DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-3-13>
УДК 664.95:628.3:681.5

С.Б. Кунденюк

КУНДЕНЮК СВЕТЛАНА БОРИСОВНА – аспирант, старший преподаватель,
e-mail: 14sveta65@mail.ru
Кафедра инженерных систем зданий и сооружений Инженерной школы
Дальневосточный федеральный университет
Суханова ул. 8, Владивосток, Россия, 690091

Технология реагентной очистки стоков с высоким содержанием морской воды рыбоперерабатывающих предприятий

Аннотация: Представлены результаты авторских исследований с 2015 по 2019 г. реагентной очистки сточных вод предприятия, использующего морскую воду, в процессе которых была создана и апробирована технология переработки рыбы и морепродуктов (индивидуальный заказ ООО «ДальВОДГЕО»). Показаны особенности процесса реагентной очистки солями алюминия в присутствии ионов магния и кальция морской воды, которые участвуют в процессах гидролиза ионов алюминия с образованием крупных, хорошо осаждаемых флоккул. Приведены результаты исследований по очистке сточных вод, на их основе и при участии автора разработана экспериментальная установка и запроектирована новая промышленная технология, которая позволяет удалить из сточных вод, содержащих морскую воду, до 77–99% различных загрязнений, а также сократить расход соли алюминия: на 30–50% – за счет использования в качестве коагулянта присутствующих в сточных водах ионов магния и кальция, на 10–12% – за счет рециркуляции образующегося гидроксидного осадка.

Ключевые слова: рыбоперерабатывающие предприятия, морская вода, очистка сточных вод, реагентная очистка, соосаждение кальция, магния и алюминия.

Введение

В настоящее время в России имеет место значительный разрыв между теоретической базой водоочистных технологий и их практического применения в производстве. Поэтому несмотря на большое количество исследований, проблему очистки сточных вод нельзя считать решенной. Традиционно для этого процесса в случае большого содержания биогенных элементов используют биологические методы очистки сточных вод, а для эффективного удаления фосфора – их реагентную обработку [2, 3]. В качестве реагентов применяют коагулянты соли алюминия и железа, а также флокулянты [11]. В отличие от традиционной физико-химической и биологической обработки сточных вод, реагент Biokat P500 компании VTA Austria GmbH [4] (заявлен как комбинированный коагулянт и флокулянт) предполагает его внесение в биологическую среду (активный ил) для получения максимального эффекта. Оценка его дефосфатирующего влияния, удаления органических веществ, а также процесса денитрификации показала, что оптимальная дозировка реагента составляет 50 мкл/дм³ [1]. В [6] авторы предлагают способ электрофлотации с возможностью утилизации выделенного продукта, а в [7] рассматривается автоматизированная технология очистки рыбных стоков реа-

гентной флотацией. Для интенсификации биологической очистки сточных вод рыбопереработки предложено использовать штамм водоросли *Chlorella kessleri*, который при добавлении в сточную воду рыбообрабатывающих предприятий образует альгоценоз, способный к деструкции всех ее компонентов [5]. Предварительное формирование альгоценоза в отдельном аппарате занимает до 35 сут, а сам процесс очистки сточных вод происходит до трёх суток. Однако следует обратить внимание, что все водоросли рода *Chlorella* – пресноводные и не могут развиваться в соленой воде, а длительность процесса очистки технологически неприемлема.

Характерной особенностью для сточных вод предприятий переработки рыбы и морепродуктов на Дальнем Востоке является резкое колебание состава стоков и расхода воды по часам суток, дням недели, а также использование в производственном процессе морской воды для дефростации замороженных морепродуктов в разделочном цеху, для санитарной обработки оборудования и помещений. Многие предприятия работают только во время путины в течение четырех-пяти месяцев. Периодичность или сезонность образования, использование различного сырья даже в течение одного дня, высокое солесодержание стоков делает применение биологических методов очистки невозможным. Кроме того, колебание солесодержания и компонентного состава стоков в широком диапазоне концентраций затрудняет применение методов электрофлотации и электрокоагуляции. Поэтому необходима разработка специальной технологии очистки сточных вод с высоким содержанием в них органических загрязнений, хлоридов, кальция и магния и её аппаратное оформление. Что и составляет цель настоящей работы.

Технология очистки сточных вод реагентным методом

В течение ряда лет мы проводили лабораторные исследования реагентного метода очистки сточных вод предприятия, использующего морскую воду в технологии производства рыбы и морепродуктов. Эти воды характеризовались большим содержанием органических загрязнений, взвешенных веществ и высоким уровнем содержания хлоридов. Расход сточных вод в рабочие дни колебался в интервале 400–500 м³/сут. В ночные часы, выходные и праздничные дни расход резко падал: поступал только хозяйственно-бытовой сток. В табл. 1 приведены усредненные показатели загрязнений сточных вод (предоставленные ОАО «Южморрыбфлот»).

Таблица 1

Усредненные показатели загрязнений сточных вод

Показатели загрязнений	Производств. сток	Хоз.-быт. сток	Смесь хоз.-быт. и производств. стоков
Взвешенные вещества, мг/л	100–1500	100–300	100–1500
Жиры общие, мг/л	100–2000	10–200	300–2000
ХПК – химическое потребление кислорода, мг/л	1500–3000	200–400	400–2800
БПК ₅ – биохимическое потребление кислорода, мг/л	600–1500	130–200	200–1300
рН – активная реакция среды, ед.	6,0–6,8	5,8–7,8	6,0–7,0
Сухой остаток, мг/л	16000–30000	1000–15000	10000–20000
Прокаленный остаток, мг/л	6900–15000	500–1000	3000–9000
PO ₄ ³⁻ – фосфаты, мг/л	10–30	8–10	10–30
NH ₄ ⁺ – азот, мг/л	70–100	20–50	50–100
Cl ⁻ – хлориды, мг/л	9000–15000	20–50	5000–9000
Mg ²⁺ – магний, мг/л	500–1000	2–3	250–500
Ca ²⁺ – кальций, мг/л	170–320	1–2	100–200
Температура сточных вод, °С	3–20	8–18	4–18
Содержание морской воды в сточных водах, %	40–80	–	30–50

По наличию в сточных водах магния и кальция процент морской воды в них может колебаться от 30 до 50%, в отдельные часы работы предприятия – до 80%, и падать до нуля в выходные, праздничные дни и в ночное время (в пробах морской воды залива Петра Великого содержание $Mg^{2+} = 1,169$ г/кг и $Ca^{2+} = 0,4594$ г/кг).

Были проведены сравнения двух способов очистки сточных вод. Первый: осаждение кальция и магния в виде карбонатов и гидроксида магния путем известкования. Второй способ: выделение присутствующих в воде ионов кальция и магния методом совместного известкования и коагуляции солями алюминия, с образованием карбонат-гидроксидных комплексов.

Основными параметрами, определяющими эффективность очистки, являются дозы, порядок и скорость смешения реагентов, продолжительность отстаивания скоагулированной смеси, температура среды. Анализ экспериментальных данных позволяет установить закономерности процесса коагуляции (при характерном для предприятий рыбоперерабатывающей промышленности составе сточных вод) и приступить к проектированию опытно-промышленной очистной установки и технологии очистки.

Первый способ: очистка сточных вод известкованием

При добавлении к воде известкового молока происходит связывание растворенной в воде углекислоты. Оптимальное значение pH для выпадения $CaCO_3$ в осадок составляет 8,5–9,0. Присутствующие сульфат-ионы SO_4^{2-} при известковании вступают в реакцию с ионами кальция при pH=8,5–13 с образованием двуводного гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, выпадающего в виде осадка. Сложнее обеспечить выделение бикарбоната магния $Mg(HCO_3)_2$. Для осаждения всего количества магния необходимо значение pH выше значений 10,2–10,3.

Методика эксперимента: после предварительного отстаивания (1,5 ч) сточные воды с содержанием морской воды 0% (бытовые сточные воды), 30, 50, 80% заливали в литровые цилиндры (три параллельные пробы каждого вида), устанавливали датчик pH метра в цилиндр и дозировали 5-процентный раствор извести, медленно перемешивая (10–15 об/мин) до появления хлопьев. После появления первых хлопьев добавляли несколько капель известкового молока, чтобы процесс коагуляции протекал при избыточной щелочности, и фиксировали значение pH, продолжая перемешивать еще 1–2 с. После этого цилиндры оставляли в покое, наблюдая за образованием и осаждением хлопьев, а также за уплотнением осадка. После осаждения хлопьев пипеткой отбирали пробу воды из середины осветленного слоя, отфильтровывали через бумажный фильтр «белая лента» и определяли концентрацию загрязнений сточных вод по показателю БПК₅, (биологическое потребление кислорода в течение пяти суток).

Выявлено следующее. При известковании коагуляция бытовых сточных вод не происходит ввиду малого содержания в них ионов кальция и магния. Осаждение ионов кальция и магния из сточных вод с содержанием морской воды от 30 до 80% протекает в течение 8 мин при pH 10,4–10,5. Достигается высокий эффект очистки – 94% по БПК₅. Кроме того, наблюдается большой объем осадка, причем чем выше процент морской воды, тем больше объем осадка.

Недостаток этого метода – необходимость после известкования в нейтрализации сточных вод кислотой до pH 6,5–8,5 перед сбросом её в морской водоем и большой объем образующегося осадка.

Второй способ: очистка сточных вод методом совместного известкования и коагуляции солями алюминия

Для удаления из воды солей жесткости в виде ионов кальция и магния в некоторых случаях используют метод совместного известкования и коагуляции солями алюминия. При введении в воду неорганических коагулянтов происходит снижение агрегативной устойчивости частиц, сорбция ионов на поверхности частиц и образование в результате химической реакции малорастворимого соединения. Выделение твердой фазы (хлопьеобразование) протекает в три стадии: инкубационный период, рост частиц твердой фазы, старение геля. Эти процессы определяют кинетику и эффективность коагуляции, а также влажность осадка.

На процесс коагуляции оказывает влияние анионный состав обрабатываемой воды. Из всех анионов, присутствующих в воде, наибольшее влияние оказывают сульфат-ионы, так как они являются противоионами для положительно заряженных продуктов гидролиза коагулянта. По степени влияния на процесс коагуляции анионы могут быть расположены в ряд: $\text{Cl}^- < \text{HCO}_3^- < \text{SO}_4^{2-}$. Высокое солесодержание исходной воды благоприятно для коагуляции коллоидных примесей вследствие большего сжатия диффузного слоя коллоидных частиц [8]. В качестве коагулянта обычно используют сульфат двухвалентного железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Известь и сульфат железа обеспечивают наилучший эффект протекания обоих процессов, так как $\text{Ca}(\text{OH})_2$ является поставщиком гидроксид-ионов при гидролизе FeSO_4 , что резко ускоряет выпадение осадка $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Доза коагулянта определяется методом пробного коагулирования [8]. Для сопоставимости результатов и минимизации количества опытов было принято решение использовать рациональный эксперимент: определение оптимального вида коагулянта для сточных вод с содержанием морской воды 50% при температуре 18–20 °С.

Сравнение трех коагулянтов и определение оптимальных доз для сточных вод с содержанием морской воды 50%

Методика эксперимента аналогична ранее приведенной. Перед дозированием 5-процентной извести в цилиндр добавляли различные дозы растворов товарного сульфата алюминия, полиоксихлорида алюминия или сульфата двухвалентного железа. На рис. 1 представлены результаты экспериментальных исследований очистки сточных вод методом пробного коагулирования – кривые 1, 2 и 3.

Рис. 1. Коагуляционные кривые – степень очистки сточных вод по БПК₅ в зависимости от вида и дозы коагулянта для сточных вод с различным содержанием морской воды, %. Коагулянты: 1 – полиоксихлорид алюминия, 50%; 2 – сульфат двухвалентного железа, 50%; 3 – товарный сернокислый алюминий, 50%; 4 – товарный сернокислый алюминий, 80%; 5 – товарный сернокислый алюминий, 30%; 6 – товарный сернокислый алюминий, 0%. 7 – коагуляционная кривая испытания пилотной установки с рециркуляцией осадка в объеме 4% и содержанием в сточных водах морской воды 42–64% для различных доз сульфата алюминия.

Метод пробного коагулирования показал: оксихлорид алюминия менее эффективен для данного вида сточных вод, чем сульфат железа и сульфат алюминия, которые имеют сопоставимую эффективность. Но заказчик предпочел использовать соли сульфата алюминия, применяемые в водоподготовке, так как имеет опыт работы с этим реагентом, к тому же его стоимость, с учетом доставки, ниже, чем сульфата железа.

Дальнейшие исследования проводились с солями сульфата алюминия и известью.

Определение оптимальной дозы сернокислого алюминия для сточных вод с различным содержанием морской воды

Методика эксперимента аналогичная. На рис. 1 представлены результаты эксперимента по определению оптимальной дозы реагента $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ для сточных вод с содержанием морской воды 50, 80 30 и 0%, коагуляционные кривые 3, 4, 5, 6 соответственно. По результатам эксперимента оптимальная доза реагента $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ для сточных вод с различным

содержанием морской воды находится в диапазоне 80–90 мг/л по активному веществу Al_2O_3 , а для бытовых сточных вод – 50–60 мг/л. В табл. 2 представлены результаты кинетики осаждения осадка при дозе товарного сернокислого алюминия 85 мг/л по Al_2O_3 для сточных вод с содержанием морской воды 30, 50, 80% и 55 мг/л по Al_2O_3 для бытовых сточных вод (табл. 2).

Таблица 2

Кинетика осаждения осадка

Время отстаивания, мин	Сточные воды с содержанием морской воды и температуре 18–20 °С			
	0%	30%	50%	80%
	доза по Al_2O_3 55 мг/л	доза по Al_2O_3 85 мг/л	доза по Al_2O_3 85 мг/л	доза по Al_2O_3 85 мг/л
	Осаждение, см			
2	0,5 Появилась граница раздела фаз	0,5 Появилась граница раздела фаз	0,5 Появилась граница раздела фаз	0,5 Появилась граница раздела фаз
3	1,5 Граница раздела фаз нечеткая, хлопья средней крупности	1,1 Граница раздела фаз нечеткая, хлопья крупные	1,2 Граница раздела фаз нечеткая, хлопья крупные	1,2 Граница раздела фаз нечеткая, хлопья крупные
9	25,5 Граница раздела фаз нечеткая, основная часть 20 см, в надосадочном объеме 10 см плавающие хлопья средней крупности	8,6 Четкая граница раздела фаз, в надосадочном объеме присутствуют отдельные мелкие хлопья. Вода прозрачная. Окончание осаждения. Скорость осаждения хлопьев 0,16 мм/с	8,6 Четкая граница раздела фаз, в надосадочном объеме присутствуют отдельные мелкие хлопья. Вода прозрачная. Окончание осаждения. Скорость осаждения хлопьев 0,16 мм/с	8,5 Четкая граница раздела фаз, в надосадочном объеме присутствуют отдельные мелкие хлопья. Вода прозрачная. Окончание осаждения. Скорость осаждения хлопьев 0,16 мм/с
15	26,5 Четкая граница раздела фаз, в надосадочном объеме присутствуют отдельные мелкие хлопья. Вода прозрачная. Скорость осаждения хлопьев 0,3 мм/с	10,2 Уплотнение осадка. Четкая граница раздела фаз, в надосадочном объеме присутствуют отдельные мелкие хлопья. Вода прозрачная.	10,1 Уплотнение осадка. Четкая граница раздела фаз, в надосадочном объеме присутствуют отдельные мелкие хлопья. Вода прозрачная.	9,9 Уплотнение осадка. Четкая граница раздела фаз, в надосадочном объеме присутствуют отдельные мелкие хлопья. Вода прозрачная
Объем осадка, % от объема пробы через 30 мин	12,2	23,5	29,7	36,1
рН коагуляции	7,4 – начало коагуляции 7,6 – избыточная щелочность	9,1 – начало коагуляции 9,2 – избыточная щелочность	9,3 – начало коагуляции 9,4 – избыточная щелочность	9,6 – начало коагуляции 9,7 – избыточная щелочность
рН после коагуляции через 30 мин	7,2	8,6	8,8	9,2
Остаточный алюминий в фугате осадка через трое суток, мг/л	0,03–0,04	0,03–0,04	0,03–0,04	0,03–0,04
Остаточный алюминий в фугате осадка, через месяц, мг/л	0,03–0,04	0,03–0,04	0,03–0,04	0,03–0,04

Примечание: Оценка точности результатов экспериментов производилась с учетом погрешностей измерения объема исходной пробы, объема раствора коагулянта и подщелачивающего реагента. Для трех параллельных проб определялось среднеарифметическое значение без учета среднеквадратического отклонения результатов.

Процесс кинетики соосаждения кальция и магния в присутствии коагулянта сульфата алюминия зафиксирован на рис. 2. Наблюдается: четкая граница раздела фаз, хлопья крупные и рыхлые, отдельные хлопья в надосадочном пространстве.

Рис. 2. Кинетика соосаждения кальция и магния в присутствии коагулянта соли алюминия.

Влияние температуры на кинетику осаждения

Для коллоидного раствора влияние температурного фактора двойственно и аналогично влиянию концентрации раствора: при повышении температуры увеличивается толщина диффузного слоя в результате усиленного броуновского движения, но одновременно усиливается десорбция. Влияние температуры определяется в каждом конкретном случае [10]. Результаты экспериментальных исследований показали, что температура сточных вод (в диапазоне 3 до 20 °С) с большим содержанием взвешенных веществ и высокой жесткостью не оказывает большого влияния на кинетику осаждения, но при низких температурах (от 3 до 8 °С) увеличивается период созревания хлопьев, т.е. граница раздела фаз формируется на 30–45 с дольше.

Выявлено следующее. Второй способ очистки данного вида сточных вод методом совместного известкования и коагуляции солями сульфата алюминия имеет перечисленные ниже преимущества.

- Соосаждение ионов кальция и магния и алюминия из сточных вод с содержанием морской воды 30–80% наступает при pH 9,1–9,6 и в течение 30 мин после начала коагуляции снижается до 8,8–8,6, поэтому перед сбросом в морской водоем не требуется корректировка pH. Достигается высокий эффект очистки (91–93%) по БПК₅ (см. рис. 1, коагуляционные кривые 3, 4, 5). Скорость осаждения хлопьев составляет 0,16 мм/с. Наблюдается меньший объем осадка, чем при известковании.

- Коагуляция бытовых сточных наступает при pH 7,4 и в течение 30 мин после начала коагуляции снижается до 7,2. Скорость осаждения хлопьев составляет 0,3 мм/с. Достигается высокий эффект очистки (96%) по БПК₅ (см. рис. 1, коагуляционная кривая 6).

Небольшой сложностью при эксплуатации данного метода очистки является необходимость в длительные периоды отсутствия производственных сточных вод снижать дозы реагентов для бытовых сточных вод путем корректировки подачи расходов насосов-дозаторов.

Натурные испытания на пилотной установке

На основании вышеприведенных экспериментальных данных произведен расчет, выполнен эскизный проект и изготовлена пилотная установка производительностью 1 м³/час. Установка состоит из перегородчатой камеры смешения и хлопьеобразования, сблокированной с отстойником с тонкослойными модулями и с узлом приготовления и дозирования реагентов. Натурные испытания установки сразу выявили проблему отстойника с тонкослойными модуля-

ми – вынос осадка с полок, что связано со структурой хлопьев и с наличием в них жиров. Проблему удалось решить путем частичной рециркуляции (3–5%) осадка в голову сооружений.

В теории рециркуляция осадка может увеличивать эффект очистки сточных вод и сокращать дозу коагулянтов до 30%. Натурные испытания пилотной установки показали, что при рециркуляции осадка в объеме 4% доза коагулянта сокращается с 85 до 70 мг/л (рис. 1, коагуляционная кривая 7). По результатам испытаний пилотной установки выявилась необходимость в дополнительном фильтре с загрузкой из пенополистирола, так как происходит вынос отдельных мелких хлопьев из отстойника.

В табл. 3 представлены результаты реагентной очистки натуральных сточных вод на пилотной установке дозой коагулянта 70 мг/л по Al_2O_3 при рециркуляции осадка в объеме 4% и фильтрации через пенополистирольный фильтр с гранулами 3–5 мм.

Таблица 3

Результаты очистки натуральных сточных вод на пилотной установке

Показатели загрязнений	Смесь хозяйственно-бытовых и производственных стоков (после локальной жироловушки) с содержанием морской воды 42–64%		
	Исходный сток после 1,5 ч отстаивания	Очищенные сточные воды	Эффект очистки, %
Взвешенные вещества, мг/л	600–1200	5–10	99
БПК ₅ – биологическое потребление кислорода, мг/л	1000–1300	65–70	91–93
PO_4^{3-} – фосфаты, мг/л	25–30	5–7	77–80
NH_4^+ – азот, мг/л	40–70	6–15	78–85
Cl^- – хлориды, мг/л	5000–9000	5000–9000	–
Ca^{2+} – кальций, мг/л	165–632	78–304	–
Mg^{2+} – магний, мг/л	530–810	8–19	–
Остаточный алюминий после коагуляции, мг/л	–	0,03–0,04	–
pH, ед.	6,0–7,0	8,0–8,5	–
Температура ст. вод, °C	16–17	16–17	–

Результаты натурных испытаний пилотной установки и их обсуждение

Для сточных вод с большим содержанием кальция и магния при высоком уровне хлоридов выявлены следующие особенности и закономерности коагуляции.

- Для предотвращения выноса хлопьев осадка с полок тонкослойного модуля необходимо удаление осадка в голову сооружений 3–5% от объема сточных вод. При рециркуляции осадка 4% доза вводимого сульфата алюминия сокращается на 10–12%, она составила 0,4 г/м³ по товарному продукту, что ниже, чем для сточных вод с исходной загрязненностью по БПК₅ свыше 1000 мг/л. Обычно эта доза составляет 2,5 г/м³ и выше [10].
- Вместе с вводимыми солями алюминия в коагуляции участвуют ионы магния и кальция, причем магний, присутствующий в сточных водах, выпадает в осадок практически весь, а кальций – частично.
- Низкие температуры сточных вод влияют на период созревания хлопьев, что нужно учитывать при расчете камеры хлопьеобразования.
- Скорость свободного соосаждения алюминия, кальция и магния составляет 0,16 мм/с, что значительно меньше рекомендуемых для расчета сооружений при проектировании – например от 2,25 до 0,7 мм/с [8].
- Достигается высокая степень очистки сточных вод: по различным показателям – от 67 до 99%.

- pH после коагуляции 8,5, корректировка перед сбросом в водоем не требуется.
- В процессе коагуляции сточных вод сульфат алюминия совместно с кальцием и магнием образует нерастворимые осадки.

По результатам натурных испытаний, с учетом выявленных особенностей и закономерностей коагуляции сточных вод с большим содержанием кальция и магния при высоком уровне хлоридов разработана индивидуальная конструкция компактной установки для реагентной очистки сточных (рис. 3) производительностью 4–6 м³/ч, габаритными размерами 3,6(L)×1,1(B)×2,1(H) м. Компактная установка (4) состоит из гидравлической камеры хлопьеобразования (4.1), отстойника с тонкослойным модулем, и плавающего пенополистирольного фильтра (4.3).

Рис. 3. Технологическая схема реагентной очистки сточных вод с большим содержанием морской воды рыбоперерабатывающего предприятия:

1 – двухъярусный отстойник, 2 – накопитель сточных вод, совмещенный с канализационной насосной станцией, 2.1 и 9.1 – погружной насос, 3.1 и 3.2 – шкаф управления; 4 – установка реагентной очистки сточных вод, 4.1 – камера хлопьеобразования, 4.2 – отстойник с тонкослойными модулями, 4.3 – пенополистирольный фильтр, 5 – узел приготовления коагулянта, 6 – узел приготовления известкового молока, 7 – насосы-дозаторы, 8 – компрессор, 9 – промежуточная емкость, 10 – установка УФ-обеззараживания сточных вод. Трубопроводы: К 1 – сточные воды, КН – канализация напорная, К2 – очищенные сточные воды, К3 – осадок от реагентной очистки, Р1 и Р2 – трубопроводы реагентов.

Описание технологической схемы

Сточные воды по трубопроводу К1 после цеховых сооружений механической очистки (жироловушки, отстойники) и осадок от реагентной очистки (трубопровод К3) поступают в двухъярусный отстойник (1). Далее после отстаивания в течение 1,5 ч попадают в накопитель-КНС (2). Насосом (2.1) сточные воды подаются на установку реагентной очистки (4). Перед установкой в трубопровод подаются насосами-дозаторами (7) реагенты из узлов приготовления растворов: коагулянта (5) и известкового молока (6). Автоматическая работа обеспечивается с помощью шкафа управления (3.1), а с помощью компрессора (8) происходит перемешивание сточных вод в накопителе-КНС (2). Очищенные сточные воды из промежуточной емкости (9) насосом (9.1) подаются на узел УФ-обеззараживания (10), его автоматическая работа обеспечивается шкафом управления (3.2). Очищенные и обеззараженные сточные воды отводятся через глубоководный морской выпуск. Осадок из двухъярусного отстойника (1) вывозится сапмашиной.

Согласно требованиям [9], отвод очищенных сточных вод в море в районе водопользования должен осуществляться через глубоководный выпуск. По результатам расчетов рассеивания и распространения пятна загрязнения требуемые условия в месте выпуска (бухта Гайдамак залива Петра Великого) соблюдаются при степени очистки по БПК₅ 70 мг/л, глу-

бине 7 м (минимальная глубина при штормовых явлениях) и длине выпуска 70–80 м. Для очистных сооружений производительностью до 5 тыс.м³/сут, согласно [9], длина выпуска должна быть не менее 300 м.

Разработанная технология очистки соответствует экологическим требованиям, экономична по строительным и эксплуатационным затратам, энергоэффективна. Сооружения быстро запускаются в эксплуатацию после длительных перерывов. Работа сооружений автоматизирована и не требует наличия высококвалифицированного обслуживающего персонала. Расход сернокислого алюминия составляет 350–400 мг/м³ по товарному продукту, а извести – 550–600 мг/м³. Электропотребление технологического оборудования составляет 0,05 кВт на 1 м³ сточных вод. Приведенные строительные затраты (без строительства глубоководного выпуска) 150 тыс. руб. на 1 м³ сточных вод.

Выводы и дальнейшие перспективы исследования

Итак, нами проведены исследования на рыбоперерабатывающем предприятии по рыбопереработке по очистке сложных по составу сточных вод с содержанием морской воды до 80%. На основе данных лабораторных научно-исследовательских работ и данных, полученных при натурных испытаниях пилотной установки, автором разработана технология очистки сточных вод и компактная установка для реагентной очистки. Данная технология может применяться для сточных вод с аналогичным составом.

Работа над проектом позволила сделать следующие выводы.

Для данного вида сточных вод реагентный метод – высокоэффективный по степени очистки и экономически выгодный по строительным и эксплуатационным затратам: за счет использования в качестве коагулянтов находящихся в сточной воде ионов Mg^{2+} и Ca^{2+} и рециркуляции осадка в объеме 4% доза алюминия сокращается и составляет 70 мг/л.

В дальнейшем предполагается продолжить работу по применению компактной установки реагентной очистки для различных видов сточных вод и унификацию ее конструктивных элементов до промышленного образца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобелева И.В., Сироткин А.С., Кирилина Т.В., Сибиева Л.М., Гадыева А.А. Совместная биологическая и физико-химическая очистка сточных вод с применением инновационного дефосфатирующего реагента. Ч. 2. Оценка биологических процессов очистки сточных вод // Вестник технолог. ун-та. 2016. Т. 19, №16. С. 133–135.
2. Павлов Т.П., Галанцева Л.Ф., Фридлан С.В. Интенсификация очистки сточных вод от фосфатов в биологических очистных сооружениях // Вестник Казанского технолог. ун-та. 2011. № 18. С. 134–136.
3. Паршилкина А.А. Выбор метода очистки сточной воды рыбоперерабатывающего предприятия // Известия Калининград. гос. техн. ун-та. 2014. № 34. С. 156–164.
4. Паспорт безопасности материала VTA Biokat P500 // VTA Austria. GmbH. 2013. 8 с.
5. Пат. 2064454 Российская Федерация, МПК CO2F32/, C12N1/12, C12R1:89, CO2F3/32 / И.С. Дзержинская, О.Б. Сопунова, В.А. Воробьева, Р.А. Амину; патентообладатель И.С. Дзержинская; заявл. 10.08.1998; опубл.27.07.1996.
6. Пат. 2134659 Российская Федерация, МПК CO2F1/465, CO2F1/28. Способ очистки производственных сточных вод / Н.П. Шапкин, Н.Н. Жамская; Дальневост. гос. техн. рыбохозяйств. ин-т; заявл. 20.01.1998; опубл.20.08.1999.
7. Пат. 2527460 Российская Федерация, МПК CO2F9/04, CO2F103/22 / А.А. Паршилкина, С.П. Сердобинцев; Калининград. гос. техн. ун-т; заявл. 09.01.2013; опубл.27.08.2014.
8. РД 153-34.1-37.502-2000. Методические указания по очистке исходной воды коагулянтами на ТЭС.
9. СанПиН 2.1.5.2582-10. Санитарно-эпидемиологические требования к охране прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения.
10. Серпокровлов Н.С., Вильсон Е.В., Гетманцев С.В., Марочкин А.А. Экология очистки сточных вод физико-химическими методами. М.: АСВ, 2009. 263 с.
11. Харькин С.В. Организация удаления фосфора из сточных вод // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2013. № 1. С 52–59.

DOI: <https://dx.doi.org/10.24866/2227-6858/2019-3-13>

Kundenok S.

SVETLANA KUNDENOK, Graduate Student, Senior Lecturer,

e-mail: 14sveta65@mail.ru

Department Engineering Systems of Buildings and Constructions, School of Engineering
Far Eastern Federal University

8 Sukhanova St., Vladivostok, Russia, 690091

Technology for reagent wastewater treatment with a high content of sea water in fish processing enterprises

Abstract: The results of author's research from 2015 to 2019 of reagent wastewater treatment of an enterprise using sea water are presented, including the development and testing the technology of processing fish and seafood (by custom order of DalVODGEO LLC). The article features the process of reagent cleaning of wastewater with aluminum salts in the presence of magnesium and calcium ions of sea water, which are involved in the hydrolysis of aluminum ions with the formation of large, well-deposited flocules. The results of research on wastewater treatment are presented. The research team including the author used these results to develop an experimental installation and design a new industrial technology that allows removing up to 77–99% of various contaminants from wastewater containing sea water, as well as reducing the consumption of aluminum salt: by 30–50% due to the use of magnesium and calcium ions present in wastewater as a coagulant; and by 10–12% due to the recirculation of the resulting hydroxide precipitate.

Keywords: fish processing enterprises, sea water, wastewater treatment, reagent treatment, co-precipitation of calcium, magnesium and aluminum.

REFERENCES

1. Kobeleva I.V., Sirotkin A.S., Kirilina T.V., Sibieva L.M., Gadyeva A.A. Joint biological and physico-chemical wastewater treatment using an innovative dephosphating reagent. Part 2. Assessment of biological wastewater treatment processes. *Bulletin of the Technological Univ.* 2016(19);16:133–135.
2. Pavlov T.P., Galantseva L.F., Fridlan S.V. Intensification of wastewater treatment from phosphates in biological treatment facilities. *Bulletin of Kazan Technological Univ.* 2011;18:134–136.
3. Parshilkina A.A. The choice of wastewater treatment method of a fish processing enterprise. *News of KSTU.* 2014;34:156–164.
4. Material safety data sheet VTA Biokat P500. VTA, Austria. GmbH, 2013. 8 p.
5. Pat. 2064454 Russian Federation, IPC CO2F32 /, C12N1/12, C12R1:89, CO2F3/32 / I.S. Dzerzhinskaya, O.B. Sopunova, V.A. Vorobyev, R.A. Amine; patent holder I.S. Dzerzhinskaya; declared 08/10/1998; publ. July 27, 1996.
6. Pat. 2134659 Russian Federation, IPC CO2F1/465, CO2F1/28. The method of purification of industrial wastewater. N.P. Shapkin, N.N. Zhamaskaya; Far Eastern State Technical Fisheries Inst.; declared 01/20/1998; publ. 08.20.1999.
7. Pat. 2527460 Russian Federation, IPC CO2F9/04, CO2F103/22 / A.A. Parshilkina, S.P. Serdobintsev. Kaliningrad State Technical University, decl. 01/09/2013; publ. August 27, 2014.
8. RD 153-34.1-37.502-2000. Guidelines for the purification of source water by coagulants at TPPs.
9. SanPiN 2.1.5.2582-10. Sanitary and epidemiological requirements for the protection of coastal waters of the seas from pollution in places of water use of the population.
10. Serpukrylov N.S., Wilson E.V., Getmantsev S.V., Marochkin A.A. Ecology of wastewater treatment by physicochemical methods. M., ASV, 2009. 263 p.
11. Kharkin S.V. Organization of the removal of phosphorus from wastewater. *Water purification. Water treatment. Water supply.* 2013;1:52–59.