На правах рукописи

Рыльцева Юлия Александровна

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ОСАДКА СТАНЦИЙ ПОДГОТОВКИ МАЛОМУТНОЙ И МАЛОЦВЕТНОЙ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ

05.23.04 – Водоснабжение, канализация,
строительные системы охраны водных ресурсов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пенза, 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Донской государственный технический университет».

Научный руководитель: **Бутко Денис Александрович**
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Войтов Евгений Леонидович**
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение»

Сафонова Наталия Александровна
кандидат технических наук,
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», старший научный сотрудник Научно-аналитического центра промышленной экологии

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Защита состоится 17 февраля 2017 г. в 13:30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.184.02, созданного на базе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО ПГУАС и на сайте http://dissovet.pguas.ru/.

Автореферат разослан «___» _____

Ученый секретарь
диссертационного совета Бикунова Марина Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Подготовка воды поверхностных источников для нужд водоснабжения, как известно, сопровождается образованием отходов – осадков, основными аккумуляторами которых при двухступенчатой схеме очистки являются отстойники и осветлители. Для предотвращения пагубного воздействия на экологию осадок нуждается в обработке, цель которой состоит в снижении его влажности до уровня, позволяющего произвести утилизацию.

Достаточно широкое распространение в практике обработки осадка получили иловые площадки на естественном основании. Зачастую, ввиду несовершенства конструкции, не обеспечивающей эффективного обезвоживания осадка, а также несвоевременной уборки кека из-за трудоемкости процесса, они являются как таковой зоной отчуждения, требующей постоянного вовлечения дополнительных территорий. Механические аппараты, которым все чаще в последние годы отдается предпочтение при реконструкции и модернизации станций водоподготовки, в свою очередь, по ряду причин не всегда гарантируют достаточный уровень снижения влажности осадка.

Немаловажным этапом обращения с осадком является его утилизация. При этом и технология складирования (захоронения), и направления «полезной» утилизации, подразумевающие использование осадка в качестве сырья для производства какой-либо продукции, требуют его минимального влагосодержания.

Степень разработанности. Фундаментальные основы изучения состава и свойств различных типов осадков природных вод составляют труды советских ученых: Е.Ф. Кургаева, И.С. Лебедевой, В.М. Любарского, Е.Н. Тетеркина, а также зарубежных исследователей: D. Benn, E. Elgerley, G. Logsdon, I. Wilhelm и др. Изучению отдельных показателей осадка конкретно маломутных и малоцветных источников посвящены исследования ученых Ростовского государственного строительного университета (РГСУ): В.А. Лысова, Л.И. Нечаевой, Д.А. Бутко, А.Ю.Скрябина.

На основании обзора научной литературы обозначена необходимость углубления в проблематику обезвоживания осадка природной воды малой мутности и цветности (на примере реки Дон) в направлении повышения эффективности процесса в естественных условиях, установления целесообразности использования механического обезвоживания, а также детального рассмотрения вопросов качества воды, образующейся при обработке осадка. Это актуально и ввиду изменившихся за последние годы подходов реагентной обработки речной воды, значительно влияющей на свойства осадка.

Цель работы – оптимизировать процесс обработки осадка маломутной и малоцветной речной воды (на примере водопроводных очистных сооружений (ВОС)

г. Ростова-на-Дону), обеспечив при этом его эффективное обезвоживание до уровня, позволяющего произвести дальнейшую утилизацию. При этом потребовалось решение ряда **задач**:

– исследование исходных физико-химических характеристик осадка отстойников и их изменчивости под воздействием внешних условий;

– изучение эффективности водоотдачи осадка в различных процессах обезвоживания с целью выявления наиболее подходящих для данного осадка;

– проведение испытаний по обезвоживанию осадка естественными и искусственными методами (в частности, вакуумным фильтрованием) для определения эффективности снижения влажности, продолжительности процесса, а также выявления факторов, препятствующих успешной влагоотдаче;

– изучение свойств воды, выделенной из осадка, с целью обоснования наиболее приемлемых вариантов обращения с ней;

– выявление целесообразности применения реагентной обработки шлама с целью интенсификации процесса обезвоживания осадка, а также осветления и обесцвечивания выделенной из него воды;

– разработка ресурсосберегающей технологии обработки осадка, включающей совокупность сетей и сооружений от точки выпуска шламовых вод до точки получения обезвоженного кека, пригодного для дальнейшей утилизации.

Научная новизна диссертационной работы:

1. Предложен способ интенсификации процесса обезвоживания осадка в естественных условиях, основанный на поглощении влаги из осадка твердым капиллярно-пористым материалом и отличающийся от стандартных методов обезвоживания, которые ориентированы на воздействие давлением (избыточным, отрицательным) или температурой.

2. Разработана и научно обоснована конструкция технологического комплекса для обезвоживания осадка, имеющая ряд новых инженерных решений, отличающих ее от аналогов. Особенности устройства комплекса позволяют сократить продолжительность обезвоживания осадка и трудозатраты при эксплуатации в сравнении с аналогами.

3. Получена математическая модель, описывающая процесс обезвоживания осадка в естественных условиях (на предлагаемой конструкции сооружения) и способствующая комплексной оценке влияния отдельных факторов на его продолжительность.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость заключается в совершенствовании подходов и методов обработки осадка, полученного в результате очистки маломутной и малоцветной речной воды алюминийсодержащими коагулянтами и высокомолекулярными полиэлектролитами

группы полидиаллилдиметиламмоний хлоридов (полиДАДМАХов), в частности, вопросов его вторичного уплотнения, эффективности непосредственного обезвоживания до уровня, позволяющего произвести утилизацию. Практическая значимость состоит в возможности использования основных положений и выводов исследования при проектировании и эксплуатации сооружений для обработки осадка станций очистки природной воды малой мутности и цветности, а также при подготовке и совершенствовании учебно-методических пособий в процессе преподавания дисциплин по профилю «Водоснабжение и водоотведение».

Методология и методы исследования. Методология включала в себя следующую систему методов: теоретических, заключающихся в анализе отечественной и зарубежной научной и научно-производственной литературы, электронных ресурсов и охранных документов; эмпирических, включающих наблюдение (непосредственное, опосредованное, косвенное), описание (качественное, количественное), измерение и эксперимент (лабораторный, полупроизводственный, производственный). Обработка результатов экспериментальных исследований проведена методами математической статистики, в частности, корреляционного и регрессионного анализов.

Положения, выносимые на защиту:

– исследования зависимостей физико-химических и минералогических показателей осадка от типов реагентов, применяемых для очистки воды, сезона осадкообразования и интервала работы отстойника между промывками;

– регрессионная зависимость, позволяющая определять удельное сопротивление осадка фильтрации (один из ключевых показателей водоотдающей способности) с высокой достоверностью аппроксимации (более 0,95);

– результаты расчета коэффициентов разбавления осадка при его удалении из отстойников ручным способом (на примере ВОС г. Ростова-на-Дону);

– кинетические характеристики вторичного уплотнения осадка и влияние реагентной обработки на данный процесс;

– исследования эффективности водоотдачи осадка в естественных условиях и в процессе вакуумного фильтрования;

– результаты исследования химических и органолептических показателей воды, выделенной в процессе обработки осадка, влияния предварительной реагентной обработки шлама на степень ее осветления и обесцвечивания;

– технология обработки осадка отстойников (на примере ВОС г. Ростова-на-Дону) с применением его реагентного кондиционирования в сгустителе и последующего обезвоживания в естественных условиях при дополнительной интенсификации процесса капиллярным влагопоглощением;

– математическая модель, описывающая процесс обезвоживания осадка в

естественных условиях на предлагаемой модели технологического комплекса;

– показатели технико-экономической целесообразности обработки осадка предлагаемым методом.

Достоверность результатов исследования обеспечивается применением классических теорий, формул, общепринятых стандартов и нормативов при проведении экспериментов и исследований с реальным осадком, планированием необходимого количества опытов. Учету и анализу подлежали экспериментальные данные, отвечающие относительному отклонению при уровне доверительной вероятности 0,95 и более.

Апробация работы и публикации. Результаты диссертационного исследования доложены и обсуждены на Международных научно-практических конференциях в гг. Ростове-на-Дону, Новочеркасске и Краснодаре (2011-2015 гг.). По теме диссертации опубликованы 14 работ, в том числе три статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, получены три патента на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 133 наименований и четырех приложений. Основная часть работы изложена на 169 страницах машинописного текста, включает 50 рисунков и 21 таблицу.

Вклад автора в проведенное исследование состоит в формулировке цели и постановке задач исследований, проведении экспериментов, обработке и анализе полученных результатов, разработке новых технологических решений, их обосновании и проверке, формулировке научных положений и выводов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение к диссертации включает в себя обоснование актуальности темы исследования, определение степени ее разработанности. Сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна. Обозначены теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе диссертации выполнен анализ отечественной и зарубежной литературы по вопросам возможных способов обработки осадка природных вод, в результате которого определены основные направления исследования.

Естественные способы обработки осадка предполагают его обезвоживание в прудах-накопителях (шламонакопителях), на площадках замораживания и подсушивания. Искусственные способы обработки осадка осуществляются на механических устройствах и аппаратах (вакуум-фильтрах, фильтр-прессах, центрифугах) с обязательной предварительной подготовкой – уплотнением.

Обзор научной литературы позволил сформулировать тезис: подходить к

решению вопроса обработки осадка в каждом конкретном случае необходимо с позиции всестороннего рассмотрения его исходных показателей.

Во второй главе диссертации приведены результаты исследований, основным направлением которых явилось изучение исходных свойств осадка маломутной и малоцветной донской воды, образующегося в отстойниках станций водоподготовки (на примере ВОС г. Ростова-на-Дону) с применением двух типов реагентов – алюминийсодержащих коагулянтов (оксихлоридов алюминия (ОХА) дозой не более 0,8 мг/дм^3 по оксиду алюминия) в сочетании с флокулянтом (группы полиДАДМАХов) или при самостоятельном применении последнего в качестве коагулянта (дозой не более 0,7 мг/дм^3 по активному веществу).

Исходные физико-химические показатели определялись на пробах осадка, отбираемого непосредственно из отстойников после их опорожнения перед плановой промывкой. Проводимые на протяжении ряда лет (2010-2014 гг.) исследования позволили установить, что физические свойства осадка склонны не только к сезонным изменениям по временам года, являющимся следствием колебаний качества речной воды, в частности, ее отношения цветности к мутности (Ц/М), но и значительно зависят от продолжительности работы отстойника между промывками, которая по данным производственных журналов станции составляет от 1,5 до 6,0 месяцев. Результаты исследования, обобщенные методами математической статистики, представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Исходные физические показатели осадка маломутной и малоцветной донской воды (характерные средним по высоте слоя значениям в зоне накопления отстойника)

Показатель	Единица измерения	Величина для периода работы отстойника при значении Ц/М (град·дм^3/мг) речной воды		
		зимне-весенний Ц/М=1,8÷6,2	летний Ц/М=1,4÷1,8	летне-осенний Ц/М=1,4÷2,4
Влажность (относительная весовая)*	%	86,2÷89,5	88,8÷93,8	85,4÷94,6
Плотность (объемный вес)	г/см^3	1,07÷1,08	1,02÷1,06	1,01÷1,09
Плотность сухих частиц		1,80÷1,95	1,70÷1,80	1,65÷1,85
Концентрация твердой фазы	г/дм^3	112÷149	64÷116	55÷159
Удельное сопротивление фильтрации**	г·10^{10}, см/г	23÷32 / 55÷91	38÷78 / 98÷163	41÷84 / 123÷163
Предельное напряжение сдвигу (РВ-4)	Па	41,5÷51,5	16,5÷44,8	15,5÷64,9
Прокаленный остаток	%	83,9÷86,4	84,9÷86,7	83,7÷87,2

* далее по тексту термин «влажность»
** на начальных этапах фильтрования (над чертой) и на завершающих (под чертой)

Так, увеличение отношения Ц/М водоисточника приводит к росту влажности осадка и ухудшению его водоотдачи. Длительное накопление осадка в отстойнике, наблюдаемое в зимне-весенний период, способствует снижению влагосодержания, несмотря на рост показателя Ц/М в указанный период. Влажность осадка,

образованного в период подготовки воды с применением ОХА (в сочетании с флокулянтом), на 1,2-1,6 % выше соответствующих значений, характерных для периода самостоятельного применения полиДАДМАХов.

Установлена зависимость времени капиллярного всасывания фильтрата, выделенного из осадка (определялось упрощенным тестом на дренируемость по методу французской компании «Дегремон»), от показателя его удельного сопротивления фильтрации. Представленная аппроксимация при достоверности R^2>0,95 позволяет косвенно оценивать фильтруемость осадка в кратчайшие сроки и без использования специального вакуумного оборудования (рисунок 1).

Рисунок 1 – Зависимость времени капиллярного всасывания влаги от удельного сопротивления фильтрации осадка

Рентгенофлуоресцентный анализ химического состава осадка показал значительную концентрацию оксидов кремния (от 50,26 до 56,01 %), алюминия (от 9,43 до 13,12 %), железа (от 6,13 до 7,53 %) и магния (от 1,81 до 2,27 %). Органические компоненты представлены главным образом оксидами фосфора (от 0,24 до 0,35 %) и калия (от 1,71 до 2,01 %). Минеральный состав осадка донской воды, изученный методами растровой электронной микроскопии и рентгенофлуоресцентного микроанализа, позволил охарактеризовать его как ил алевритово-глинистый, состоящий из трех основных компонентов: илистых (иллиты), терригенных (полевые шпаты, ильмениты и магнетиты) и аутигенных (пириты, известковые шпаты). На основании химического и минерального состава осадка выделены наиболее вероятные направления его «полезной» утилизации: в производстве строительных материалов (ввиду схожести с глинами) и почвогрунтов (по содержанию элементов питания растений в доступной форме).

С учетом рассчитанного объема осадка, образующегося в отстойниках ВОС г. Ростова-на-Дону, и воды, затрачиваемой на его удаление ручным способом, для каждой технологической линии определены коэффициенты разбавления: они составляют интервал от 2,6 до 16,8.

В третьей главе представлено экспериментально-теоретическое описание процесса обезвоживания осадка маломутной и малоцветной природной воды.

Поскольку концентрация твердой фазы в шламовых водах промывки отстойников ВОС г.Ростова-на-Дону в среднем составляет интервал от 5 до 35 г/дм^3, на начальном этапе обработки технологических стоков предложено осуществлять мероприятия по их разделению на воду и осадок. Опытные исследования процесса гравитационного отстаивания осадка в покое (вторичного уплотнения) в стеклянных мерных цилиндрах позволили выделить основные факторы, оказывающие влияние на эффективность процесса: продолжительность работы сооружений, из которых данный осадок получен (рисунок 2), и сезон осадкообразования (рисунок 3).

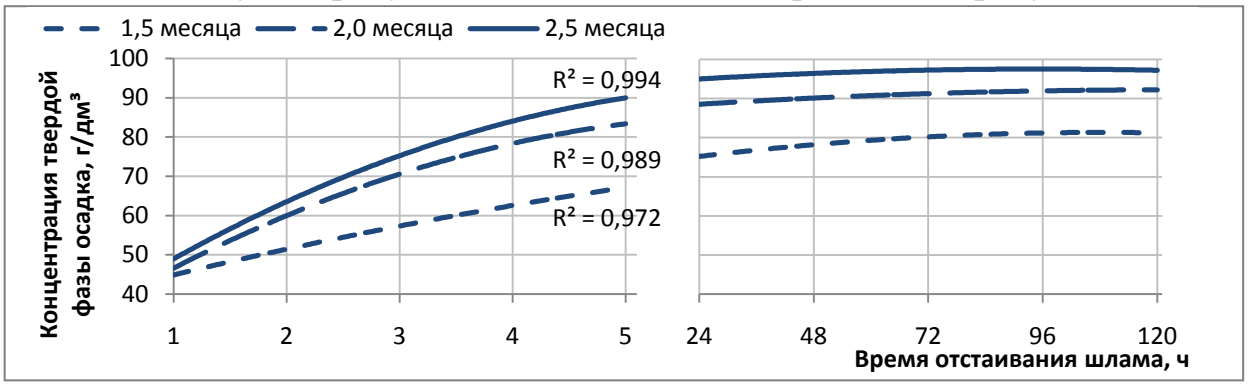


Рисунок 2 – Кинетика вторичного уплотнения осадка, образованного в летний период при продолжительности работы отстойника между промывками от 1,5 до 2,5 месяцев (начальная концентрация твердой фазы 30÷40 г/дм^3)

Так, интенсивность процесса возрастает с увеличением времени пребывания осадка в сооружении, что объясняется положительным влиянием эффективного давления слоя обрабатываемой воды на осадочную массу, а также нарастающего слоя твердой фазы. Это способствует вытеснению части воды из пор осадка, а также сближению отдельных частиц, что приводит к их флокуляции с образованием крупных агрегатов, которые при вторичном уплотнении эффективно осаждаются под действием собственного веса. По данным рисунка 2 видно, что при длительности накопления осадка в отстойнике около 1,5 месяцев его концентрация твердой фазы (спустя 120 ч уплотнения) на 16 % меньше значений, характерных для осадка, образованного за 2,5 месяца.

Обращаясь к влиянию сезонного периода осадкообразования на кинетику процесса разделения шлама на осадок и осветленную воду (рисунок 3), следует обратить внимание на некоторое отставание (до 18 %) значений концентрации твердой фазы уплотненного осадка, образованного за август-сентябрь, от аналогичных значений концентрации осадка, образованного в более ранний или поздний периоды при прочих равных условиях. Высокая влажность, легкая и гелеподобная структура, присущие данному осадку, являются результатом цветения воды. Структура такого осадка, содержащая повышенное количество органической составляющей, не обеспечивает существенной деформации связей пространственной структурной решетки и, как следствие, уплотнения осадка. Весьма значительное влияние на кинетику процесса вторичного уплотнения осадка

оказывает исходная концентрация твердой фазы: чем выше исходная концентрация, тем меньше скорость процесса уплотнения. Следует отметить, что величина разбавления осадка практически не влияет на конечную степень его уплотнения при длительности отстаивания шлама более 24 ч.

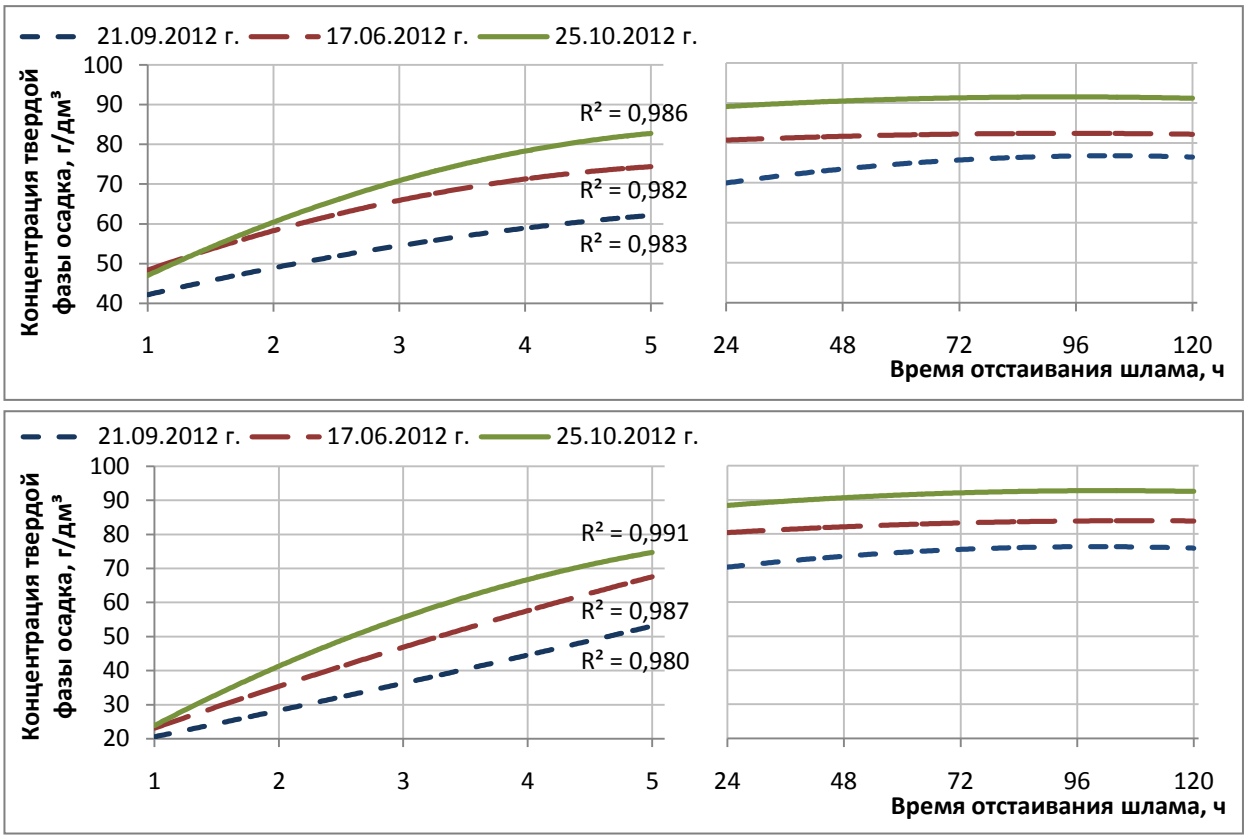
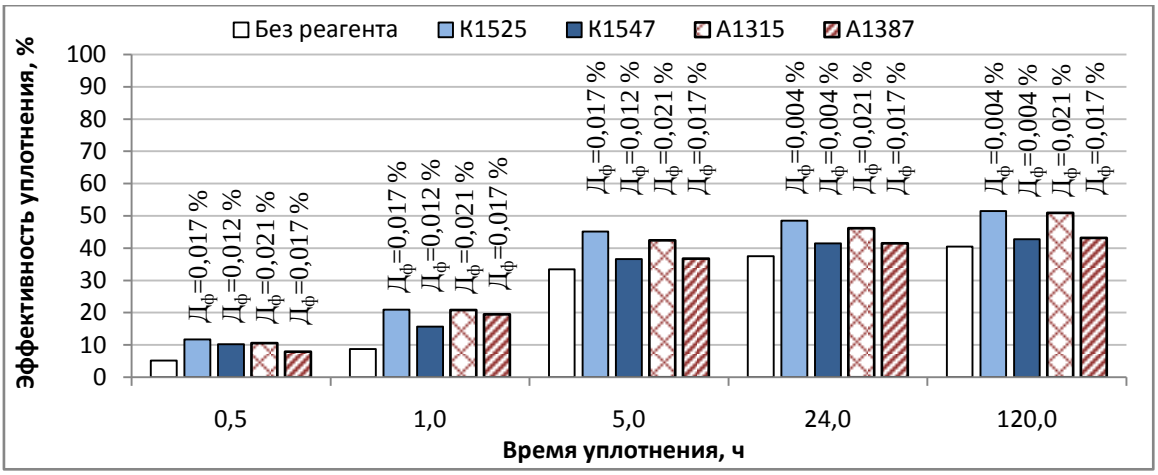


Рисунок 3 – Кинетика вторичного уплотнения осадка, отобранного в различные периоды года при продолжительности работы отстойника 2,0 месяца и начальной концентрации твердой фазы в объеме шлама: а - 30÷40 г/дм^3; б - 10÷20 г/дм^3

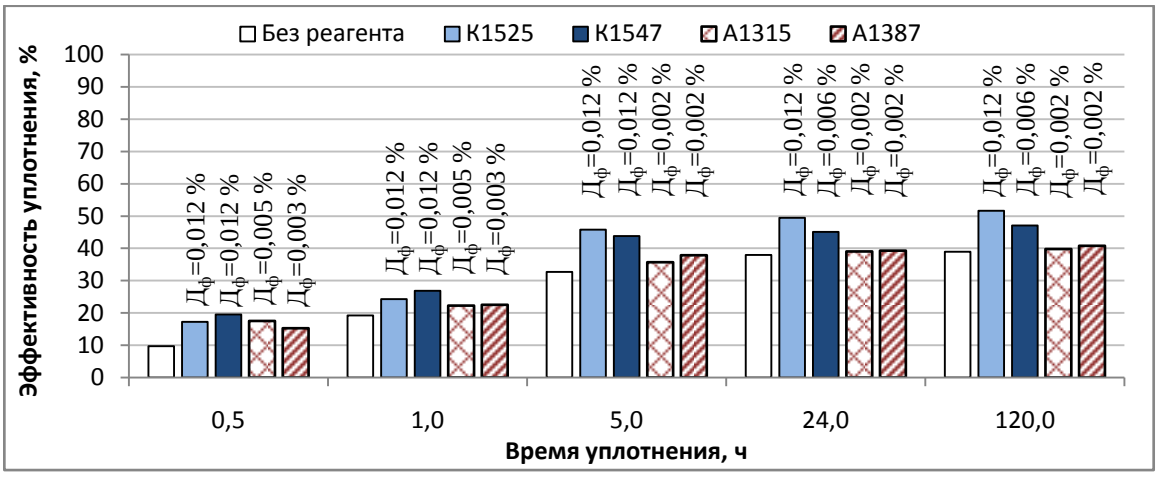
За 96-120 ч гравитационного уплотнения осадок достигает значений концентрации твердой фазы, аналогичных исходным (средним по высоте слоя показателям при нахождении его в отстойнике перед промывкой).

Экспериментально установлено, что предварительная реагентная обработка шлама позволяет увеличить степень уплотнения осадка. В данном направлении исследована эффективность полиакриламидов (ПАА) и извести (в сухом виде).

Пробное флокулирование выполнено с применением катионных ПАА (сополимеров акриламида и катионного акрилового мономера) средней (К1525) и высокой (К1547) молекулярной массы и анионных ПАА (сополимеров акриламида и акрилата натрия) со средней (А1315) и высокой (А1387) массой молекул (рисунок 4). Лучшим образом себя зарекомендовали катионные ПАА средней молекулярной массы: при продолжительности отстаивания 24-120 ч и дозе 0,012 % по массе сухого вещества (м.с.в.) применительно к осадку, образованному в период цветения воды, и 0,004 % по м.с.в. в остальные сезоны года обеспечивается увеличение эффекта его уплотнения на 10-15 % (дополнительное снижение влажности в пределах 2,5 %).



а)



б)

Рисунок 4 – Эффективность уплотнения осадка, образованного весной (а) и в период цветения воды (б), при кондиционировании его различными оптимальными дозами флокулянтов ($Д_ф$ безводного в % по м.с.в.)

Известь (в расчете на CaO) дозой от 8 % по м.с.в. осадка позволяет достичь большего эффекта снижения влажности (рисунок 5).

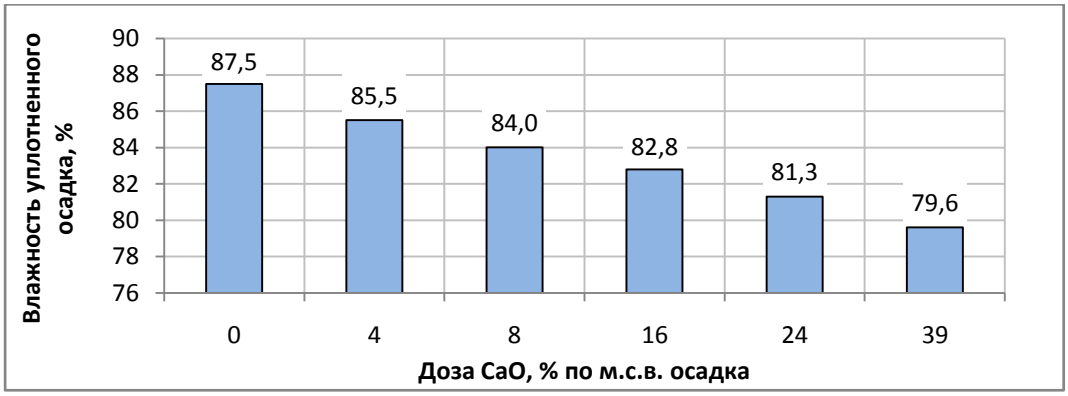


Рисунок 5 – Эффективность снижения влажности осадка в присутствии извести (уплотнение в течение 24 ч)

На основании экспериментальных исследований вторичного уплотнения осадка маломутной и малоцветной донской воды сделан вывод о его весьма приемлемых водоотдающих свойствах (и без дополнительного кондиционирования): влажность осадка после вторичного уплотнения находится в диапазоне от 85,4 до 94,6 %, значения удельного сопротивления осадка невелики и составляют на

начальном этапе фильтрования $23 \cdot 10^{10} \div 84 \cdot 10^{10}$ см/г, на конечном – $55 \cdot 10^{10} \div 163 \cdot 10^{10}$ см/г. Поэтому его дальнейшее обезвоживание возможно как в естественных условиях, так и на механических аппаратах (в частности, фильтровального типа).

Эффективность обезвоживания осадка в естественных условиях изучена с точки зрения возможной применимости при этом следующих процессов удаления влаги: фильтрация в дренажную систему, декантация с поверхности, капиллярное поглощение, испарение.

Значительное влияние на эффективность отделения фильтрата оказывают исходная влажность осадка (в том числе тип связи воды с твердым веществом) и высота его напуска на поверхность дренажа. При фильтрации полностью отделяется свободная вода, содержащаяся в осадке в результате его разбавления, а также некоторое количество структурно-защемленной влаги, удаление которой не обеспечивается вторичным уплотнением.

Процессу дренирования осадка (при высоте напуска 0,3-0,6 м) с концентрацией твердой фазы до 75 г/дм^3 свойственно образование надосадочной воды, поскольку скорость уплотнения осадка превышает скорость фильтрации жидкости. Снижение скорости фильтрации тем интенсивнее, чем больше высота слоя осадка над дренажем. Объем осадка за счет выделенной из его структуры воды (в сравнении с методом уплотнения) дополнительно сокращается на 4-9 %, что обеспечивает снижение влажности на 0,22-0,71 %. В случае, если осадок содержит незначительное количество свободной влаги, образования надосадочной воды не наблюдается, скорость отделения фильтрата мала и изначально составляет менее 0,01 м/ч. Процесс фильтрации (при концентрации твердой фазы осадка от 80 г/дм^3 и высоте его напуска не более 0,6 м) занимает около 2 сут, за которые объем весеннего осадка сокращается на 4-6 %, осеннего – на 3-5 %, что соответствует снижению влажности на 0,31-0,55 % и 0,28-0,39 %.

Повысить интенсивность фильтрации влаги из осадка, позволяют известь и катионные ПАА. Установлено, что CaO дозой 4-24 % по м.с.в. осадка сокращает продолжительность отделения фильтрата в 1,1-7,0 раз, катионные ПАА оптимальной дозой 0,018-0,024 % по м.с.в. осадка – в 1,6 раза.

Экспериментальное обезвоживание осадка методом капиллярного поглощения влаги показало положительные результаты. Следует отметить нестандартность способа обезвоживания осадка с использованием капиллярного всасывания, поскольку он основан на процессе извлечения влаги внешним твердым элементом в отличие от остальных известных методов обработки в естественных или искусственных условиях, ориентированных на воздействие температурой (замораживание, сушка) или давлением (фильтр-прессование, вакуумное фильтрование, центрифугирование). Из множества изученных капиллярно-пористых

материалов наилучшим образом себя зарекомендовал бетон средней плотности естественного твердения с мелкозернистым заполнителем (кварцевым песком с модулем крупности от 2,0 до 2,5) и цементно-песчаным отношением 1:3, обладающий приемлемым капиллярным поднятием (определялось на установке, представленной на рисунке 6), долговечной эксплуатацией, возможностью использования в качестве элемента конструкции площадки обезвоживания осадка.

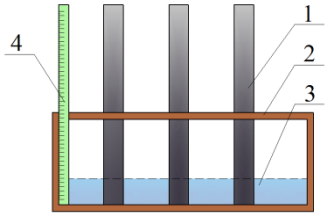


Рисунок 6 – Установка для определения высоты поднятия воды в капиллярно-пористом материале
1-бетонные образцы-балочки; 2-опорный корпус; 3-емкость для воды; 4-мерная линейка

Объем воды, поглощенной капиллярно-пористым элементом из осадка, определяется количественным соотношением содержащейся в нем свободной и связанной влаги: при значительном содержании последней процесс обезвоживания капиллярным всасыванием малоэффективен (рисунок 7).

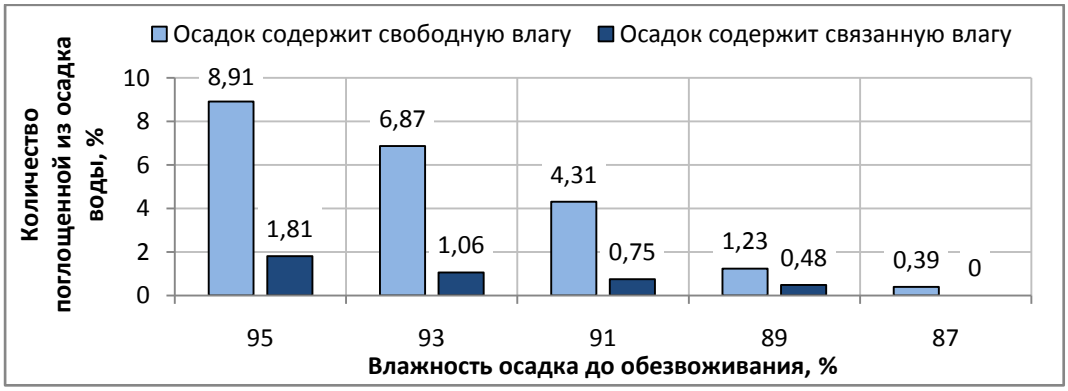


Рисунок 7 – Влияние капиллярно-пористого материала на снижение влагосодержания осадка различной влажности

Экспериментальными исследованиями установлено, что количество, размеры и расположение капиллярно-пористых элементов по площади иловой площадки необходимо назначать, руководствуясь следующими условиями:

− радиус влияния капиллярно-пористого материала на влажность осадка равняется удвоенной ширине прямоугольного сечения (удвоенному диаметру круглого) элемента в плане. Однако, размер элементов и их конфигурация должны быть обоснованы с точки зрения конструкции и возможного «полезного» объема материала, участвующего в капиллярном поднятии влаги. Так, конструктивно нет смысла назначать ширину (диаметр) элемента в плане более 400 мм;

− отношение суммарной площади сечений капиллярно-пористых элементов плоскостью, параллельной основанию площадки, к площади обезвоживаемого осадка должно быть не менее 0,04;

− наиболее эффективное влагопоглощение из осадка наблюдается при наибольшем смоченном периметре (линии поверхности соприкосновения с осадком) капиллярно-пористого материала при прочих равных условиях.

Обезвоживание осадка на открытом воздухе, в частности, иловых площадках, на территории Ростовской области может осуществляться как за счет сушки (годовое количество воды, испарившейся в период устойчивого дефицита влажности воздуха, составляет более 900 мм), так и промораживания (продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха ниже 0 °С составляет более двух месяцев в году). Структура осадка, высушенного в теплый период года, крупнозернистая (размер агрегатов 5-30 мм). Влажность осадка в воздушно-сухом состоянии составляет около 12 %. При разовом воздействии мороза осадок полностью меняет свою структуру: становится сыпучим и мелкозернистым, преобладающая фракция представлена агрегатами размером 0,5-4,0 мм.

На основании экспериментального исследования обезвоживания осадка на открытом воздухе обоснована необходимость интенсификации процесса путем организации предварительного уплотнения осадка, дренажного основания площадки, капиллярного поглощения влаги, а также мероприятий, направленных на минимизацию негативного воздействия атмосферных осадков. Кроме того, во избежание значительного увеличения продолжительности сушки, высота слоя уплотненного (посредством дренирования и капиллярного поглощения влаги) осадка на площадке не должна превышать 0,4 м.

Исследование процесса обезвоживания предварительно уплотненного осадка маломутной и малоцветной природной воды вакуумным фильтрованием позволило выявить зависимость эффекта снижения влажности от его исходных свойств (рисунок 8), в частности, удельного сопротивления фильтрации и исходного влагосодержания. Влажность кека на выходе составляет 71,7-86,9 %.

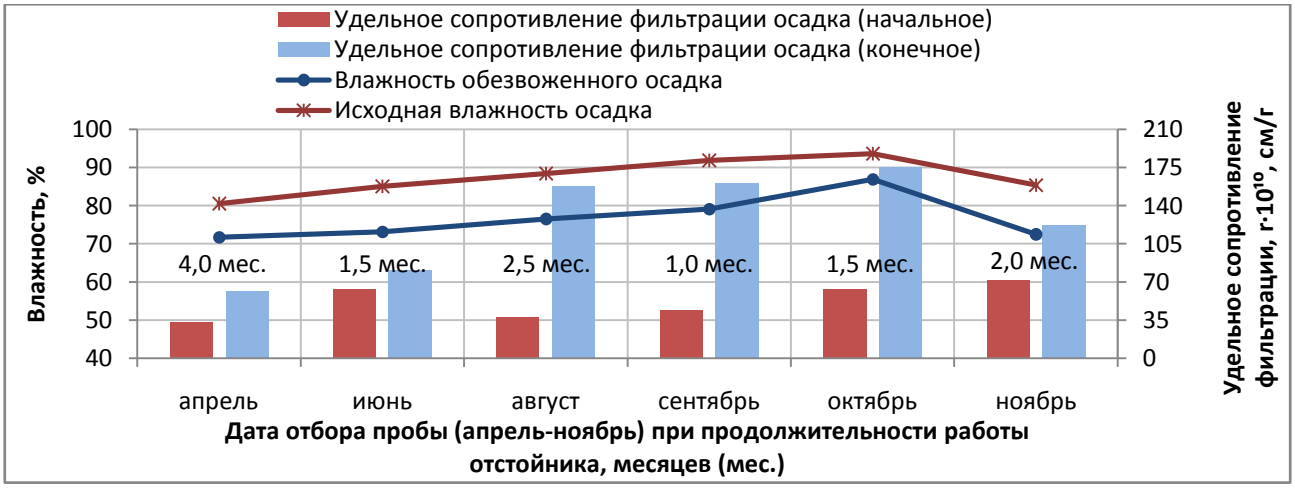


Рисунок 8 – Влияние исходных характеристик осадка на эффективность его обезвоживания вакуумным фильтрованием

Отдельное внимание уделено вопросам качества воды, выделяемой при обработке осадка. Наибольшее ее количество образуется при разделении шлама на осадок и надосадочную воду, меньшее – при последующем дренировании уже уплотненного осадка. Химический анализ надосадочной воды (выделенной из

шлама с концентрацией твердой фазы С=30-40 г/дм^3) выявил несоответствие данных стоков условиям сброса в поверхностные водоемы (в частности, реку Дон) ввиду вероятного превышения предельно допустимой концентрации (ПДК) железа и алюминия, а также отведения в централизованные общесплавные и бытовые системы водоотведения ввиду превышения ПДК марганца (в 6-28 раз) и фосфатов (в 1,05 раза). Наиболее предпочтительно повторное использование надосадочной воды при учете ее органолептических характеристик (рисунок 9).

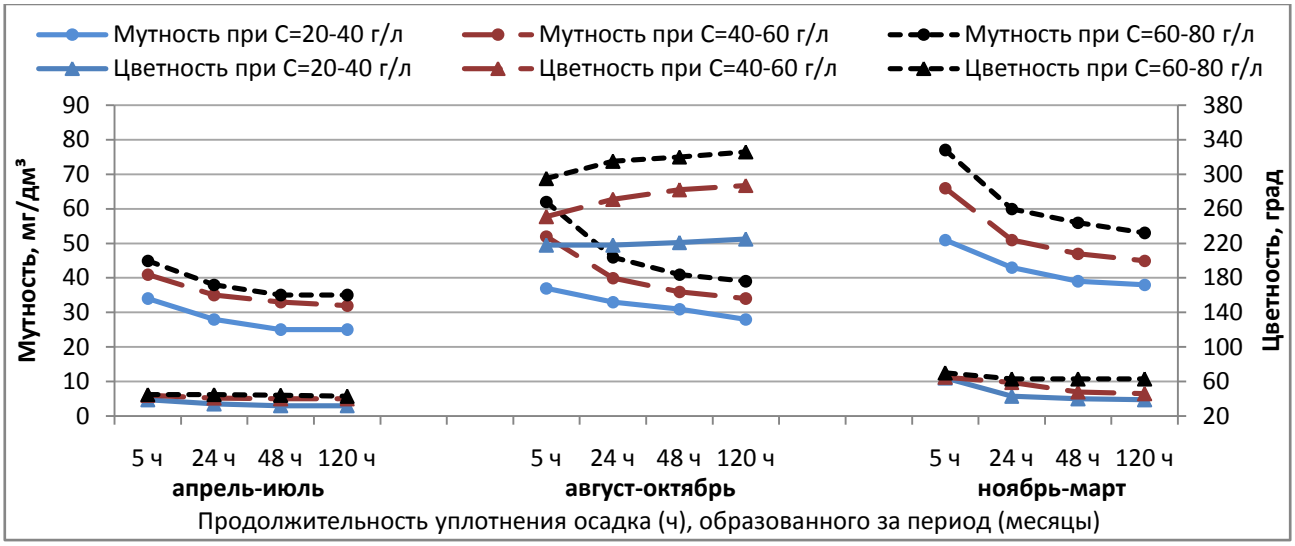


Рисунок 9 – Изменение мутности и цветности надосадочной воды в процессе гравитационного уплотнения осадка различной начальной концентрации твердой фазы (С)

Длительное выдерживание воды над осадком (до 120 ч) способствует снижению мутности на 22-37 %, цветности – на 4-39 %, что указывает на значительное содержание в ней загрязняющих веществ в коллоидном и растворенном виде. Повышение цветности, характерное для осадка периода цветения воды, связано с ростом содержания органики (продуктов жизнедеятельности фитопланктона), а также со спецификой окисления железа. Процесс перехода двухвалентного железа в трехвалентное в присутствии значительного содержания гумуса сопровождается образованием коллоидных органических соединений железа, устойчивых к осаждению.

Обработка шлама (С≤40 г/дм^3) катионными ПАА (дозой 0,006-0,009 % по м.с.в.) или известью (дозой 8 % по м.с.в.) снижает мутность надосадочной воды в среднем на 25 и 70 %, цветность на 45 и 65 % соответственно (рисунок 10).

Исследования качества фильтрата, выделенного из осадка в процессе дренирования (на сетке с размером ячеек 600 мкм), подтвердили необходимость предварительного гравитационного уплотнения осадка перед обезвоживанием, поскольку при концентрации твердой фазы в шламе менее 30 г/дм^3 удаление воды сопровождается значительным выносом взвеси. Мутность и цветность фильтрата превышают аналогичные показатели надосадочной воды (в диапазоне концентрации твердой фазы осадка 30-80 г/дм^3) на 20-32 % и до 40 % соответственно (рисунок 11).

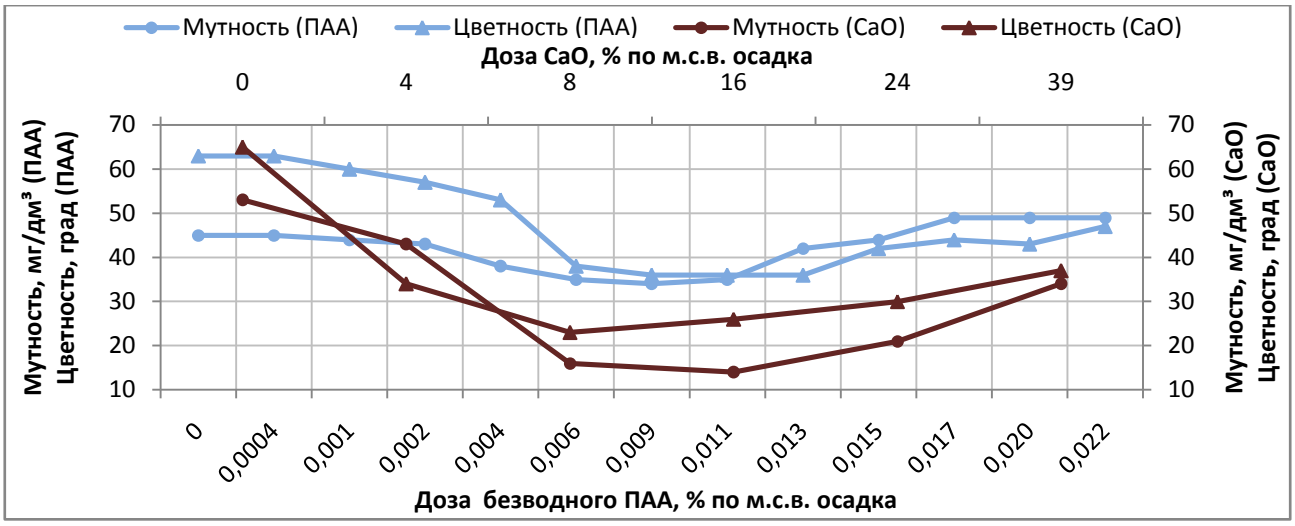


Рисунок 10 – Показатели качества надосадочной воды, выделенной из шлама с концентрацией твердой фазы 40 г/дм^3 при предварительной его обработке реагентами

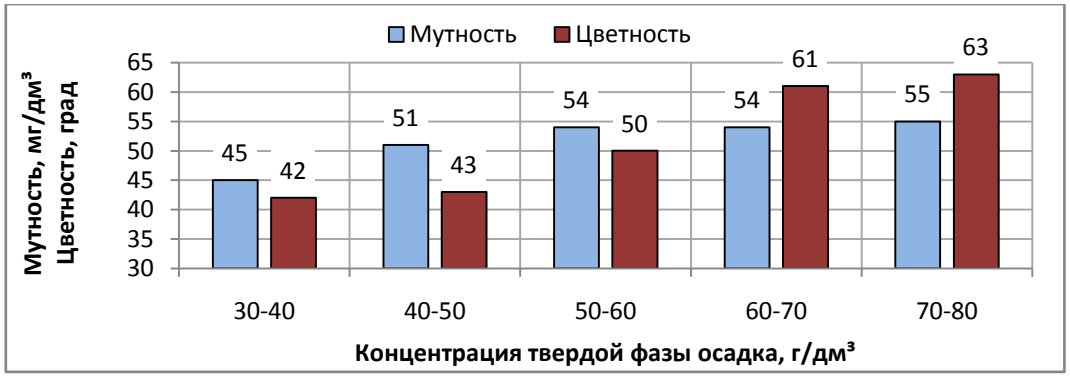


Рисунок 11 – Органолептические показатели фильтрата, выделенного из осадка при различной концентрации твердой фазы (осадок образован весной)

Предварительная обработка осадка известью (в расчете на CaO) дозой около 16 % по м.с.в. снижает мутность фильтрата в среднем на 45 %, цветность – на 30 %. Катионные ПАА наименьшей эффективной дозой 0,003-0,004 % по м.с.в. осадка снижают мутность фильтрата в среднем на 30 %, цветность – на 45 % (рисунок 12).

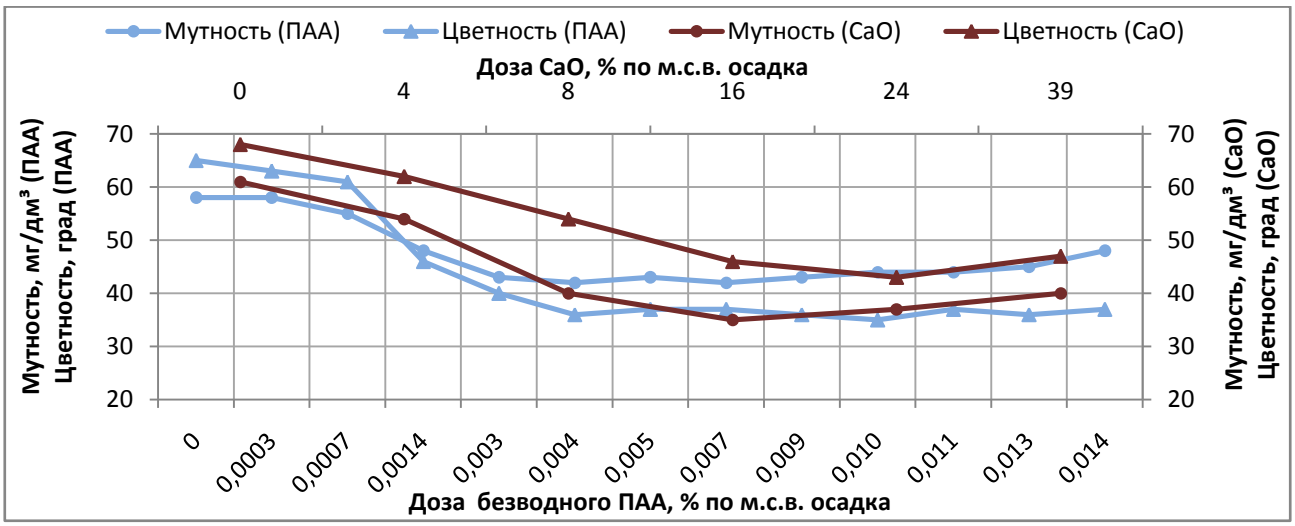


Рисунок 12 – Показатели качества фильтрата, выделенного из осадка с концентрацией твердой фазы 70 г/дм^3 при предварительной его обработке реагентами

В четвертой главе приведено описание разработанных технологических решений по оптимизации процесса обработки осадка маломутной и малоцветной природной воды.

Согласно разработанной схеме (для ВОС г. Ростова-на-Дону) осадок влажностью 85,4-94,6 % (с концентрацией твердой фазы 55-160 г/дм^3), накопившийся в отстойнике за период 2-5 месяцев, подлежит удалению. Шламовая вода промывки отстойников с концентрацией твердых веществ 5-35 г/дм^3, образованная разбавлением осадка в 3-17 раз, направляется по самотечному трубопроводу в сгуститель. Перед подачей шлама в сгуститель рекомендуется его кондиционирование. Поскольку известь (в сухом виде), обеспечивающая несколько больший эффект уплотнения осадка и осветления надосадочной воды, значительно увеличивает долю твердых отходов, подлежащих обезвоживанию, а также их щелочность и pH (что важно учитывать при решении вопроса утилизации), наиболее предпочтительны катионные ПАА дозой 0,006-0,012 % по м.с.в. осадка. Указанная доза флокулянта обеспечит увеличение степени уплотнения осадка на 10-15 %, а также повысит качество надосадочной воды (снижение мутности составит не менее 20 %, цветности – не менее 40 %). Наиболее приемлемый период выдерживания шлама в сгустителе составляет от 24 до 120 ч, поскольку за это время осадок достигает максимальной концентрации, а надосадочная вода – наибольшей степени осветления. Выпуск осадка из сгустителя целесообразно осуществлять при его концентрации от 55 до 90 г/дм^3, соответствующей влажности от 95 до 91 % и плотности (объемному весу) до 1,05 г/см^3. Сгущенный осадок направляется в технологический комплекс (рисунок 13), разработанный в рамках диссертационной работы, для дальнейшей обработки, а надосадочная вода (мутностью 20-35 мг/дм^3, цветностью 20-135 град) отводится напорным трубопроводом в резервуар-усреднитель для повторного использования.

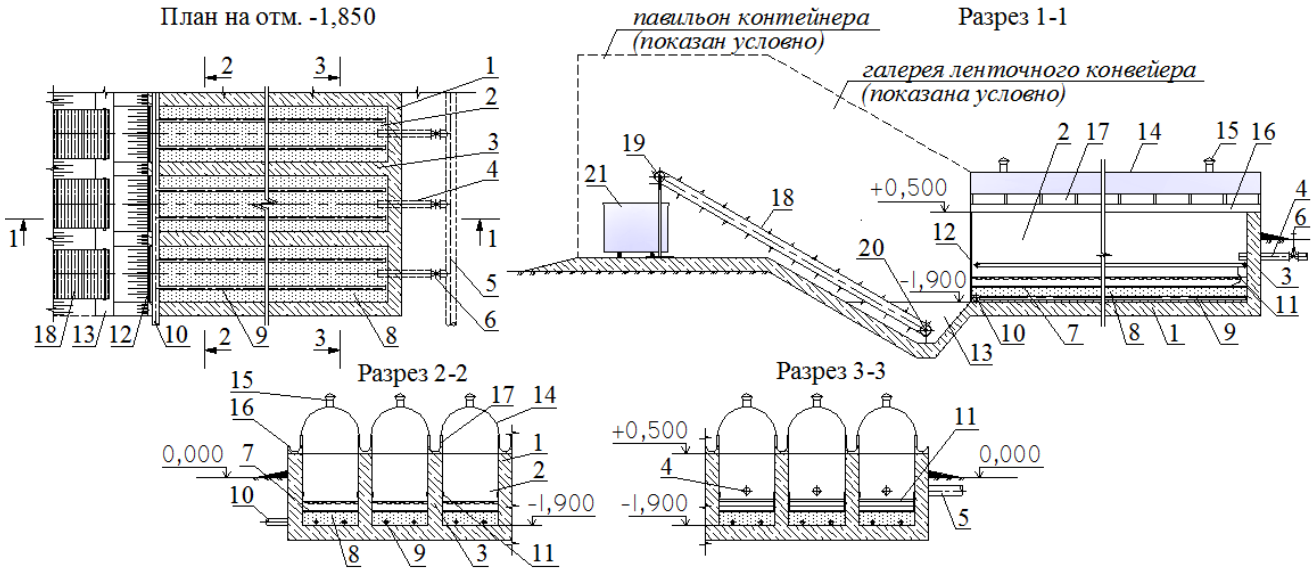


Рисунок 13 – Технологический комплекс для обработки осадка

Технологический комплекс для обработки осадка (рисунок 13) включает в себя емкостное сооружение для обезвоживания осадка, галерею ленточного конвейера и павильон передвижного контейнера.

Сооружение разработано с целью обезвоживания осадка в естественных условиях преимущественно в теплый период года и представляет собой железобетонный полузаглубленный резервуар (1), разделенный на отдельные коридоры (2) бетонными стенками (3). Помимо ограждающей функции стены выполняют роль капиллярно-пористых элементов для осуществления поглощения воды из осадка и создания дополнительной поверхности испарения. Каждый коридор оснащен трубопроводами впуска осадка (4, 5) с устройством задвижки (6), дренажем (7, 8) и дренажными трубопроводами (9, 10) для отведения выделенного фильтрата, скребковым механизмом (11) для уборки обезвоженного осадка с поверхности площадки, шибером (12), бункером для сбора кека (13), ленточным конвейером (18), приводимым в движение посредством приводного барабана (19) и вала (20), для транспортировки кека из бункера к контейнеру (21), разгружаемому автотранспортом. С целью минимизации негативного влияния атмосферных осадков на процесс обезвоживания коридоры оборудованы кровельным покрытием (14) из светопроницаемого материала, защищающим осадок от дождя и снега. Для отведения талых и дождевых вод предусмотрено устройство лотков (16). Вентиляция сооружения осуществляется посредством вентпроемов (17) и дефлекторов (15). Коридоры должны располагаться в продольном направлении с запада на восток, с целью минимизации теневых зон в основании. Для упрощения строительства и обслуживания комплекса рекомендуется блокирование сооружений по три коридора с организацией проездов между блоками.

Конструктивные решения технологического комплекса позволяют сократить общую продолжительность обезвоживания осадка на 20-40 % в сравнении с иловыми площадками, не оборудованными средствами интенсификации процесса обезвоживания, и значительно упростить эксплуатацию. Эффект достигается за счет сокращения объема воды, подлежащей испарению: значительная ее часть удаляется посредством дренирования и капиллярного поглощения, что, в свою очередь, позволяет сократить объем осадка в 1,15-1,53 раза.

Представлен расчет технологических сооружений для обработки осадка отстойников ВОС г. Ростова-на-Дону: определен объем сгустителей и резервуара-усреднителя, рассчитаны площадь сооружения для обезвоживания осадка и предельная высота исходного напуска осадка, составившая 0,46-0,60 м.

На основании экспериментальных и теоретических исследований установлено, что в период устойчивого дефицита влажности (с марта по октябрь) время обезвоживания осадка до влажности не более 40 % составит около 2,5 месяцев.

В условиях полного факторного эксперимента получена математическая

модель, описывающая процесс обезвоживания осадка различной начальной влажности на предлагаемой модели сооружения при высоте его напуска 0,4-0,6 м (уравнение 1 – для осадка, уплотненного до влажности около 91 %, уравнение 2 – для случая разбавления данного осадка до влажности около 94 %):

$$y = 73{,}63 + 9{,}88x_1 - 3{,}38x_2 - 4{,}87x_3, \quad (1)$$

$$y = 72{,}50 + 9{,}25x_1 - 10{,}75x_2 - 5{,}50x_3, \quad (2)$$

где y – параметр оптимизации, в качестве которого принята продолжительность обезвоживания осадка до средней по высоте слоя влажности около 30 % (сут);

x_1, x_2, x_3 – факторы воздействия на параметр оптимизации (таблица 2).

Таблица 2 – Факторы активного эксперимента

Наименование фактора	Единица измерения	Уровень варьирования			Интервал варьирования
		–1	0	+1	
Высота напуска осадка (x_1)	м	0,4	0,5	0,6	0,1
Дренажная система (x_2)	–	отсутствие	–	наличие	–
Капиллярное влагопоглощение (x_3)	–	отсутствие	–	наличие	–

Уравнения (1, 2) подтверждают больший эффект влияния дренажной системы и капиллярно-пористых материалов на продолжительность обезвоживания по отношению к осадку с большим влагосодержанием.

В пятой главе представлено технико-экономическое обоснование проектного решения обработки осадка применительно к ВОС г. Ростова-на-Дону, осуществляющим подготовку маломутной и малоцветной донской воды. Обосновано, что приведенные затраты на строительство сооружений для обработки осадка с устройством технологического комплекса обезвоживания в естественных условиях (рисунок 13) меньше затрат при устройстве цеха вакуум-фильтрации на 45 %. Годовой экономический результат, который определяется предотвращением экономического ущерба, обусловленного платой за временно-согласованные сбросы шлама в водные объекты, составит 2,26 млн. руб. в ценах на I квартал 2016 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что исходные физико-химические показатели осадка отстойников значительно зависят не только от видов реагентов, применяемых для очистки речной воды (ОХА в сочетании с полиДАДМАХом, самостоятельное применение последнего), и сезона осадкообразования, но и от продолжительности работы сооружений между промывками. Так, содержание твердой фазы в объеме осадка (основной качественный показатель) в зависимости от перечисленных факторов изменяется в интервале от 5,4 до 14,6 %. Колебания качества осадка, в свою очередь, сказываются на процессах его дальнейшего обезвоживания.

2. Гравитационное отстаивание шлама промывки отстойников в течение 96-120 ч позволяет достичь концентрации твердой фазы в осадке, аналогичной

исходным значениям (средним по высоте слоя осадка при нахождении его в отстойнике перед промывкой). В целях дополнительного повышения эффекта уплотнения осадка на 10-15 % целесообразна его предварительная обработка катионными ПАА. В зависимости от сезона года, времени, отводимого на уплотнение, и требующейся степени очистки надосадочной воды оптимальная доза реагента составляет 0,006-0,012 % по м.с.в. осадка.

3. Доказано, что в условиях климата Ростовской области обезвоживание осадка маломутной и малоцветной природной воды в естественных условиях при сравнении с обработкой на механических аппаратах (вакуум-фильтрах) позволяет достичь его минимального остаточного влагосодержания.

4. Экспериментально установлена эффективность водоотдачи уплотненного осадка (влажностью 91-95 %) в естественных условиях. В процессе дренирования влажность может быть снижена на величину 0,2-0,7 %, методом капиллярного поглощения на 0,8-9,0 %, испарение влаги на открытом воздухе в условиях климата Ростовской области обеспечивается со средней интенсивностью 0,11 м/мес (в период с марта по октябрь). Перечисленные факторы способствуют достижению влажности осадка значений менее 40 % за период около 2,5 месяцев (при высоте исходного напуска 0,46-0,60 м). Обезвоживание осадка методом вакуумного фильтрования позволяет достичь снижения влагосодержания на 9-13 %, что обусловливает необходимость организации дополнительной его сушки с целью комплексного решения вопроса утилизации.

5. Разработана конструкция технологического комплекса для обезвоживания осадка в естественных условиях, обеспечивающая не только эффективное испарение влаги, но и ее удаление методами фильтрации и капиллярного всасывания. Определены рациональные режимы дренирования и капиллярного влагопоглощения.

6. Получена математическая зависимость, позволяющая с высокой степенью достоверности определять продолжительность обезвоживания осадка в естественных условиях на предлагаемой модели сооружения при различных показателях его исходной влажности и высоты напуска.

7. Установлено, что надосадочная вода, выделенная при отстаивании шлама, по ряду химических показателей не соответствует нормам ее отведения в поверхностные водные объекты (в частности, реку Дон): вероятно превышение ПДК железа и алюминия в водоисточнике. Условиям сброса в централизованные (общесплавные и бытовые) системы водоотведения вода не удовлетворяет ввиду превышения ПДК марганца в 6-28 раз и фосфатов в 1,05 раза. Доказана необходимость организации повторного использования надосадочной воды при учете ее органолептических характеристик: мутность составляет 25-50 мг/дм^3,

цветность 40-220 град в зависимости от исходных параметров осадка (без его предварительного кондиционирования). Предварительная обработка шлама катионным ПАА дозой 0,006-0,012 % по м.с.в. обеспечивает снижение мутности надосадочной воды на 22-29 %, цветности на 40-46 %.

8. Фильтрат, выделенный в процессе дренирования осадка с концентрацией твердой фазы 30-80 г/дм^3, содержит большее количество примесей в сравнении с водой над осадком: мутность выше на 20-32 %, цветность до 40 %. Предварительное кондиционирование осадка катионными ПАА дозой около 0,006 % по м.с.в. снижает мутность фильтрата на 28-39 %, цветность на 40-46 %.

9. Разработана и обоснована конструкция комплекса для обработки осадка в естественных условиях, которая за счет ряда инженерных решений позволяет сократить продолжительность обезвоживания на 20-40 % в сравнении с иловыми площадками, не оборудованными средствами интенсификации процесса обезвоживания, а также способствует значительному сокращению трудозатрат при эксплуатации. Годовой экономический результат от устройства сооружений для обработки осадка, обусловленный предотвращением платы за сброс загрязняющих веществ в водные объекты окружающей среды, для ВОС г. Ростова-на-Дону составляет 2,26 млн. руб. в ценах 2016 г.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Рыльцева, Ю.А. Совершенствование методов расчета процессов обезвоживания осадков природных вод на площадках подсушивания [Электронный ресурс] / Ю.А. Рыльцева, В.А. Лысов // Инженерный Вестник Дона.– 2012.– Вып.3.– Режим доступа: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/1011.

2. Рыльцева, Ю.А. Косвенное определение свойств водопроводного осадка / Д.А. Бутко, В.А. Лысов, Л.И. Нечаева, Г.В. Поповьян, Ю.А. Рыльцева // Водоснабжение и санитарная техника.– 2013.– №2.– С.60-62.

3. Рыльцева, Ю.А. Изучение качества надосадочной воды, выделенной при уплотнении осадка станций водоподготовки г. Ростова-на-Дону / Ю.А. Рыльцева, Д.А. Бутко // Водоснабжение и санитарная техника.– 2016.– №4.– С.59-64.

Патенты РФ на полезные модели

4. Пат. 110739 Российская Федерация, МПК C 02 F 11/16. Площадка подсушивания осадка / Д.А. Бутко, В.А. Лысов, Г.В. Поповьян, Ю.А. Рыльцева и др.– №2011120505/05; заявл. 20.05.2011; опубл. 27.11.2011, Бюл. №33.– 2 с.: ил.

5. Пат. 127741 Российская Федерация, МПК C 02 F 11/16. Емкостное сооружение для обезвоживания осадка / В.А. Лысов, Д.А. Бутко, Ю.А. Рыльцева.– №2012143285/05; заявл. 09.10.2012; опубл. 10.05.2013, Бюл. №13.– 2 с.: ил.

6. Пат. 127742 Российская Федерация, МПК C 02 F 11/16. Сооружение для обезвоживания осадка / В.А. Лысов, Д.А. Бутко, Ю.А. Рыльцева.– №2012150892/05; заявл. 27.11.2012; опубл. 10.05.2013, Бюл. №13.– 2 с.: ил.

Другие публикации по теме диссертации

7. Рыльцева, Ю.А. Определение основных капиллярных характеристик материалов, используемых для обезвоживания водопроводного осадка / В.А. Лысов, Д.А. Бутко, Г.В. Поповьян, Ю.А. Рыльцева // Строительство-2011: мат. Междунар. науч.-практич. конф.– Ростов-на-Дону: РГСУ, 2011.– С.6-7.

8. Рыльцева, Ю.А. О целесообразности применения площадок подсушивания с инновационными элементами / Д.А. Бутко, В.А. Лысов, Ю.А.Рыльцева, Г.В. Поповьян, Л.И. Нечаева // Строительство-2012: мат. Междунар. науч.-практич. конф.– Ростов-на-Дону: РГСУ, 2012.– С.10-12.

9. Рыльцева, Ю.А. Процессы обезвоживания водопроводного осадка в естественных условиях / Ю.А. Рыльцева // Теория и практика актуальных исследований: мат. II Междунар. науч.-практич. конф.: в 2 т. Т.2.– Краснодар, 2012.– С.157-163.

10. Рыльцева, Ю.А. Исследование водоотдающих свойств осадков маломутных и малоцветных вод поверхностных водоисточников / Ю.А. Рыльцева, Д.А. Бутко, В.А. Лысов, Г.В. Поповьян // Технологии очистки воды. Техновод-2012: мат. VII Междунар. науч.-практич. конф.– Новочеркасск: ЮРГТУ, 2012.– С.84-88.

11. Рыльцева, Ю.А. Изучение перспективы использования осадка водопроводных станций г. Ростова-на-Дону в качестве почвогрунтов / В.А. Лысов, Д.А. Бутко, Ю.А. Рыльцева // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура: научно-технический журнал.– Самара: СГАСУ, 2013.– Вып.№4.– С.33-36.

12. Рыльцева, Ю.А. Усовершенствование конструкции площадки подсушивания водопроводного осадка / Д.А. Бутко, В.А. Лысов, Ю.А. Рыльцева, Л.И. Нечаева // Строительство-2013: мат. Междунар. науч.-практич. конф.– Ростов-на-Дону: РГСУ, 2013.– С.36.

13. Рыльцева, Ю.А. Новая конструкция сооружения для обезвоживания водопроводного осадка / Д.А. Бутко, В.А. Лысов, Г.В. Поповьян, Л.И. Нечаева, Ю.А.Рыльцева // Водоснабжение и канализация.– 2014.– №7-8.– С.17-21.

14. Рыльцева, Ю.А. Изучение химико-минералогического состава водопроводного осадка донской воды / Ю.А. Рыльцева // Современная наука: тенденции развития: мат. X Междунар. науч.-практ. конф.– Краснодар, 2015.– С.208-213.

Рыльцева Юлия Александровна

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ОСАДКА СТАНЦИЙ ПОДГОТОВКИ МАЛОМУТНОЙ И МАЛОЦВЕТНОЙ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ

05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы
охраны водных ресурсов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать _____ Формат 60x84 1/16
Объем 1,0 уч.-изд. л. (1,0 авт. л.)
Тираж 100 экз. Заказ №_____

Издательский центр Донского государственного технического университета
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, корпус 2