановления их качества, защиты от дальнейшего загрязнения и рационального их использования авторами разработан комплекс мероприятий, который передан в Барановичскую горрайинспекцию природных ресурсов и охраны окружающей среды, а также в Барановичские городской и районный исполкомы.

жений биохимической очистки сточных вод.

При механической очистке сточных вод применяют три основных метода: процеживание, отстаивание и центрифугирование. В этих целях используют в различных конструктивных модификациях решетки, песколовки, отстойники, центрифуги, гидроциклоны.

На предприятиях молочной промышленности в качестве процеживающих сооружений для очистки сточных вод от крупных отходов используют классические решетки с прозорами не более 16 мм или решетки-дробилки [1-4]. Как правило, эти решетки устанавливаются в приемных камерах локальных канализационных насосных станций. Для удаления из сточных вод песка и других минеральных примесей с размерами частиц свыше 0,2 мм, а также грубодисперсных органических взвешенных веществ применяют песколовки. В составе очистных станций предприятий молочной промышленности ввиду небольших расходов сточных вод применяют обычно горизонтальные песколовки с круговым движением воды.

Отстаивание используется для выделения оседающих на дно и всплывающих на поверхность мельчайших частиц взвеси. Для отстаивания сточных вод предприятий молочной промышленности рекомендуется использовать вертикальные и двухъярусные отстойники, осветлители-перегниватели, осветлители с естественной аэрацией, жироловки и пескожировоушки [1-6].

Опыт эксплуатации вертикальных и двухъярусных отстойников показывает, что работа этих сооружений малоэффективна и неудовлетворительна, из-за специфики загрязнения сточных вод данной отрасли. Вследствие молочнокислого брожения сточные воды быстро закисают, снижается рН воды и ухудшается ее качество. Эффект очистки по жирам и взвешенным веществам около 30% [1,4]. Продолжительность пребывания воды в отстойниках - 1,5 часа.

Кафедрой канализации ЛИСИ были разработаны конструкции осветлителей с естественной аэрацией и осветлителей-перегнивателей для механической очистки сточных вод и сбраживания осадка молокоперерабатывающих заводов [1]. Осветлитель-перегниватель представляет собой комбинированное сооружение, внутренней частью которого является осветлитель, где вода аэрируется засасываемым из атмосферы воздухом. Снаружи осветлителя располагается перегниватель. Сточная вода по лотку подается в центральную трубу, откуда через камеру флокуляции поступает в отстойную часть осветлителя. Отводится осветленная жидкость по сборному лотку. Осадок, выпавший на дно осветлителя, и всплывающие на поверхность вещества отводятся в перегниватель. При от-

*Яромский Виктор Николаевич. Зав. каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения БГТУ.*

*Головач Татьяна Ивановна. Ассистент. каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения БГТУ.*

*Брестский государственный технический университет (БГТУ). Беларусь, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*

стаивании сточных вод молочных заводов в осветлителях эффект очистки равен 35% по взвешенным веществам, 30% - по жирам, 24% - по БПКполн. Продолжительность пребывания сточных вод в осветлителях не менее 1 часа [1,4].

Для осветления применяют также отстойные жироловки горизонтального и вертикального типа, устанавливаемые, как правило, на выпусках цехов и заводов. Кафедрой канализации ЛИСИ разработана жироловка вертикального типа с реактивным водораспределителем для очистки сточных вод от жира и взвешенных веществ. В этом сооружении благодаря равномерному распределению сточных вод на входе, естественной аэрации жидкости, а также нисходящему движению жидкости в отстойной зоне эффективность очистки при одинаковом времени отстаивания на 20-25 % выше, чем в горизонтальных жироловках и составляет 50-70%. Продолжительность отстаивания зависит от требуемой степени очистки и составляет 45-60 мин [1,4].

Пескожироловушка с нисходяще-восходящим потоком жидкости представляет собой круглую емкость с кольцевым лотком для сбора осветленной жидкости [5,6]. Вследствие равномерного распределения жидкости по всему объему сооружения, движения воды с малой скоростью и изменения направления потока с нисходящего на восходящий, происходит одновременно и выпадение тяжелых фракций примесей, и всплывание легких. Необходимо отметить, что жировая фракция сточной жидкости молочных заводов представляет собой мельчайшие шарики молочного жира, округленные гидратированной белковой оболочкой, крайне медленно выделяются при отстаивании сточных вод. Поэтому для интенсификации их выделения из сточной жидкости рекомендуется использовать коагулянты. Продолжительность отстаивания сточной жидкости после смешения с коагулянтами - 1.5 ч., при этом эффект очистки от жиров и взвешенных веществ - 72 - 82% [5]. Несмотря на высокую степень разделения, метод реагентной коагуляции не нашел применения в молочной промышленности, т. к. для его осуществления требуется большой расход дефицитных реагентов и возникают трудности с утилизацией осадков, содержащих соли отработанных коагулянтов.

Из выше изложенного видно, что каждое из этих сооружений имеет ряд недостатков, что отстаивание сточных вод данной отрасли на этих сооружениях является малоэффективным и неудовлетворительным. В связи с этим возникает необходимость рассмотреть возможность очистки сточных вод молочных комбинатов на сооружениях, где разделение взвешенных частиц в водной среде происходит под действием центробежных сил, на гидроциклонах.

По гидравлическим условиям различают два основных вида гидроциклонов: закрытые (напорные) и открытые (безнапорные). Гидроциклоны имеют высокую удельную производительность по обрабатываемой суспензии, сравнительно низкие затраты на строительство и эксплуатацию установок, высокое качество целевых продуктов процессов разделения, отсутствие вращающихся механизмов, предназначенных для генерирования центробежной силы, возможность создания компактных автоматизированных установок. Преимущество гидроциклонов перед отстойниками следующее: вследствие центробежных сил увеличивается скорость осаждения частиц, что в свою очередь, приводит к сокращению продолжительности процесса осветления и к уменьшению необходимого объема центробежного аппарата по сравнению с объемом отстойника, что приводит к экономии материальных ресурсов и рациональному использованию земельных площадей. Основным недостатком напорных гидроциклонов является значительный расход энергии, быстрый износ стенок аппарата и сложность удаления всплывающих веществ. Эти недостатки отсутствуют в открытых гидроциклонах, работающих при

сравнительно небольших скоростях, так что потери напора в них составляют около 0.5 м. вод. ст.

В настоящее время в литературе, а также в проектных материалах имеется большое количество конструктивных решений гидроциклонов, которые нашли широкое применение для очистки сточных вод в различных отраслях промышленности [7,8]. Однако вопрос использования гидроциклонов для очистки сточных вод молочной промышленности является малоизученным. При механической очистке сточных вод предприятий молочной промышленности необходимо выделение как тяжелых примесей (концентрация взвешенных веществ до 1000 мг/л), так и легких примесей (концентрация жиров до 400 мг/л).

Из всего многообразия конструктивных решений напорных гидроциклонов для совместного выделения из воды и легких, и тяжелых фракций используется конструкция напорного трехпродуктового гидроциклона. Имеется опыт эксплуатации данного гидроциклона  $D = 500, 350, 250, 100, 80$  мм для разделения сточных вод мясокомбината [8]. Однако при очистке сточных вод прокатных производств от масел с гидравлической крупностью частиц 0.2 - 0.5 мм/с они показали сравнительно невысокий эффект осветления (15 - 20 %) [7].

Наиболее эффективными для совместной очистки воды от легких и тяжелых примесей являются различные конструкции открытых гидроциклонов [7-9]: гидроциклон с периферийным водосливом (простейшей конструкции), с центральной трубой (рис. 1а), с конической диафрагмой, с внутренним цилиндром

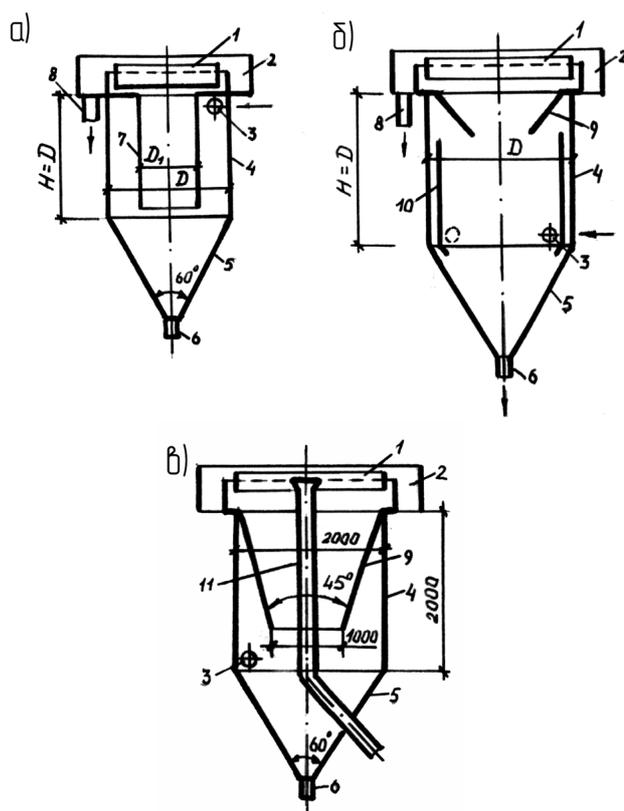


Рисунок 1 - Конструкции открытых гидроциклонов: а) с центральной трубой; б) с внутренним цилиндром и конической диафрагмой; в) установленный на Пружанском молочном комбинате. 1-полуогруженный кольцевой щит; 2-периферийный водослив; 3-подвод воды; 4-цилиндрическая часть; 5-коническая часть; 6-отвод шлама; 7-центральная труба; 8-отвод очищенной воды; 9-коническая диафрагма; 10-внутренний цилиндр; 11-труба для отвода всплывающих веществ.

и конической диафрагмой (рис. 1б), многоярусный низконапорный гидроциклон и др. гидроциклон простейшей конструкции оборудован полупогружным кольцевым щитом, который обеспечивает задержание и удаление из воды легких всплывающих веществ. Полезный объем, в котором распространяется рабочий поток жидкости, не превышает 15%. С увеличением гидравлической нагрузки коэффициент использования объема уменьшается. При введении в простейший гидроциклон цилиндрической перегородки (рис. 1а) несколько повышается коэффициент использования объема аппарата. Оборудование простейшего гидроциклона диафрагмой позволяет значительно уменьшить вынос частиц из-за действия центробежных сил. Однако возникает возможность накопления взвешенных веществ под диафрагмой и периодический их вынос с осветленной водой. Этот недостаток устранен в конструкции циклона с внутренним цилиндром (рис. 1б). Полезный объем в гидроциклоне данной конструкции составляет 25%. Многоярусный гидроциклон оборудован коническими диафрагмами, которые делят рабочий объем гидроциклона на отдельные ярусы. Благодаря этому достигается более полное использование объема (70 - 80 %).

Согласно рекомендациям ВНИИ Водгео для очистки промышленных стоков от грубодисперсных взвешенных частиц крупностью более 0.5 мм/с рекомендуется применять открытый гидроциклон простейшей конструкции. При расходе сточных вод менее 200 м<sup>3</sup>/ч, содержащих мелкодисперсные примеси с гидравлической крупностью более 0.2 - 0.3 мм/с, возможно применение циклонов с конической диафрагмой и внутренним цилиндром. При расходе сточных вод более 200 м<sup>3</sup>/ч более рационально использовать многоярусный низконапорный гидроциклон [7].

Ввиду того, что предприятия молочной промышленности имеют небольшие расходы сточных вод, в состав которых входят мелкодисперсные примеси органического и минерального происхождения с различной плотностью (как большей, так и меньшей плотности воды), то при механической очистке этих стоков целесообразнее применять открытые гидроциклоны с конической диафрагмой и внутренним цилиндром. Кафедрой водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета была разработана схема предварительного осветления сточных вод молочных комбинатов на открытых гидроциклонах

Таблица 1 - Результаты производственных исследований по очистке сточных вод от взвешенных веществ на гидроциклонах

№ опыта	1	2	3	4	5	6
Концентрация взвешенных веществ в приемном резервуаре КНС, мг/л	1916,0	1964,4	1380,2	1992,8	1237,8	2104,4
Концентрация взвешенных веществ после гидроциклона, мг/л	671	140	670,2	1009,2	588,8	538,0
Эффект очистки, %	66	93	51	50	52	74

Продолжение таблицы 1

№ опыта	7	8	9	10	11	12
Концентрация взвешенных веществ в приемном резервуаре КНС, мг/л	2180,7	2203,7	1875,0	1997,0	2070,4	2103,3
Концентрация взвешенных веществ после гидроциклона, мг/л	681,3	652,1	621,3	671,3	593,1	605,1
Эффект очистки, %	69	70	69	66	71	71



Рисунок 2 - Гидроциклоны, работающие на локальных очистных сооружениях Пружанского молочного комбината

[10], конструкция которых представлена на рис. 1в. Гидроциклон оборудован перефирийным водосливом, полупогружным кольцевым щитом, конической диафрагмой, трубопроводом для удаления всплывающих веществ. Диаметр гидроциклона и высота цилиндрической части равны 2000 мм, угол конусности конической части 60°. Внешний вид гидроциклонов, работающих на локальных очистных сооружениях Пружанского молочного комбината, показан на рис. 2.

На локальных очистных сооружениях проводились производственные исследования по оценке эффективности работы гидроциклонов при очистке сточных вод от взвешенных веществ. Полученные данные представлены в таблице 1.

Из полученных результатов видно, что средний эффект очистки составляет 67%, что в полтора раза превышает эффект очистки в отстойниках и осветлителях. Это свидетельствует об эффективной работе гидроциклонов при очистке сточных вод данной отрасли промышленности.

Однако это только предварительные данные. Для получения устойчивого и высокого качества воды при выходе из гидроциклона и для возможности широкого применения безнапорных гидроциклонов для очистки сточных вод молочных комбинатов, необходимо учитывать ряд факторов, которые влияют на эффективность гидроциклона. Во-первых, это факторы, которые формируют гидродинамический режим работы аппарата и интенсивность центробежного поля в гидроциклоне. Они зависят от конструктивных особенностей гидроциклона, размеров его основных элементов и соотношений между ними. Во-вторых, это факторы, обусловленные свойствами осветляемой жидкости: концентрацией примесей, их гранулометрическим составом и плотностью, которые определяют гидравлическую крупность частиц, вязкостью жидкости, а также расходом сточных вод, обрабатываемый на гидроциклоне. Изучение взаимосвязи этих всех факторов и выбор наиболее оптимальных их соотношений позволит более глубоко изучить гидродинамический режим работы открытых гидроциклонов с целью уточнения расчетных зависимостей и совершенствования их конструкций. В настоящее время расчет гидроциклонов ведется по эмпирическим формулам, которые применимы лишь для тех условий, в которых они получены, и не учитывают всего многообразия факторов, влияющих на процесс очистки молочного стока. Также в настоящее время мало изучен процесс выделения легкого продукта (жира) из открытого гидроциклона, что затрудняет совершенствование их конструкции с целью повышения эффективности задержания жироподобных веществ.

**ВЫВОДЫ.**

1. Существующие отстойные сооружения для механической очистки молочных стоков работают малоэффективно и неудовлетворительно.

2. На стадии предварительной очистки сточных вод предприятий молочной промышленности можно использовать безнапорные гидроциклоны, но для этого необходимо более глубоко изучить гидродинамический режим их работы с целью уточнения расчетных эмпирических зависимостей для данного стока, совершенствования конструкций и оптимизации процессов очистки по ряду показателей.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Очистка сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности./ С. М. Шифрин, Г.В. Иванов, Б.Г. Мишуков, Ю.А. Феофанов. - М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – С. 272.
2. Вода и сточные воды в пищевой промышленности/ Перевод с польского и спецредакция к. т. н. В. М. Каца. – М.: Пищевая промышленность. – 1972. – С. 384.
3. А.И. Жуков, Л.Г. Демидов, И.Л. Монтгайт, И.Д. Родзиллер. Канализация промышленных предприятий. – М.: Издательство лит-ры по стр-ву. – 1969. – С. 376.
4. Канализация населенных мест и промышленных предприятий/ Н.И.Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др.; Под

ред. В.Н. Самохина. – М.: Стройиздат. – 1981. – С. 639. – (Справочник проектировщика).

5. Очистка сточных вод предприятий перерабатывающих отраслей агропромышленного комплекса. Тематическая подборка № 65-320-5-89. Серия 65.01.94. Охрана окружающей среды/ Составитель Т.Г. Булыгина. - Мн., 1989. – С. 88.
6. Промышленность и окружающая среда. Прогрессивные технологии очистки сточных вод/ Т.Г. Булыгина: Эколог. экспресс-информ. -Мн.: БНИЦ “Экология”. – 1994. – С. 23.
7. И.В. Скирдов, В.Г. Пономарев. Очистка сточных вод в гидроциклонах. – М.: Стройиздат, 1975. – С. 176.
8. В.В. Найденко. Применение математических методов и ЭВМ для оптимизации и управления процессами разделения суспензий в гидроциклонах. - Горький, Волго-Вятское издательство. – 1976.
9. В.В. Пушкарев и др. Очистка маслосодержащих сточных вод/ В.В. Пушкарев, А.Г. Южанинов, С.К. Мэн. - М.: Металлургия. – 1980. – С. 199.
10. Я.А. Карелин, В.Н. Яромский, Т.М. Лысенкова, Г.А. Волкова. Очистка сточных вод предприятий молочной промышленности/ Водоснабжение и санитарная техника. – 1993. – № 6.

УДК 628.16

*Яромский В.Н., Лысенкова Т.М., Соколюк С.В.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ РЕГЕНЕРАЦИИ АНИОНИТОВ, РАБОТАЮЩИХ В ЦИКЛЕ УДАЛЕНИЯ ИЗ ВОДЫ АЗОТИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В ионообменной технологии регенерация ионитов, как правило, является наиболее дорогостоящей стадией, определяющей экономику процесса в целом. Поэтому правильный выбор способа регенерации, его рациональных схем и оптимизация имеют решающее значение.

Анализ научных работ по регенерации [1-3] показал, что при изучении динамики ионного обмена основными факторами, влияющими на процесс, наряду с равновесными и кинетическими параметрами, являются: концентрация и вид элюирующего раствора, скорость протекания раствора через ионит, геометрические размеры ионообменной колонки и другие, которые могут быть определены для конкретного случая из экспериментов.

Таким образом, исследование и оптимизация процесса регенерации ионообменных материалов, работающих в цикле удаления из воды азотистых соединений, представляют большой научный и практический интерес, и полученные результаты могут составлять основу рекомендаций на проектирование, конструирование и эксплуатацию аппаратов индивидуального водопользования.

При исследовании динамики ионообменной десорбции нитрат-ионов из высокоосновного анионита опыты проводились в неподвижных слоях ионита марки АВ-17-8, относительно которых непрерывно обновлялся десорбирующий раствор.

Экспериментальные исследования проводились с целью определения оптимальных условий работы ионообменного фильтра в режиме регенерации. В процессе экспериментальных исследований изучено влияние на динамику десорбции

нитратов из анионита следующих факторов: концентрации ( $C$ ) и скорости подачи десорбирующего раствора ( $W$ ), отношения высоты загрузки ионита к диаметру колонки  $L/D$ , — и определения реальных оптимальных условий работы ионообменной колонки. В качестве регенерационных исследовались растворы NaOH и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> концентрации которых варьировались в диапазоне от 2 до 10% с учетом рекомендаций СНиП [4] и исходя из технико-экономических соображений.

Влияние различных концентраций регенерационных растворов на эффективность регенерации анионита АВ-17-8 исследовалось при различных скоростях подачи растворов в ионообменных аппаратах различных геометрических размеров (отношение  $L/D$  варьировалось в интервале от 2 до 12). Эффективность регенерации оценивали показателем регенерации ( $F$ ) путем построения по результатам исследований кривых десорбции.

На рис. 1, 2 представлены наиболее характерные кривые десорбции нитрат-ионов из анионита АВ-17-8 в процессе его регенерации растворами NaOH и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, по которым динамику процесса регенерации в зависимости от исследованных влияющих факторов возможно оценить следующим образом.

Регенерационные растворы как NaOH так и Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> различной концентрации по-разному восстанавливают обменную емкость анионита при одинаковой продолжительности регенерации ( $T$ ) (рис.1).

Так, при продолжительности регенерации анионита 6000 секунд раствором NaOH степень регенерации составляет 0,5, 0,82 и 0,92 при концентрации раствора соответственно 2, 4 и

*Лысенкова Татьяна Михайловна. Доцент, к.т.н. каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения БГТУ.*

*Соколюк С.В. Ассистент каф. . водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения БГТУ.*

*Брестский государственный технический университет (БГТУ). Беларусь, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*

*Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология*