

С.В. Гетманцев И.А. Нечаев Л.В. Гандурина

ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД КОАГУЛЯНТАМИ И ФЛОКУЛЯНТАМИ

С.В. Гетманцев, И.А. Нечаев, Л.В. Гандурина

ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД КОАГУЛЯНТАМИ И ФЛОКУЛЯНТАМИ



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва
2008

УДК 628.16

Рецензенты : д-р техн. наук, проф. В.Н. Швецов;
д-р хим. наук, проф. Ф.И. Лобанов.

Гетманцев С.В., Нечаев И.А., Гандурина Л.В.

Очистка производственных сточных вод коагулянтами и флокулянтамию.
Научное издание. Издательство АСВ. – М.: 2008. 272 с.

ISBN 978-5-93093-573-8

Монография посвящена очистке сточных вод коагулянтами и флокулянтами. В книге проанализированы характеристики загрязнений сточных вод, удаляемых с применением реагентов, виды, свойства и способы получения трех групп реагентов: коагулянтов, флокулянтов и композиционных реагентов на их основе. Рассмотрена эффективность применения для очистки сточных вод отдельных групп реагентов в зависимости от их характеристик, вида загрязнений, технологических параметров обработки. Обоснованы и представлены способы выбора наиболее эффективного реагента и совершенствования коагуляционно-флокуляционной очистки сточных вод в зависимости от состава сточной воды и метода осветления. Рассмотрен промышленный опыт и экономическая эффективность применения коагулянтов и флокулянтов для очистки сточных вод.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников, занимающихся очисткой воды, и может быть использована преподавателями и студентами технологических вузов.

УДК 628.16

ISBN 978-5-93093-573-8

© Гетманцев С.В.,
Нечаев И.А., Гандурина Л.В., 2008
© Издательство АСВ, 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

Коагулянты и флокулянты с давних пор применялись при подготовке воды для питьевых целей, что объясняется простотой и высокой эффективностью их использования. Вопросы очистки природных вод с применением реагентов нашли отражение в ряде отечественных и зарубежных изданий. Из них наибольшую известность получили следующие публикации: Бабенков Е.Д. «Очистка воды коагулянтами» (М., Наука, 1977), Вейцер Ю.И., Минц Д.М. «Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод» (М., Стройиздат, 1984), Запольский А.К., Баран А.А. «Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды» (Ленинград, Химия, 1987).

В последние годы появилось большое число работ, посвященных изучению влияния различных коагулянтов и флокулянтов и технологических параметров их применения на эффективность очистки природных вод от дисперсных загрязнений и растворенных загрязнений, которые обобщены в монографиях Мягченкова В.А., Барана А.А., Бектурова Е.А., Булидоровой Г.В. «Полиакриламидные флокулянты» (Казань, 1998), и Драгинского В.Л., Алексеевой Л.П., Гетманцева С.В. «Коагуляция в технологии очистки природных вод» (М., 2005).

Найденные закономерности применения коагулянтов и флокулянтов в водоподготовке не всегда можно перенести на очистку сточных вод из-за кардинальных различий природных и сточных вод по содержанию и химическому составу загрязнений. В то же время исследованиям по очистке сточных вод с применением коагулянтов и флокулянтов не уделяется должного внимания. Коагуляция обычно рассматривается как вспомогательный процесс для интенсификации работы сооружений механической очистки: отстойников, флотаторов, фильтров. Многие исследователи ограничиваются констатацией факта увеличения эффективности очистки воды с применением реагентов и не рассматривают проблемы, связанные с их выбором, условиями проведения процесса, хотя на примере очистки природных вод показано, что за счет оптимизации можно увеличить эффективность очистки воды на 30–50%.

Отсутствие специальной литературы сдерживает применение и широкое внедрение коагулянтов и флокулянтов в практику очистки сточных вод. Отраслевой принцип деления промышленных предприятий также не способствует широкому использованию коагулянтов и флокулянтов. В этой связи очевидна необходимость обобщения многочисленных публикаций по применению коагулянтов и флокулянтов в процессах очистки сточных вод.

В предлагаемой работе предпринята попытка систематизации имеющихся данных по типам и характеристикам коагулянтов и флокулянтов, эффективности их применения для очистки сточных вод различных видов. При этом значительное внимание уделено условиям применения и эффек-

тивности отдельных групп реагентов для очистки сточных вод различных производств. Рассмотрена также методология выбора наиболее эффективного реагента в зависимости от состава сточной воды, метода осветления и требований к качеству сточной воды. Один из разделов посвящен промышленному опыту и экономической эффективности применения коагулянтов и флокулянтов для очистки сточных вод.

Книга не может претендовать на исчерпывающий охват всех вопросов, касающихся применения коагулянтов и флокулянтов для очистки сточных вод, но в каждом конкретном случае может значительно облегчить поиск наиболее эффективного реагента и технологии его применения.

В книге использованы литературные данные и результаты научных исследований, выполненных в ФГУП «НИИ ВОДГЕО» и ОАО «АУРАТ».

Авторы выражают благодарность специалистам ОАО «АУРАТ» за оказанную помощь при подготовке и оформлении книги, а также сотрудникам лаборатории реагентных методов очистки воды ФГУП «НИИ ВОДГЕО» за участие в выполнении экспериментальных работ, результаты которых использованы в книге.

Все замечания и предложения по содержанию книги, за которые авторы заранее признательны, просьба направлять по адресу: Россия, 125438, г. Москва, 4-й Лихачевский пер., 6, ОАО «АУРАТ».

ВВЕДЕНИЕ

Технология очистки сточных вод обычно включает физико-механические, физико-химические, химические и биохимические методы, которые предназначены для удаления из воды взвешенных, коллоидных и растворенных органических и неорганических примесей. В зависимости от характеристик исходной воды, требований к качеству очищенной воды применение каждого из этих методов и их комбинация при выборе технологической схемы очистки может быть различной. Для удаления нерастворимых грубодисперсных примесей из воды используют механические методы – отстаивание, флотацию, фильтрование. Для удаления коллоидных и тонкодисперсных нерастворимых примесей применяют как физико-химические методы, основанные на агрегации частиц дисперсной фазы с использованием коагулянтов и флокулянтов (флокуляция, реагентная флотация, контактная коагуляция), так и безреагентные фильтрационные методы с использованием специальных материалов (микро- и ультрафильтрация). Для очистки производственных сточных вод от разных видов растворенных органических и неорганических веществ используются физико-химические методы (адсорбция, мембранная сепарация, ионный обмен), химические методы (окисление, восстановление, реагентное осаждение) и биохимические методы.

Поскольку промышленные предприятия, как правило, сбрасывают сточные воды в коммунальные системы водоотведения и в конечном итоге на сооружения биологической очистки, для обеспечения очистки воды от биологически трудно окисляемых или не окисляемых загрязнений очистные системы предприятий обычно базируются на физико-химических методах. Преимуществами этих методов являются:

- возможность очистки воды до требуемых показателей практически от всех видов загрязнений, различающихся как по химическому, так и по фазово-дисперсному составу;

- высокая эффективность очистки сточных вод как в непрерывном, так и в периодическом режиме работы, быстрота и простота вывода системы на заданные технологические параметры;

- технологическая гибкость системы очистки воды при изменении показателей поступающей воды или требований к качеству ее очистки;

- возможность полной автоматизации и диспетчеризации технологического процесса очистки воды.

Наиболее распространенной и доступной является очистка производственных сточных вод с использованием минеральных коагулянтов (солей алюминия и железа) и флокулянтов. Основным назначением коагулянтов и флокулянтов является увеличение размера частиц за счет их слипания (агрегации) и как следствие повышение эффективности очистки воды фильтрованием, отстаиванием, флотацией. Очистка воды коагулянтами и

флокулянтами применяется для извлечения из воды стабилизированных и нестабилизированных поверхностно-активными веществами (ПАВ) коллоидных и тонкодисперсных загрязнений с гидравлической крупностью (U_0) менее 0,3 мм/с или дисперсностью менее 100 мкм. К ним относятся гидрофобные (нефтепродукты, масла, жиры) или гидрофильные (гумусовые вещества, полисахариды, белки, лигнин) органические соединения и минеральные примеси (глинистые частицы, оксиды и карбонаты различных металлов). Одновременно может происходить извлечение из воды растворенных органических и минеральных загрязнений, которые адсорбируются продуктами гидролиза коагулянтов или вступают в химическое взаимодействие с коагулянтами и флокулянтами с образованием трудно растворимых соединений. Такими веществами являются соли гуминовых и фульвокислот, анионные и катионные ПАВ, красители, фосфаты, катионы и комплексные анионы тяжелых металлов и т.д.

Среди реагентов, применяемых для коагуляционной очистки сточных вод, самыми востребованными являются неорганические коагулянты. Это обусловлено рядом причин, главными из которых являются доступность, наличие большой сырьевой базы, низкая стоимость и высокая эффективность. В последние годы стали производить новые виды неорганических коагулянтов с улучшенными товарными и техническими характеристиками, что способствует расширению применимости коагуляционного метода и увеличению его эффективности. Особенно интенсивно новые коагулянты внедряются при подготовке питьевой воды.

Появление широкого ассортимента органических флокулянтов, которые могут применяться самостоятельно и совместно с коагулянтами расширяет возможности метода и делает его незаменимым элементом очистных технологий, позволяющим исключить или частично заменить последующую, глубокую доочистку сточных вод.

Таким образом, приведенные выше сведения свидетельствуют о широких возможностях физико-химических методов очистки воды, основанных на использовании коагулянтов и флокулянтов, которые не имеют альтернативы с технологических и экономических позиций благодаря высокой эффективности, относительной простоте, универсальности и надежности применения.

Однако широкое внедрение технологии очистки сточных вод с применением коагулянтов и флокулянтов возможно на основе комплексного использования приоритетных характеристик очищаемых сточных вод, свойств коагулянтов и флокулянтов и технологических параметров их применения. Все эти вопросы в той или иной степени будут рассмотрены в данной работе.

ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА СТОЧНЫХ ВОД

1.1. Коллоидно-дисперсные характеристики сточных вод

Сточные воды характеризуются большим разнообразием загрязняющих веществ, которые находятся во взвешенном или растворенном состоянии. Поскольку нерастворимые минеральные или эмульгированные вещества являются самыми распространенными загрязнителями, сточные воды с позиций коллоидной химии можно рассматривать как дисперсную систему с твердой (суспензии) или жидкой (эмульсии) дисперсной фазой, в которой дисперсионной средой является вода. Основными характеристиками любой дисперсной системы является размер частиц, концентрация, агрегативная и кинетическая устойчивость [1, 2]. В таблице 1.1. представлены основные отличительные характеристики дисперсной фазы коллоидных систем и сточных вод.

Таблица 1.1. Отличительные признаки коллоидных дисперсий и сточных вод

Параметры	Коллоидная система	Сточные воды
Дисперсность	Ультрамикрорегерогенная ($\leq 0,1$ мкм), монодисперсная	Микрорегерогенная ($> 0,1$ мкм), полидисперсная
Концентрация	Низкая	Большой диапазон
Агрегативная устойчивость	Высокоустойчива; ЭКП* – высокий	Устойчива; ЭКП – более низкий
Кинетическая устойчивость	Устойчива	Неустойчива, способна к осаждению

* Электрокинетический потенциал.

По дисперсности загрязнений большинство видов сточных вод являются полидисперсными, микрорегерогенными системами, которые содержат частицы с размером более 0,1 мкм, в отличие от золей, которые являются ультрамикрорегерогенными коллоидными системами с размером частиц от 0,1 мкм до 1 нм. По размеру частиц суспензии (эмульсии) подразделяются на грубые (диаметр частиц более 100 мкм), тонкие (100–0,5 мкм) и мути (0,5–0,1 мкм). Эмульсии в отличие от суспензий содержат более мелкие частицы и являются микрорегерогенными системами с размером преимущественно от 0,1 мкм до 10 мкм. Для эмульсий характерна коалесценция капель, которую можно предотвратить введением стабилизаторов.

Размеры и плотность некоторых дисперсных загрязнений, присутствующих в сточных водах, представлены в таблице 1.2.

Сточные воды, так же как и коллоидные системы, являются слабо концентрированными и свободнорегерогенными системами, поскольку частицы дисперсных загрязнений могут свободно перемещаться по всему объему

дисперсионной среды. В отличие от коллоидов суспензиям и эмульсиям не присуще молекулярно-кинетическое (броуновское) движение. Этим, в частности, объясняется более высокая по сравнению с суспензиями и эмульсиями седиментационная или кинетическая устойчивость коллоидов, т.е. способность дисперсных частиц противостоять силе тяжести.

Таблица 1.2. Плотность и дисперсность частиц некоторых загрязнений сточных вод [3–5]

Вид загрязнений	Плотность частиц, г/см ³	Диапазон размеров частиц, мкм
Нефтепродукты	0,8–1,1	0,01– 0,1 0,1–300
Каолин	2,4	0,1–0,3
Бентонит	2,4–2,6	0,5–5,0
Кварц	2,65–2,75	3–100 100–1000
Латекс полистирола, полиакрилата, полибутадиенстирола	1,02–1,1	0,1–5,0

Суспензии и эмульсии, в которых диффузия отсутствует, являются кинетически неустойчивыми системами, способными к осаждению (всплыванию) частиц при отстаивании. Поэтому дисперсность эмульсий и суспензий является определяющим фактором их седиментационной или кинетической устойчивости. Дисперсный состав загрязнений сточных вод некоторых видов представлен в таблице 1.3. С уменьшением размера частиц их седиментационная устойчивость повышается. Мерой кинетической устойчивости частиц является гидравлическая крупность (U_0), равная скорости осаждения (всплывания) частиц, которая может быть подсчитана по формуле:

$$U_0 = h / t, \text{ мм/с}, \quad (1.1)$$

где h – высота зоны отстаивания, мм;
 t – продолжительность отстаивания, с.

Таблица 1.3. Дисперсный состав загрязнений сточных вод некоторых видов

Размер частиц, мкм	Содержание частиц загрязнений в сточной воде, %			
	Морская нефтеперерабатывающая база	Автобаза	Окрасочное производство	Нефтеперерабатывающий завод
5–10	98	32	93	56
10–25	10	50	5	34
25–50	2	15	2	8
50–100	-	3	-	2

К общим свойствам эмульсий, суспензий и коллоидных систем относятся такие характеристики, как наличие развитой поверхности раздела фаз, наличие электрокинетического потенциала (ЭКП) на поверхности раздела, сольватация частиц, которые определяют агрегативную устойчивость дисперсной системы, т.е. способность сохранять начальную степень дисперсности частиц во времени.

Заряд на частицах дисперсной фазы, проявляющийся при электрофорезе, обусловлен наличием на ее поверхности двойного электрического слоя из ионов, возникающего либо в результате избирательной адсорбции одного из ионов электролита, находящегося в растворе, либо за счет ионизации молекул веществ на поверхности дисперсной фазы. В результате частицы заряжаются положительно или отрицательно, между ними действуют силы электростатического отталкивания, которые являются определяющим фактором агрегативной устойчивости суспензий или эмульсий [5–8].

Для частиц загрязнений сточных вод, которые в большинстве случаев заряжены отрицательно, электрокинетический потенциал (ЭКП) колеблется в пределах от 10 до 50 мВ и в среднем составляет 18–30 мВ. Для индивидуальных загрязнений, как правило, ЭКП выше, чем ЭКП загрязнений сточных вод, что обусловлено разнородностью состава сточных вод, который влияет на измеряемую среднюю величину ЭКП [9]. Подтверждением этого могут служить представленные в таблице 1.4 экспериментальные величины ЭКП частиц загрязнений сточных вод и суспензий кварца и каолина [10].

Таблица 1.4. Электрокинетический потенциал дисперсных загрязнений сточных вод некоторых производств и отдельных дисперсий [10].

Производство	ЭКП, мВ
Нефтеперерабатывающее	(–14) – (–18)
Картонно-бумажное	(–22) – (–26)
Картонно-рубероидное	(–23) – (–27)
Окрасочное производство	(–37) – (–39)
Лакокрасочное производство	(–27) – (–35)
Суспензия кварца	–39
Суспензия каолина	–31

Агрегативная устойчивость и длительность существования одноименно-заряженных дисперсных систем согласно теории ДЛФО (Дерягина, Ландау, Фервея, Овербека) является результатом действия сил электростатического отталкивания и силы межмолекулярного притяжения. На больших расстояниях между частицами действуют силы электростатического отталкивания, которые препятствуют сближению частиц под действием сил межмолекулярного притяжения. На меньших расстояниях между частицами действуют силы межмолекулярного притяжения, способствующие прочному сцеплению частиц и потере системой агрегативной устойчивости.

Второй причиной агрегативной устойчивости дисперсных систем может быть гидратация поверхности. Образование на поверхности частиц гидратных оболочек из молекул воды характерно для гидрофильных систем вследствие достаточно сильных взаимодействий с молекулами воды за счет химических сил или водородных связей. Для грубодисперсных гидрофобных систем, к которым относится большинство сточных вод, гидратация не является определяющим фактором агрегативной устойчивости дисперсной фазы и ею можно пренебречь.

При введении в систему ПАВ или высокомолекулярных соединений определяющими факторами агрегативной устойчивости дисперсной системы являются адсорбционно-солеватный (уменьшение межфазного натяжения при взаимодействии частиц дисперсной фазы со средой) и структурно-механический (образование на поверхности частиц пленок, обладающих упругостью и механической прочностью).

По экспериментальным данным [11] получено определенное критическое соотношение между количеством ПАВ и твердой фазы, при котором происходит полное диспергирование взвешенных веществ, равное 25–35. При значениях этого соотношения, равного 5–7, стабилизирующий эффект поверхностно-активных веществ не проявляется или является слабым. В присутствии микроколичеств ПАВ в сточной воде могут происходить самопроизвольные флокуляционные процессы за счет сорбции ПАВ на частицах дисперсной фазы и снижения заряда частиц. Особенно этот эффект проявляется при использовании ионогенных ПАВ.

Стабилизация эмульсий может происходить также в присутствии мельчайших твердых механических примесей. Тонкодисперсные взвеси с достаточно гидрофильной поверхностью (карбонат кальция, глина, кремнезем и др.) стабилизируют прямые эмульсии, к которым относятся большинство нефтесодержащих сточных вод. Гидрофильные твердые частицы прилипают к смолистым пленкам эмульгированной нефти и образуют прочную оболочку, препятствующую слиянию шариков нефти при столкновениях. При этом увеличивается количество эмульгированной нефти, не выделяющейся из сточных вод при длительном отстаивании. Так, при содержании в сточных водах нефтепромыслов около 800 мг/л взвешенных веществ, происходит стабилизация 20% нефти, содержащейся в сточной воде, независимо от ее состава и температуры [4].

В заключение следует отметить, что все рассмотренные коллоидно-дисперсные характеристики сточных вод в значительной степени определяют способность дисперсных загрязнений к коагуляции и флокуляции и должны учитываться при применении коагулянтов и флокулянтов.

1.2. Характеристика загрязняющих веществ [3, 5, 12–15]

Эффективность очистки сточных вод коагулянтами и флокулянтами определяется не только агрегативной и кинетической устойчивостью дисперсных загрязнений, которая была рассмотрена в предыдущем разделе, но

зависит от химических характеристик дисперсной фазы и растворенных органических и неорганических загрязнений. В данном разделе рассмотрены химические характеристики наиболее часто встречающихся нерастворимых и растворимых загрязнений сточных вод, которые могут оказывать влияние на выбор и эффективность применения коагулянтов и флокулянтов.

Из минеральных нерастворимых примесей, удаляемых с применением коагулянтов и флокулянтов, в сточных водах могут присутствовать минеральные частицы, представленные алюмосиликатами, оксидами, карбонатами, силикатами щелочных, щелочноземельных и тяжелых металлов. Из алюмосиликатов в сточных водах присутствуют глинистые минералы – бентонитовые (монтмориллонитовые) и каолиновые глины, гранит, слюды, полевые шпаты и др.

Каолин представляет собой природный алюмосиликат общей формулы $Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2 \cdot 2 H_2O$, имеет плотную структуру и не набухает в воде.

Бентонит – алюмосиликат, имеющий слоистую структуру, содержит обменные катионы Mg, Ca, Na и хорошо набухает в воде.

Гранит – природный минерал, который состоит из кристаллов кварца, SiO_2 , полевого шпата $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6 SiO_2$ и слюды. В состав слюды входят такие элементы, как Ca, Mg, Fe, H, Na, Al, Si, K.

Полудрагоценные и поделочные камни относятся к оксидам (корунд, кварц, халцедон, опалы), карбонатам – мрамор, малахит, мраморный оникс, фосфатам (бирюза), силикатам (хризолит, беррил, турмалин, гранат, родонит, нефрит).

Особенностью минеральных загрязнений сточных вод является наличие на их поверхности катионов кальция, магния, натрия, калия, алюминия, железа и т.д., а также силанольных групп $=SiOH$, гидроксидных групп, различных анионов, которые в значительной степени определяют механизм и эффективность применения реагентов [3, 15].

К органическим нерастворимым примесям, извлекаемым из сточных вод с применением коагулянтов и флокулянтов, относятся жиры, масла, нефтепродукты, волокна целлюлозы, полимерные синтетические смолы, лакокрасочные материалы, красители, угольные частицы и т.д.

Жиры растительного и животного происхождения, которые присутствуют в сточных водах пищевой, мясомолочной промышленности, представляют собой триглицериды полных эфиров глицерина и жирных кислот с числом атомов углерода от 4 до 2, не растворимые в воде.

К нефтепродуктам относят алифатические, алициклические и ароматические углеводороды, т.е. все продукты первичной переработки нефти (бензин, керосин и др.), парафины, смазочные и минеральные масла.

Целлюлоза, которая содержится в сточных водах картонно-бумажных, картонно-рубероидных заводов, представляет собой природный полимер с активными центрами, способными к образованию ковалентных, водородных и ван-дер-ваальсовых связей.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
ГЛАВА 1. Характеристика сточных вод	7
1.1. Коллоидно-дисперсные характеристики сточных вод	7
1.2. Характеристика загрязняющих веществ	10
1.3. Классификация сточных вод	15
1.3.1. Характеристика сточных вод, содержащих твердые минеральные и органические загрязнения	16
1.3.2. Характеристика сточных вод, содержащих эмульгированные загрязнения	19
1.3.3. Характеристика сточных вод, содержащих растворенные ионогенные вещества	23
1.3.4. Характеристики сточных вод, содержащих фториды, фосфаты, сульфиды	26
ГЛАВА 2. Ассортимент и состояние производства коагулянтов и флокулянтов	27
2.1. Виды коагулянтов и флокулянтов	27
2.2. Состояние производства коагулянтов	30
2.3. Состояние производства флокулянтов	46
ГЛАВА 3. Характеристики коагулянтов и флокулянтов	49
3.1. Характеристики коагулянтов	49
3.1.1. Товарные характеристики коагулянтов	49
3.1.2. Физико-химические характеристики сульфатов алюминия и железа	52
3.1.3. Физико-химические характеристики основных солей алюминия	55
3.1.4. Способы получения коагулянтов	56
3.2. Виды и свойства флокулянтов	68
3.2.1. Способы получения синтетических флокулянтов	68
3.2.2. Товарные характеристики флокулянтов	70
3.2.3. Низкомолекулярные флокулянты - полиэлектролиты	74
3.2.4. Высокомолекулярные флокулянты ..	76
3.2.5. Свойства водных растворов флокулянтов	82
3.2.5.1. Вязкостные свойства растворов флокулянтов	83
3.2.5.2. Электрокинетические свойства растворов флокулянтов	91
3.3. Виды и свойства композиционных реагентов	94

	3.3.1. Способы получения композиционных реагентов	95
	3.3.2. Композиционные коагулянты	96
	3.3.3. Композиционные флокулянты	99
	3.3.4. Коагулирующе-флокулирующие композиции	101
ГЛАВА 4.	Эффективность применения для очистки сточных вод коагулянтов, флокулянтов и композиционных реагентов на их основе	105
	4.1. Эффективность коагулянтов	105
	4.1.1. Эффективность сульфатов и хлоридов алюминия и железа	105
	4.1.2. Эффективность основных хлоридов и сульфатов алюминия	122
	4.1.3. Эффективность совместного применения коагулянтов и флокулянтов	131
	4.2. Эффективность флокулянтов	137
	4.2.1. Флокуляция минеральных загрязнений	138
	4.2.2. Флокуляция минеральных и твердых органических загрязнений	142
	4.2.3. Флокуляционная очистка нефтесодержащих сточных вод	146
	4.2.4. Флокуляционная очистка сточных вод, содержащих растворенные ионогенные загрязнения	155
	4.2.5. Флокуляционная очистка городских сточных вод	161
	4.3. Эффективность композиционных реагентов	163
ГЛАВА 5	Технология очистки сточных вод коагулянтами флокулянтами	176
	5.1. Технологические параметры коагуляционной и флокуляционной очистки сточных вод	176
	5.2. Технологические схемы и сооружения для коагуляционной и флокуляционной очистки сточных вод	188
	5.2.1. Реагентное хозяйство	190
	5.2.2. Интенсификация работы сооружений для коагуляционной и флокуляционной очистки сточных вод	192
	5.3. Системы контроля эффективности очистки сточных вод с применением реагентов	197
ГЛАВА 6.	Методология оптимизации коагуляционно-флокуляционной очистки сточных вод	202
	6.1. Алгоритм выбора реагента для коагуляционно-флокуляционной очистки сточных вод	207
	6.2. Оптимизация коагуляционно-флокуляционной технологии очистки сточных вод	211

ГЛАВА 7. Промышленный опыт применения коагулянтов и флокулянтов для очистки сточных вод	217
7.1. Технологические показатели эффективности применения коагулянтов	217
7.2. Технологические показатели эффективности применения флокулянтов	225
7.3. Технологические показатели эффективности применения композиционных реагентов	231
7.4. Экономические показатели эффективности применения коагулянтов и флокулянтов	232
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	235
ЛИТЕРАТУРА	237
Приложение 1. Методика пробного коагулирования	254
Приложение 2. Методика определения гидравлической крупности дисперсных загрязнений	260
Приложение 3. Методика расчета градиента скорости при механическом перемешивании	262
Приложение 4. Основные термины и понятия	265
Приложение 5. Применение современных реагентов (коагулянтов, флокулянтов и коагулирующих композиций) при очистке сточных вод	267

Научное издание

Степан Викторович Гетманцев

Игорь Алексеевич Нечаев

Людмила Васильевна Гандурина

ОЧИСТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД КОАГУЛЯНТАМИ И ФЛОКУЛЯНТАМИ

Компьютерная верстка: *И. Ясницкая*

Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*

Дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Сдано в набор 20.11.07.

Подписано к печати 15.01.08. Формат 60x90/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. 17 п.л. Тираж 1000 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511
тел., факс: (495)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>