

**Е.В. Алексеев**

# **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ФЛОТАЦИЕЙ**



Е. В. Алексеев

**ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ  
ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД  
ФЛОТАЦИЕЙ**



Издательство Ассоциации строительных вузов  
Москва  
2009

Р е ц е н з е н т ы:

заместитель директора по научной работе ГУП «МосводоканалНИИпроект»,  
доктор технических наук, профессор, академик Российской академии естественных наук *О.Г. Примин*;

руководитель сектора водоочистного оборудования ОАО «НИИ КВОВ»,  
кандидат технических наук, академик Российской жилищно-коммунальной академии *В.М. Корбельников*.

**Алексеев Е.В.**

Основы технологии очистки сточных вод флотацией: Монография, научное издание. – М.: Изд-во АСВ, 2009. – 136 с., ил.

ISBN 978-5-93093-648-3

Рассмотрены основы физико-химических взаимосвязей загрязняющих веществ в аквасистемах сточных вод. Приведены сведения о свойствах и способах получения газовых дисперсий для очистки сточных вод флотацией.

Особое внимание уделено взаимодействию газовых дисперсий с загрязняющими веществами на основе сорбционных представлений о флотационной очистке воды. Даны примеры инженерно-технологического оформления процессов очистки промышленных сточных вод флотацией. Приведены принципы технологического расчета флотационного оборудования. Книга содержит графические иллюстрации.

Материал книги ориентирован на специалистов в области исследования и разработки инженерных систем охраны водных ресурсов, промышленной экологии и экологических служб промышленных предприятий.

Сведения, представленные в книге, могут быть также полезными аспирантам, магистрантам и студентам высших учебных заведений, обучающимся по специальностям «Водоснабжение и водоотведение», «Инженерная защита окружающей среды».

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Среди множества технологий уменьшения загрязненности воды разделительные процессы обеспечивают наибольшую надежность и экологическую безопасность в инженерно-технологическом обеспечении чистоты природных вод и окружающей среды в целом.

Сегодня трудно представить область технологии кондиционирования воды, в том числе питьевой, где не применялось бы адсорбционно-пузырьковое разделение (АПР). Технологии АПР составляют основу многих процессов очистки сточных вод. Они широко используются для очистки сточных вод на предприятиях легкой, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей, пищевой, металлообрабатывающей и многих других отраслей промышленности [1–18].

В настоящее время технологии АПР в очистке сточных вод получили всеобщее признание и широкое распространение. Большая заслуга в этом принадлежит работам известных российских [19–24] и зарубежных ученых [25–31].

Методы очистки сточных вод с использованием технологий АПР универсальны для удаления загрязняющих веществ, находящихся в различных фазово-дисперсных состояниях. Во многих случаях это достигается без применения реагентов, что делает эти методы особенно привлекательными для установок малой производительности, например для очистки сточных вод моек автотранспорта, поверхностного стока и других.

В основе процессов адсорбционно-пузырькового разделения лежат явления физико-химических взаимодействий газовых дисперсий с извлекаемыми веществами. В отличие от других гравитационных разделительных процессов эффективность методов АПР мало зависит от седиментационных свойств загрязняющих веществ, что значительно расширяет область их применения.

Из всех процессов АПР в технологии очистки сточных вод наибольшее распространение получили флотация и пенное фракционирование. Флотация – один из видов адсорбционно-пузырькового разделения, основанный на формировании всплывающих агрегатов загрязняющих веществ с диспергированной газовой фазой (флококомплексов) и последующем их отделении в виде концентрированного пенного продукта (флотошлама). Принципиальное различие между флотацией и пенным фракционированием заключается в лимитирующих стадиях этих процессов. Эффективность флотационного процесса зависит от условий формирования флококомплексов и всплывания их на открытую поверхность, в то время как для пенного фракционирования принципиальным является скорость инверсии газовой фазы на открытой поверхности и отвод пенного продукта.

Методы очистки сточных вод с использованием флотационных технологий универсальны для извлечения загрязняющих веществ, находящихся в различных фазово-дисперсных состояниях. Вместе с тем реальная эффективность работы флотационных сооружений в каждом конкретном случае

зависит от принятых конструктивных и технологических решений при их создании, а также условий реализации процессов. Нередко, сведения об эффективности извлечения отдельных видов загрязняющих веществ, приводимые в описаниях конструкций и технологий очистки воды флотацией, как показывает практический опыт, не могут быть надежной основой для прогнозирования результатов их работы даже по указанным показателям.

Эффект извлечения веществ методами АПР и флотацией в частности, как уже отмечалось, есть результат взаимодействия двух систем: системы загрязняющих веществ и системы диспергированной газовой фазы (ДГФ). Поэтому одной из опорных колонн книги является изложение подхода к воде (природной и сточной) как к сложной взаимодействующей аквасистеме. Понимание сущности происходящих в ней взаимодействий загрязняющих веществ позволяет правильно выстроить всю технологическую последовательность их извлечения, включая достижение заданных лимитирующих показателей.

Следующая опорная колонна книги – изложение особенностей получения и технологических свойств диспергированной газовой фазы в воде. Это представляется важным, поскольку взаимодействие обеих систем происходит на их границе — поверхности ДГФ.

Естественным продолжением принятого подхода к написанию книги стало развитие представлений о взаимодействии рассматриваемых систем с позиций теории сорбции. Предложенные аналогии позволяют перенести изложение сущности флотационного извлечения загрязняющих веществ из эмпирической плоскости в расчетно-теоретическую, что стало третьей опорной колонной книги.

В книге использованы результаты исследований, конструкторских и теоретических работ, выполненных с участием автора в лаборатории физико-химических процессов очистки воды при кафедре водоотведения МГСУ.

Приведенные в книге сведения не исчерпывают всех аспектов технологии флотационной очистки сточных вод. Тем не менее, они могут быть полезны для анализа и синтеза технологических решений и инженерного оформления процессов очистки воды флотацией.

Автор выражает глубокую признательность академику Российской академии естественных наук, доктору технических наук, профессору О.Г. Примину и академику Российской жилищно-коммунальной академии, кандидату технических наук В.М. Корабельникову за внимание, полезные замечания и рекомендации, сделанные при рецензировании рукописи. Особую признательность автор приносит коллегам по кафедре водоотведения МГСУ и сотрудникам издательства Ассоциации строительных вузов РФ за внимание и поддержку.

Критические замечания и пожелания читателей, направленные на улучшение книги, будут приняты с благодарностью.

*Е.В. Алексеев*

## Глава 1

### ФАЗОВО-ДИСПЕРСНОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АКВАСИСТЕМАХ СТОЧНЫХ ВОД

Любая вода, содержащая другие вещества, это система взаимодействий веществ между собой и водой. В зависимости от свойств веществ и характера их взаимодействий формируется комплекс признаков, характеризующих динамическое состояние этой системы. Учитывая, что все компоненты таких систем находятся в окружении и взаимодействии с водой, представляется правильным определить их как *аквасистемы*. Природные и сточные воды в полной мере соответствуют определению аквасистем. Как любая динамическая система, аквасистема существует во времени и может быть стабильной, эволюционной или регрессионной. Понятие аквасистемы существенно расширяет методологию технологического анализа при разработке процессов очистки вод.

В соответствии с определением *сточные воды* — это *аквасистемы*, представляющие собой смеси веществ разного происхождения, находящиеся в постоянном взаимодействии и взаимосвязи друг с другом и водой одновременно. При этом существенное влияние на технологические свойства аквасистемы сточных вод оказывают условия формирования, включая период пребывания их в отводящих сетях. Следовательно, вода, содержащая примеси, находящиеся в разных фазово-дисперсных состояниях, не может быть технологически оценена в достаточной мере только по данным санитарно-химического анализа. Не менее важно влияние процессов, происходящих в ней. Например, часто для сточных вод с близкими значениями показателей не достигается одинаковая степень очистки идентичными технологическими приемами. В рамках понятия аквасистемы это объясняется разными процессами взаимодействия загрязняющих веществ или разными их стадиями.

Важным показателем аквасистем является их стабильность, которую можно оценивать по таким видам, как химическая, физико-химическая и биологическая. Стабильность дисперсных загрязняющих веществ в аквасистеме характеризуется двумя видами устойчивости: седиментационной и агрегативной.

В общем случае сточные воды необходимо рассматривать как вид нестабильных аквасистем в отличие от большинства видов

стабильных аквасистем природных вод. Изучение свойств и систематизация видов аквасистем природных и сточных вод разного происхождения позволяет создавать эффективные технологии их очистки [32].

### **1.1. Формирования гетерофазных аквасистем сточных вод**

**Поверхностное натяжение на границах раздела фаз.** Все стадии процессов АПР происходят непосредственно на границах раздела фаз «жидкость—газ», как в объеме обрабатываемой воды, так и на ее открытой поверхности. Состояние молекул поверхностного слоя жидкости отличается от их состояния в объеме. В поверхностном слое они взаимодействуют с молекулами двух разных фаз, в то время как в объеме молекулы окружены со всех сторон такими же молекулами. Поэтому межмолекулярные силы в поверхностном слое не уравновешены и направлены в сторону фазы, с молекулами которой взаимодействие сильнее. Результирующая этих сил стремится сократить поверхность раздела фаз, обуславливая величину поверхностного натяжения  $\sigma$ .

Присутствующие в воде ПАВ не только агрегируют в объеме раствора, но и самопроизвольно концентрируются с выделением тепла в поверхностном слое, что приводит к частичной или полной замене молекул воды на границе раствора с воздухом адсорбированными дифильными молекулами. Замещение молекул на поверхности растворителя менее полярными молекулами, увеличение в поверхностном слое межмолекулярных расстояний вследствие быстрого и обратимого обмена молекулами между поверхностью и объемом обуславливают основные причины понижения поверхностного натяжения воды в присутствии ПАВ. Иллюстрацией поверхностной активности некоторых веществ служат изотермы поверхностного натяжения, на которых можно отметить три участка: с ростом концентрации  $C$  в самом начале происходит постепенное снижение  $\sigma$ , затем оно резко падает, а в конце значение  $\sigma$  практически не изменяется (рис. 1.1).

*Первый участок* обуславливается адсорбцией молекул ПАВ в поверхностном слое с достижением предельной адсорбции, когда их концентрация в поверхностном слое может на несколько порядков превышать концентрацию в объеме, и параллельным снижением поверхностного натяжения воды с 72,7 до 30 мН/м.

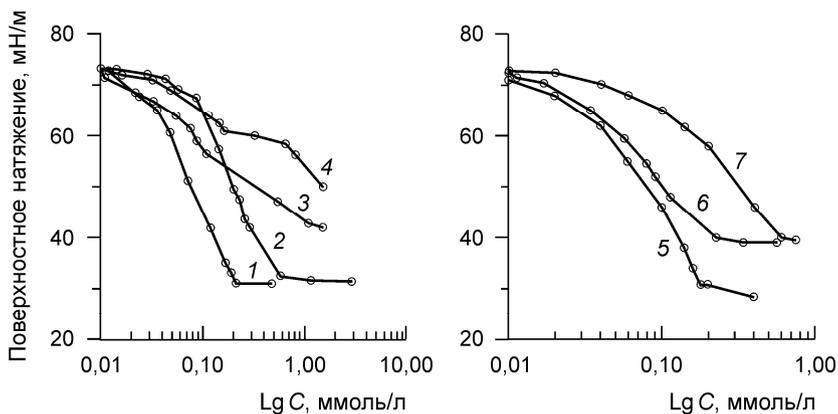


Рис. 1.1. Влияние ПАВ на поверхностное натяжение воды:

анионные: 1 — дуопон-30; 2 — сульфолон НП-3; катионные: 3 — выравниватель А; 4 — алкамон ОС-2; неионогенные: 5 — синтанол ДС-10; 6 — препарат ОС-20; 7 — превоцел WOF-100

Поверхностную концентрацию определяют по тангенсу угла наклона  $\Delta\sigma/\Delta C$  при концентрации  $C_i$  в точке касания касательной к кривой зависимости  $\sigma = f(C)$ .

*Второй участок* зависимости  $\sigma = f(C)$  связан с быстрым обменом молекулами ПАВ между предельно насыщенным поверхностным слоем и образующимися мицеллами и ассоциатами, поскольку период пребывания молекул в сферической мицелле очень мал.

*Третий участок* характеризует поверхностную активность мицелл, а излом между вторым и третьим участком соответствует ККМ.

В общем случае поверхностная активность определяется работой адсорбции и потому зависит от природы ПАВ, концентрации, pH среды, температуры, электрического потенциала поверхности. Критерием поверхностной активности является изменение  $(d\sigma/dC)$ .

**Смачивание поверхности дисперсных частиц.** Межмолекулярное взаимодействие на поверхностях раздела фаз в системах «жидкость—твердое тело» или двух несмешивающихся жидкостей приводит к явлению смачивания. Эффект смачивания определяется соотношением внутримолекулярных сил жидкости (*когезией*) и межмолекулярных сил между взаимодействующей жидкостью и твердым телом, другой жидкостью или газом (*адгезией*). Степень взаимодействия молекул на поверхности раздела двух фаз оценива-

ется работой адгезии  $W_a$ , относимой к единице площади образованной (разрываемой) межфазной поверхности.

Для систем «жидкость—жидкость», характерных при наличии в сточных водах загрязняющих веществ виде малорастворимых в воде жидкостей,  $W_a$  может быть определена по уравнению Дюпре:

$$W_a = \sigma_{1ж} + \sigma_{2ж} - \sigma_{12ж}, \quad (1.1)$$

где  $\sigma_{1ж}$ ,  $\sigma_{2ж}$  — поверхностное натяжение жидкостей на границе с воздухом или другим газом;

$\sigma_{12ж}$  — межфазное натяжение несмешивающихся жидкостей.

Твердая дисперсная фаза загрязняющих веществ в воде формирует систему «жидкость—твердое тело», для которой справедливо аналогичное уравнение:

$$W_a = \sigma_ж + \sigma_т - \sigma_{тж}, \quad (1.2)$$

где  $\sigma_ж$  и  $\sigma_т$  — поверхностное натяжение на границе жидкость—газ и жидкость—твердое тело;

$\sigma_{тж}$  — межфазное поверхностное натяжение.

Взаимодействие между фазами также проявляется при растекании жидкости по поверхности, которое при достижении равновесия поверхностных сил на границе фаз жидкость—твердое тело—газ оценивают краевым углом смачивания  $\theta$  по уравнению Юнга:

$$\sigma_т = \sigma_{жг} + \sigma_{жт} \cos \theta. \quad (1.3)$$

Объединение уравнений Дюпре и Юнга приводит к уравнению

$$W_a = \sigma_{жг}(1 + \cos \theta). \quad (1.4)$$

В случае полного смачивания ( $\theta = 0^\circ$ ) энергия адгезии  $W_a$  достигает максимальной величины. Если  $\theta = 180^\circ$ , адгезия отсутствует, соответственно  $W_a = 0$ .

При поступлении в сточные воды ПАВ в структуре межфазных взаимодействий происходит ряд изменений, таких как образование адсорбционных слоев, изменение равновесия поверхностных сил и углов смачивания. Так, в сточной воде, содержащей дисперсию твердых частиц, покрытых пленкой масел, происходит уменьшение свободной энергии за счет уменьшения межфазного натяжения на границе масло—вода, уменьшение поверхности, покрытой маслом, и угла смачивания твердой поверхности водой. Одновременно угол смачивания маслами поверхности твердой частицы увеличивается, и

масла отделяются от поверхности твердых частиц. В результате этого в аквасистеме сточной воды появляется еще одна фаза — жидкая, образующая новую дисперсную фазу, а твердая — изменяет свои физико-химические свойства (рис. 1.2).

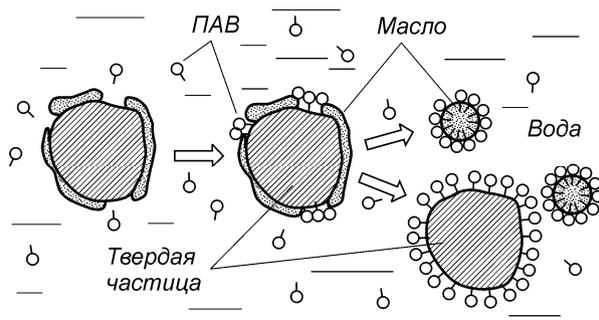


Рис. 1.2. Изменение структуры аквасистемы сточных вод при поступлении в них ПАВ

Фактор смачивания межфазных поверхностей загрязняющих веществ зависит от концентрации ПАВ в сточных водах. В наибольшей мере он проявляется в области ККМ. Наличие в сточных водах электролитов увеличивает смачивающее действие ионных ПАВ, что обусловлено влиянием противоионов.

В целом смачивающее действие способствует проникновению углеводородных частей молекул поверхностно-активного вещества в структуру дисперсных загрязняющих веществ и снижению поверхностной энергии на границе межфазных контактов.

**Солюбилизация органических веществ.** При одновременном присутствии в сточных водах органических веществ, находящихся в разном фазово-дисперсном состоянии, возникает обратимый процесс растворения одних веществ в мицеллах других. Наиболее часто роль солюбилизатора в сточных водах играют ПАВ, формируя солюбилизаты таких видов малорастворимых в воде веществ, как нефтепродукты, жиры, растворители, смолы, некоторые классы красителей и другие вещества органического происхождения. Солюбилизаты — это термодинамически устойчивые изотропные прозрачные или опалесцирующие жидкости [33]. Солюбилизированную систему упрощенно можно рассматривать как тройную: [вода]—[ПАВ]—[углеводород]. В структурах аквасистем сточных вод могут также

присутствовать солюбилизованные комплексы, в состав которых входит микродисперсия минеральной твердой фазы.

В зависимости от структуры солюбилизата в процессе участвуют различные связывающие центры мицеллы, внутри которой солюбилизуемые молекулы принимают определенный вид ориентации (рис. 1.3).

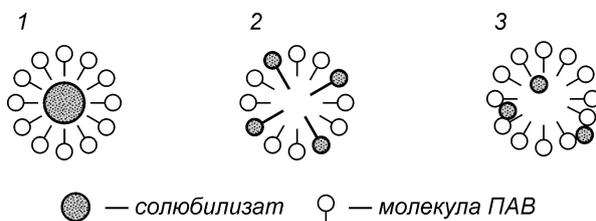


Рис. 1.3. Схемы солюбилизаторов в мицеллярных аквасистемах:

1 — гидрофобный неполярный солюбилизат; 2 — дифильный полярный солюбилизат; 3 — положения солюбилизата в мицелле неионогенного ПАВ

Солюбилизирующее действие ионных ПАВ на загрязняющие вещества возрастает с уменьшением ККМ. Существенным эффектом солюбилизации загрязняющих веществ обладают и неионогенные ПАВ. Малополярные вещества солюбилизируются активнее, чем углеводороды. В реальных аквасистемах сточных вод солюбилизация не достигает равновесия в значительной мере вследствие влияния солей жесткости. Поэтому влияние солюбилизации на процессы АПР не однозначно.

### **Суспендированное состояние твердой фазы в сточных водах.**

Твердые микрочастицы загрязняющих веществ в сточных водах находятся в виде суспензии, способной или нет к коагуляции и сорбции на поверхности диспергированной газовой фазы (ДГФ). Относительная устойчивость диспергированного твердого вещества в жидкой среде зависит от соотношения сил молекулярного притяжения Ван-дер-Ваальса и отталкивания, обусловленных наличием вокруг частиц двойного электрического слоя. Энергетический барьер, обеспечивающий устойчивость дисперсии, возникает при значении электрического потенциала двойного слоя, равного  $\approx 20$  мВ. Если энергетический барьер, создаваемый силами отталкивания, становится меньше тепловой энергии, выделяемой при агрегации частиц, то происходит коагуляция суспензии с выделением твердой фазы в осадок.

С позиций санитарно-химического анализа сточных вод содержание твердой фазы в суспензиях описывается показателем «взвешенные вещества». Термодинамическая неустойчивость оседающей части взвешенных веществ обусловлена избытком суммарной поверхностной энергии этих частиц. Присутствие ПАВ в сточных водах значительно увеличивает устойчивость взвешенных веществ к агрегации, оказывая на них суспендирующее действие. Это объясняется увеличением толщины двойного электрического слоя на поверхности частиц при адсорбции ПАВ, уменьшением поверхностного натяжения и ростом затрат энергии на разрушение образующихся поверхностных пленок.

Суспендирующее действие ПАВ снижает долю оседающих веществ в сточных водах, препятствует их коагуляции, удерживает в объеме воды высокие концентрации взвешенных веществ, препятствует их адсорбции на поверхности ДГФ. В наибольшей мере этими свойствами обладают дифильные вещества с короткими алифатическими цепями и разветвленной структурой.

**Эмульгированное состояние жидкой фазы загрязняющих веществ.** Эмульсии — дисперсные системы, образованные двумя несмешивающимися жидкостями, находятся в термодинамически неустойчивом состоянии. Различают прямые эмульсии и обратные. К первым относят такие, в которых дисперсионной средой является вода, а дисперсной фазой — углеводороды, ко вторым — те, в которых дисперсионной средой являются углеводороды. Таким образом, сточные воды, содержащие жидкие углеводородные загрязняющие вещества, можно отнести к прямым эмульсиям, а пенный продукт от процессов флотации — к обратным.

Эмульсии обладают значительной поверхностной энергией, поскольку имеют развитую межфазную поверхность. Это обусловлено очень малым диаметром (0,1...100 мкм) частиц дисперсной фазы. Агломерация частиц (слияние) уменьшает свободную энергию, что приводит к разрушению эмульсии и расслаиванию составлявших ее жидкостей — коалесценции.

Аквасистема сточных вод может содержать эмульсии как компоненты, поступившие с потоком загрязняющих веществ, так и возникшие при движении воды в системе водоотведения.

Как правило, устойчивость эмульсий в воде «обеспечивается» стабилизирующим действием ПАВ, которые содержатся либо в составе эмульсионных сточных вод, либо в других потоках сточных

вод. Эмульгирующее действие обусловлено электрическим и структурно-механическим факторами. При адсорбции ионов ПАВ на поверхности частиц дисперсной фазы концентрируются одноименные электрические заряды, препятствующие коалесценции. Кроме этого вокруг частиц возникают структурированные вязкие пленки из адсорбированных ПАВ, которые также способствуют стабилизации эмульгированных загрязняющих веществ.

Теоретически устойчивость эмульгированных загрязняющих веществ должна наступать при полном покрытии ПАВ поверхности межфазной границы, т. е.  $a_i \rightarrow a_\infty$ . Однако реально стабилизация проявляется уже при  $a_i/a_\infty \geq 0,9$ . Если в сточных водах присутствует несколько видов ПАВ с длинными и короткими цепями, может наблюдаться синергизм в их эмульгирующем действии.

**Коллоидная защита дисперсной системы.** Характерной особенностью состояния растворов полимеров и ПАВ в воде является способность образовывать коллоидную структуру лиофильного типа. Сольватная оболочка мицеллы лиофила имеет диффузное строение. Это значит, что первый молекулярный слой воды, прилежащий к мицелле, закреплен наиболее прочно. Он достаточно плотен и состоит из предельно поляризованных молекул воды. В отличие от лиофобного коллоида, имеющего в диффузной части ионы или заряженные частицы, которыми обусловлена его стабилизация, например, золя неорганического коагулянта, лиофил стабилизирован молекулами воды. Этим объясняется его высокая устойчивость при изменении pH, температуры и других традиционных факторов, вызывающих коагуляцию лиофобных зелей. Вследствие высокой собственной агрегативной устойчивости лиофил ПАВ при совместном присутствии в воде стабилизирует лиофобную дисперсную систему, обуславливая коллоидную защиту последней, вплоть до возникновения гелеобразной структуры. Особенно сильно проявляется стабилизирующее действие ПАВ, способных образовывать на поверхности частицы двухмерную пленку. Присутствие ПАВ в воде значительно снижает эффективность коагулирования дисперсной системы, вынуждая применять высокие дозы реагентов, а в некоторых случаях делает его полностью неприемлемым. В то же время лиофилы способны к формированию флотокомплексов с ДГФ, что благоприятно отражается на эффективности процессов очистки воды. Важно отметить, что целенаправленное применение механизма коллоидной защиты позволяет использовать процессы АПР для решения задач селективной очистки сточных вод.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Список основных обозначений .....	5
<b>Глава 1. Фазово-дисперсное состояние загрязняющих веществ в аквасистемах сточных вод .....</b>	<b>7</b>
1.1. Формирования гетерофазных аквасистем сточных вод .....	8
1.2. Особенности взаимодействия загрязняющих веществ с диспергированной газовой фазой .....	21
<b>Глава 2. Технология получения газовой дисперсии в воде .....</b>	<b>32</b>
2.1. Барботажное получение газовой дисперсии .....	33
2.2. Гидродинамическое диспергирование газа .....	35
2.3. Получение газовой дисперсии гидромеханическим диспергированием.....	38
2.4. Получение ДГФ из пересыщенных газовых растворов.....	41
2.5. Электрохимическое получение ДГФ .....	45
2.6. Формирование ДГФ при протекании реакций, сопровождающихся выделением газов .....	53
<b>Глава 3. Особенности структуры потока диспергированной газовой фазы во флотационной камере .....</b>	<b>55</b>
3.1. Технологические показатели диспергированной газовой фазы .....	55
3.2. Формирование структуры диспергированной газовой фазы во флотационной камере .....	65
3.3. Влияние формы флотационной камеры на закономерности движения диспергированной газовой фазы.....	74
3.4. Влияние формы камеры флотации на эффективность извлечения загрязняющих веществ .....	79
<b>Глава 4. Основы технологического конструирования и расчета флотаторов .....</b>	<b>82</b>
4.1. Технологические параметры процесса флотации.....	82
4.2. Технологические схемы организации движения материальных потоков во флотационных установках .....	90
4.3. Основы технологического расчета флотационных установок и сооружений .....	102
4.3.1. Расчет количества и показателей диспергированной газовой фазы.....	103
4.3.2. Основы расчета устройств для получения ДГФ .....	104
4.3.3. Построение и анализ теоретических областей флотационного разделения.....	107
4.3.4. Определение геометрических размеров флотационной камеры .....	107
<b>Глава 5. Технологические процессы очистки сточных вод с применением флотации .....</b>	<b>112</b>
5.1. Основное технологическое оборудование для очистки сточных вод флотацией .....	112
5.2. Технологическое оформление процессов очистки сточных вод .....	119
5.2.1. Безреагентные методы применения флотации.....	121
5.2.2. Реагентные методы подготовки воды к флотационному разделению .....	126
Список литературы.....	131

Монография, научное издание

**Евгений Валерьевич Алексеев**

# ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ФЛОТАЦИЕЙ

Редактор: *Г. М. Мубаракишина*  
Компьютерная верстка: *В. Ю. Алексеев*  
Компьют. дизайн обложки: *Н. С. Романова*

Диапозитивы предоставлены издательством

Подписано в печать 20.07.2009. Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бум. офсетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.  
Усл. 8,5 печ.л. Тираж 500 экз. Заказ №

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)  
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации: оф. 348 (КМК)  
тел., факс: (495) 183-56-83  
<http://www.iasv.ru>, e-mail: [iasv@mgsu.ru](mailto:iasv@mgsu.ru)