**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации
и технической оценки соответствия в строительстве»**

Методическое пособие

КЛАССИФИКАТОР ТОНКОСЛОЙНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ НАРУЖНЫХ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Москва 2015

gost.e-ecolog.ru

Методическое пособие разработано авторским коллективом специалистов НИИСФ РААСН под руководством Д.Б. Фрога.

Содержание

Аннотация 5
1. Область применения..... 9
2. Общие положения 11
3 Классификатор с основными расчётными параметрами 13
3.1 Основные классификационные признаки тонкослойных модулей 25
3.2 Методика расчёта конструктивных параметров тонкослойных модулей для новых сооружений 26
3.3 Расчёт тонкослойного модуля с учётом сноса осадка 28
3.4 Методика расчёта конструктивных параметров тонкослойных модулей при реконструкции существующих сооружений 30
3.5 Технико-экономическое обоснование применения нормируемых параметров и методик расчёта 35
4 Рекомендации по конструированию, проектированию, строительству и эксплуатации тонкослойных модулей 39
Приложения 43
Список использованных источников 47

Аннотация

За последние 20-25 лет на множестве объектов водопроводно-канализационного хозяйства при строительстве новых, реконструкции и расширении водоподготовительных очистных сооружений (отстойники, осветлители и другие сооружения, использующие принцип гравитационного выделения взвешенных веществ из обрабатываемой воды) проектировщиками запроектировано и реализовано множество разнообразных по конструкции тонкослойных модулей (блоков).

Тонкослойные модули и аппараты на их основе выпускаются во многих передовых странах (Швеция, США, Великобритания и др.) в трёх модификациях: прямоточные, противоточные и с перекрёстной схемой. Применение этих аппаратов сокращает занимаемую площадь от 50 до 90% и обеспечивает в 3–5 раз увеличение удельной производительности по осветлённой воде.

В работе использованы материалы научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ организаций, внёсших наиболее значимый вклад в создание полезных моделей, опытных образцов, «пилотных» установок, методик и рекомендаций, а так же математических моделей для расчёта тонкослойных модулей (элементов) и сооружений с их использованием.

В результате изучения ранее созданных методических пособий и опубликованных данных научных исследований можно констатировать, что наиболее значимый научно-практический вклад в развитие тематики тонкослойных модулей в РФ внесли следующие организации: ПГУПС (ЛИИЖТ); НИИ КВОВ АКХ им. К. Д. Памфилова; ЗАО «ЭКОХОЛДИНГ»; ЗАО «Гормашэкспорт»; МГСУ; АО НИИ ВОДГЕО; АзНИИ водных проблем; АО «Институт МосводоканалНИИпроект»; ВНПОбумпром; ЦСА г. Санкт-Петербурга; ООО «НПФ МОЛ-ОРТОС» и др.

Работа проводилась в рамках государственного задания на оказание услуг (выполнение работ) Федерального автономного учреждения «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве» на 2015 год по реализации комплекса мероприятий по развитию

нормативной технической и научной базы в области строительства с целью повышения уровня безопасности людей в зданиях и сооружениях в соответствии с требованиями Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (с изменениями и дополнениями), а так же Водного кодекса Российской Федерации от 03.06.2006 г. № 74-ФЗ, ФЗ РФ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ, ФЗ РФ «О водоснабжении и водоотведении» от 17.12.2011 г. № 416-ФЗ.

Целью разработки методического материала по теме: «Разработка классификатора тонкослойных элементов (модулей) для сооружений водоснабжения» является методическое сопровождение сводов правил: СП 31.13330.2012. «СНиП 2.04.02-84* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» и СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85».

Применение настоящих методических материалов даёт проектировщику исчерпывающий перечень требований, заложенных в строительных нормах и правилах для более грамотного и рационального проектирования в соответствии с положениями, заложенными в нормах.

В работе проведён анализ состояния исследуемой проблемы, научно-технической, нормативной, методической базы, затрагивающей научно-техническую проблему, в том числе обработаны результаты патентных исследований. Создан классификатор тонкослойных модулей, разработаны основные допустимые расчётные параметры.

Разработаны теоретически обоснованные методики расчёта исследуемых конструкций сооружений, оборудованных тонкослойными модулями, в том числе методика расчёта конструктивных параметров тонкослойных модулей для новых сооружений и методика расчёта конструктивных параметров тонкослойных модулей при реконструкции существующих сооружений.

Сформулированы основные технологические, конструктивные и эксплуатационные рекомендации необходимые для качественного конструирования, проектирования, строительства и эксплуатации сооружений,

оборудованных тонкослойными модулями.

В работе определены расчётные и допустимые граничные условия технологических процессов, даны рекомендации по применению различных материалов.

Разработчиками представлено технико-экономическое обоснование применения нормируемых параметров и методик расчёта. Приведена методика и пример расчёта экономического эффекта от применения тонкослойных модулей.

Применение тонкослойных модулей является наиболее экономичным, а в ряде случаев и единственным решением при реконструкции действующих отстойных сооружений различного типа. При этом реконструкция сооружений может быть проведена в кратчайшие сроки без снижения производительности.

Применение методического пособия позволяет повысить качество выполняемых проектных работ, сократить сроки и снизить стоимость проектирования за счёт использования типовых единых практических подходов к выполнению работ на основе унифицированных методик и технологий, а также станет основой для проведения независимых экспертных оценок выполненных работ, что, в свою очередь, приведёт к снижению рисков возникновения аварийных ситуаций и повышению безопасной эксплуатации строительных объектов.

Выводы:

Применение принципа тонкослойного отстаивания перспективно при реконструкции действующих отстойников различного типа с целью увеличения их производительности. Технико-экономическая оценка разработанных с использованием тонкослойных модулей схем для нового строительства и реконструкции отстойников доказала безусловную экономическую целесообразность их использования в отрасли.

Применение тонкослойных модулей является наиболее экономичным, а в ряде случаев и единственным решением при реконструкции действующих отстойных сооружений различного типа. При этом реконструкция сооружений может быть проведена в кратчайшие сроки без снижения производительности.

При стремительно растущей стоимости городских земель или при их отсутствии расширение существующих водоподготовительных станций без применения технологии тонкослойного отстаивания практически невозможно.

В настоящее время СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» допускает проектирование новых отстойников (осветлителей) не оборудованных тонкослойными модулями, хотя необходимость устройства тонкослойных модулей очевидна. Необходимо включить в СП 31.13330.2012 требование, подчёркивающее обязательность применения тонкослойных модулей при реконструкции (модернизации) и новом строительстве отстойников и осветлителей всех типов.

1. Область применения

Положения методического пособия предназначены для широкого круга специалистов отрасли водоснабжение, чья деятельность связана с технологиями водоподготовки для водоснабжения населения и предприятий, в том числе:

- проектных организаций;
- государственных и негосударственных органов экспертизы;
- надзорных служб и органов защиты прав потребителей;
- органов лицензирования и сертификации;
- разработчиков и поставщиков технологического оборудования, аппаратов и материалов;
- экологических служб предприятий;
- организаций водопроводно-канализационного хозяйства.

Методическое пособие в виде классификатора тонкослойных элементов (модулей) с методиками их расчёта предназначено дополнять свод правил СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» и оказывать помощь проектировщикам при проектировании новых и реконструкции существующих сооружений водоснабжения (водоподготовки), основанных на седиментационном (флотационном) принципе очистки воды, в том числе для:

- отстойников всех типоразмеров и систем включая песколовки;
- осветлителей и сепараторов;
- флотаторов и нефтеотделителей.

Пособие предназначено так же для специалистов, инженеров и технического персонала водоканалов или других организаций, эксплуатирующих сооружения водопровода и канализации и заинтересованных в повышении эффективности работы сооружений и снижении эксплуатационных затрат.

Методические материалы предназначены для специалистов проектно-изыскательских и строительных организаций, учреждений и служб Заказчиков (Инвесторов) и других заинтересованных организаций отрасли водоснабжения, с

целью обеспечения их организационно-методическими материалами, которые позволяют разрабатывать и применять высокоэффективные технологические решения в процессе проектирования сооружений, обеспечивающие качество, долговечность и конкурентоспособность этих объектов.

Настоящее методическое пособие устанавливает обязательные требования, которые должны соблюдаться при проектировании вновь строящихся и реконструируемых сооружений водоснабжения (водоподготовки), а так же формулирует допустимые диапазоны нормируемых технологических параметров для указанных сооружений.

Методики расчётов, представленные в данном пособии, могут быть использованы высшими учебными заведениями в учебном процессе для студентов специальностей «Водоснабжение и Водоотведение».

Методическое пособие «Классификатор тонкослойных модулей для наружных сетей водоснабжения» предназначено обеспечить реализацию комплекса мероприятий по развитию нормативной технической и научной базы в области строительства с целью повышения уровня безопасности людей в зданиях и сооружениях в соответствии с требованиями Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Данное методическое пособие может применяться для расчёта сооружений канализации с учётом специфики работы канализационных сооружений (песколовок, первичных и вторичных отстойников), работающих в условиях высоких концентраций микрофлоры, интенсивно закрепляющейся на поверхностях элементов тонкослойных модулей и тем самым нарушающей их нормальное функционирование.

2. Общие положения

Основной задачей реализации комплекса мероприятий по развитию нормативной технической и научной базы в области строительства с целью повышения уровня безопасности людей в зданиях и сооружениях в соответствии с требованиями Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» является разработка, актуализация и гармонизация нормативных технических документов в сфере проектирования и строительства.

Основные нормативные документы, определяющие и регламентирующие в настоящее время сферу водоснабжения и канализации СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84* и СП 32.13330.2012 «Канализация. Наружные сети и сооружения» Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 лишь вкратце упоминают о тонкослойных модулях и приводят общий для всех типов тонкослойных модулей расчёт по нагрузке на квадратный метр поверхности.

Отсутствие у проектировщиков чётких предписаний и исчерпывающего набора рекомендаций по выбору, проектированию и расчёту тонкослойных модулей приводит к типичным ошибкам, которые зачастую сводят к нулю заложенную проектом эффективность и все капитальные затраты Заказчиков (Инвесторов) при реконструкции объектов водоснабжении и канализации.

Классификатор использует международную систему единиц СИ в соответствии с ГОСТ 8.417-2002 «Государственная система обеспечения единства измерений»: расходы – в $м^3$/ч, скорость течения воды в зоне тонкослойных модулей – в мм/с, гидравлическая крупность – в мм/с, давление – в паскалях (Па), углы наклона – в градусах (°), смоченный периметр – в см, площадь живого (поперечного) сечения – в $см^2$, кинематический коэффициент вязкости – в $си^2$/с, температура – в градусах Цельсия (°С), размеры аппаратов – в мм.

Классификатор разработан с учётом:

- действующего Федерального законодательства РФ;

- нормативно-методической базы, регламентирующей конструирование аппаратов;

- нормативно-методической базы, регламентирующей проектирование систем водоснабжения (водоподготовки).

Повсеместному внедрению тонкослойных модулей для отстойников препятствует отсутствие обобщающего руководства с изложением особенностей, принципа действия, устройства и расчёта этих сооружений и методических основ применения их на водах различного состава. Таким образом, назрела необходимость обобщения накопленного практического опыта и научных знаний по части тонкослойного отстаивания с целью создания методического пособия, являющегося элементом сводов правил и имеющего статус «обязательного». В дополнение к этому необходимо включение рекомендаций, которые должны быть учтены проектировщиками в проектной документации для обеспечения на протяжении проектного срока службы бесперебойной эксплуатации сооружений оснащённых тонкослойными модулями.

Применение принципа тонкослойного отстаивания перспективно при реконструкции действующих седиментационно-флотационных сооружений и сепараторов различного типа с целью увеличения их производительности. Технико-экономическая оценка разработанных с использованием тонкослойных модулей схем для нового строительства и реконструкции отстойников доказала безусловную экономическую целесообразность их использования в отрасли.

Применение тонкослойных модулей является наиболее экономичным, а в ряде случаев и единственным решением при реконструкции действующих отстойных сооружений различного типа. При этом реконструкция сооружений может быть проведена в кратчайшие сроки без снижения проектной производительности сооружений.

3. Классификатор с основными расчётными параметрами

Методический материал в виде классификатора тонкослойных модулей (далее ТМ) предназначен дополнять указанные своды правил и оказывать помощь проектировщикам при проектировании новых и реконструкции существующих очистных сооружений водоснабжения (водоподготовки), основанных на седиментационном (флотационном) принципе очистки воды, в том числе для:

- отстойников всех типоразмеров и систем включая песколовки;
- осветлителей и сепараторов;
- флотаторов и нефтеотделителей.

В классификаторе приведены основные принципы проектирования и усовершенствованные методики расчёта основных параметров сооружений, оборудованных тонкослойными модулями.

Поскольку в современных отстойниках используется традиционный метод осветления обрабатываемой воды посредством гравитационного осаждения коагулированных примесей, разработчиками сформулирован перечень основных мероприятий по интенсификации отстойников. Для отстойников без встроенных камер хлопьеобразования по степени значимости мероприятия можно выстроить следующим образом:

1. Применение тонкослойных модулей;
2. Совершенствование систем удаления осадка (с автоматизацией данного процесса);
3. Модернизация систем рассредоточенного водосбора;
4. Организация инженерных мероприятий по выравниванию градиентов скорости и температуры потока по сечению отстойника и оптимизация распределения воды в объёме сооружения.

Внедрение указанных мероприятий по отдельности или в сочетании друг с другом даёт гарантированный положительный эффект, что подтверждено на практике на многочисленных объектах.

Посредством применения тонкослойного отстаивания решается проблема подавляющего большинства водоподготовительных станций - не эффективно организованный процесс коагуляции, связанный с множеством причин: не оптимальные дозы реагентов, плохое смешение реагентов, не верная последовательность введения реагентов, некачественные реагенты, низкая температура воды, не оптимальные гидравлические условия в сооружениях хлопьеобразования, морально устаревшее оборудование, отсутствие автоматизированных систем управления процессами, ошибки и/или некомпетентность персонала и т.д. Перечисленные факторы неизбежно влекут неудовлетворительное хлопьеобразование с получением в объёме потока неплотных мелких хлопков коагулированных примесей с малой гидравлической крупностью. Примеси не успевают за расчётное время пребывания в отстойнике опуститься на дно отстойника и, сооружение не справляется со своей основной задачей, перенося всю нагрузку на следующую ступень очистки.

Проблема уменьшения времени пребывания была решена на основании идеи тонкослойного отстаивания, известная по работам А. Хазена, и затем экспериментально подтверждена. Согласно теории гравитационного осаждения, разработанной в 1904 г, А. Хазеном, экспериментально подтверждённой и развитой в дальнейшем в работах отечественных и зарубежных учёных и специалистов (Н. Фишерстром, И. Добряков, Р. Кэмп, В. Радзиг и др.) разделение общей зоны отстаивания на ряд элементарных отстойных зон с меньшей глубиной одновременно увеличивает площадь осаждения и снижает удельную нагрузку на неё по взвешенным веществам, обеспечивая тем самым более эффективное осветление жидкости и использование объёма отстойника, производительность которого возрастает пропорционально площади осаждения.

Отстаивание является наиболее простым, не дорогим и часто применяемым в практике способом выделения из обрабатываемых вод грубодисперсных примесей, которые под действием силы гравитации оседают на дно сооружения. Отстаивание применяется на первых ступенях технологии водоподготовки в целях

снижения нагрузки на последующие технологические ступени (фильтрование, сорбция и т.п.).

К сооружениям водоподготовки, использующим принцип гравитационного разделения жидкой и твёрдой фаз (седиментация) относятся песколовки, отстойники (горизонтальные, радиальные, вертикальные), осветлители, а так же некоторые типы сепараторов, нефтеотделителей и флотаторов.

Специфика принципа действия данных сооружений требует обеспечения определённого времени пребывания обрабатываемой воды в сооружении для обеспечения времени оседания частиц твёрдой фазы с расчётными гидравлическими параметрами (гидравлической крупностью). В связи с этим песколовки, отстойники и осветлители представляют собой ёмкостные сооружения (резервуары) оборудованные системами для:

- удаления (гидравлического или механического) образующихся осадков;

- ввода и равномерного распределения обрабатываемой воды:

-сбора (сосредоточенного или рассредоточенного) и отвода обработанной воды;

- управления режимами работы сооружения (аппарата)

- осуществления технологического контроля;

- проведения эксплуатационных и профилактических операций.

По режиму работы различают отстойники периодического действия, или контактные, в которые вода поступает периодически, причём отстаивание её происходит в покое, и отстойники непрерывного действия, или проточные, в которых отстаивание происходит при медленном движении жидкости. В данном методическом пособии рассматриваются только сооружения полунепрерывного и непрерывного действия.

Тонкослойные отстойники представляют собой ёмкости (резервуары) с системой устройств для ввода и вывода обрабатываемой жидкости, оборудованные одним или несколькими блоками тонкослойных элементов, в которых происходит отстаивание её, и устройствами для выгрузки осадка, а в ряде случаев и камерой хлопьеобразования. Они могут быть напорными и безнапорными. В отличие от

обычных отстойников отстаивание жидкости в тонкослойных отстойниках осуществляется в слое жидкости малой глубины, которую обеспечивают с помощью тонкослойных элементов, образованных наклонными полками или трубами. Так как глубина тонкослойных элементов в десятки раз меньше, чем глубина обычных отстойников, процесс отстаивания протекает очень быстро. Частицы загрязнений достигают поверхности тонкослойных элементов и под действием силы тяжести сползают по ней в зоны накопления осадка. Небольшая высота слоя жидкости, кроме того, обеспечивает более равномерную температуру в пределах слоя, уменьшает до минимума влияние плотностных и конвективных токов на процесс осаждения взвеси, повышает его гидродинамическую стабильность, уменьшает турбулентность потока.

Оптимальный режим работы тонкослойного отстойника обеспечивается при ламинарном течении жидкости в тонкослойных элементах при числах Рейнольдса $Re < Re_{кр} = 500$ и числах Фруда $Fr > 10^{-5}$. В результате сокращения пути седиментации частиц и устранения недостатков, присущих обычным отстойникам, в тонкослойных отстойниках интенсифицируется процесс выделения примесей, что позволяет соответственно уменьшить габариты отстойных сооружений и обеспечить высокий эффект очистки жидкости.

В отстойниках полунепрерывного действия жидкость поступает и отводится непрерывно, а осадок удаляется периодически. В непрерывно действующих отстойниках подача и отвод жидкости и удаление осадка производятся постоянно. Отстойники полунепрерывного и непрерывного действия получили наибольшее распространение.

По направлению движения потока жидкости в тонкослойных элементах эти

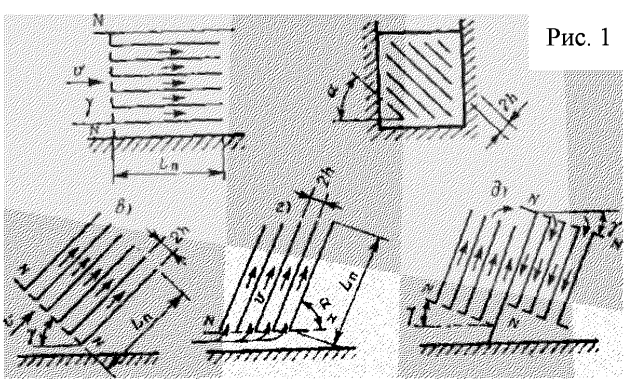


Рис. 1

сооружения делятся на отстойники с горизонтальным (рис.1), радиальным, вертикальным и восходящим, нисходящим или восходяще-нисходящим (комбинированным) течением жидкости. В последнем случае в отстойнике устанавливают несколько блоков тонкослойных элементов, направление течения жидкости в которых поочерёдно меняется. В зависимости от направления течения жидкости в тонкослойных элементах удаление осадка из них обеспечивается по-разному.

В горизонтальных отстойниках осадок из тонкослойных элементов удаляется перпендикулярно направлению движения жидкости (перекрёстная схема движения жидкости и осадка); в отстойниках с восходящим течением - в направлении, противоположном движению жидкости (противоточная схема движения жидкости и осадка); в отстойниках с нисходящим течением — в направлении, совпадающим с направлением течения жидкости (прямоточная схема движения жидкости и осадка); в отстойниках с комбинированным течением удаление осадка в разных тонкослойных блоках обеспечивается в зависимости от направления течения жидкости, для чего тонкослойные элементы располагаются под углом к горизонту. В отстойниках непрерывного действия этот угол должен обеспечивать сползание осадка в осадочную часть, а в отстойниках периодического действия может быть равен нулю, поскольку по мере накопления осадка отстойник выключается и обеспечивается обратная промывка тонкослойных элементов от осадка. В тонкослойных отстойниках так же, как и в обычных, могут протекать процессы осаждения и всплывания загрязнений. Выпавшие на поверхность тонкослойных элементов более тяжёлые фракции загрязнений сползают вниз, а более лёгкие — вверх, поступая затем в соответствующие зоны накопления, откуда удаляются специальными устройствами, такими же, как и в обычных отстойниках.

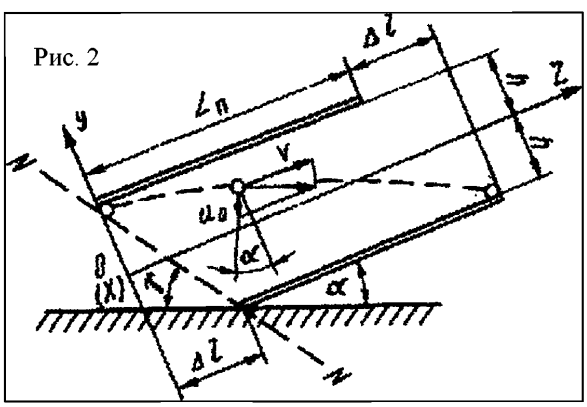
Эффективность работы тонкослойных отстойников в значительной степени зависит от конструкции водораспределительных и водосборных устройств. Входные водораспределительные устройства должны обеспечивать быстрое затухание скорости потока и равномерное распределение его на входе в

тонкослойные элементы, а выходные устройства должны предотвращать местный рост скоростей потока, т.е. быть рассредоточенными.

Процесс осаждения взвешенных веществ в тонкослойных элементах реальных отстойников осуществляется при непрерывном движении жидкости от входного к выходному сечению.

Для отстойников различного типа углы наклона входных сечений N - N (рис. 2) тонкослойных элементов к горизонтальной плоскости обычно изменяются от 0 до 90°, а в некоторых случаях могут быть и больше 90°. В горизонтальных тонкослойных отстойниках входные сечения перпендикулярны направлению движения потока, а сползание выпавшего осадка обеспечивается за счёт наклона элементов к горизонту на угол α в плоскости, перпендикулярной направлению течения воды. В отстойниках с восходящим, нисходящим или комбинированным восходяще-нисходящим направлением движения потока углы наклона тонкослойных элементов к горизонту α и направления движения жидкости в них совпадают, вследствие чего сползание выпавшего осадка происходит в направлении, противоположном или совпадающем с направлением движения потока жидкости. В последнем случае процесс удаления осадка облегчается, что позволяет несколько уменьшить угол α, обеспечивающий нормальное сползание осадка.

Рис. 2



На рис. 2 показана схема осаждения частицы в тонкослойном элементе, из которой видно, что в каждый момент времени действительная величина и направление скорости движения частицы взвеси в отстойнике являются результатом векторного сложения двух составляющих: скорости осаждения в неподвижной жидкости (гидравлической крупности) u_o и скорости потока v. От их соотношения зависят траектория движения взвешенной частицы в

процессе осаждения и эффект очистки. В тонкослойном отстойнике могут быть задержаны только те частицы, траектории которых пересекают нижнюю (для осаждающихся) или верхнюю (для всплывающих) частиц поверхности тонкослойных элементов.

Как видно из рис. 2, большая длина пути и наибольшее время осаждения свойственно частицам, входящим в тонкослойный элемент на уровне его верхней образующей. Максимальная траектория определяет расчётную длину тонкослойного модуля.

При радиальном течении жидкости от входного к выходному сечению скорость потока в тонкослойном элементе уменьшается при центральном и увеличивается при периферийном впуске жидкости в отстойник.

В практике водоподготовки и различных химических процессах часто приходится использовать отстойники для выделения, как лёгких, так и тяжёлых частиц. В этом случае оценка влияния направления движения потока в тонкослойных элементах на эффективность его работы зависит от того, какие загрязнения в обрабатываемой воде являются преобладающими или лимитирующими: лёгкие или тяжёлые. В нефтеотделителях и флотаторах при очистке воды от частиц загрязнений, имеющих плотность меньше плотности воды, когда выделение тяжёлых частиц не является лимитирующим, наиболее предпочтительным будет нисходящее течение потока, для водопроводных отстойников или во всех других случаях, когда лимитирующими являются загрязнения, имеющие плотность больше плотности воды, — восходящее течение.

Ошибочно считается, что трубчатые элементы лучше полочных, в то время как увеличение суммарной поверхности в трубчатых элементах фактически отражает лишь увеличение затрат материала на их изготовление. В действительности, независимо от формы и соотношения размеров их поперечного сечения, суммарная площадь поверхности тонкослойных элементов, участвующая в осаждении, будет во всех случаях одинакова как для трубчатых, так и для полочных отстойников.

Влияние направления движения воды в тонкослойных блоках незначительно. Например, для отстойников с восходящим и нисходящим движением потока по сравнению с горизонтальным гидравлическая крупность задерживаемых частиц u_o соответственно изменяется менее чем на ± 2, ± 5 %, и лишь в редких случаях при других параметрах отстойников это отклонение может достигать 10 — 15 %.

Различаются вертикальные, горизонтальные и радиальные тонкослойные отстойники в зависимости от направления движения жидкости в этих сооружениях до установленных в них тонкослойных элементов.

Отстойники также классифицируют как по конструкции и материалу изготовления тонкослойных модулей, так и по направлению движения жидкости и осадка непосредственно в них.

По конструкции тонкослойных элементов отстойники можно разделить на:

- трубчатые, с тонкослойными элементами в виде труб различного поперечного сечения (круглого, прямоугольного, квадратного, многоугольного (рис. 9), профилированного (фото 1) и т. д.)

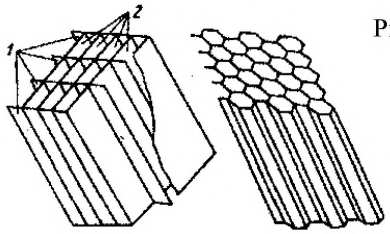


Рис. 3



фото 1

-

по

ло

чные (пластинчатые), когда тонкослойные элементы образованы плоскими или гофрированными полками.

По роду материалов, используемых для изготовления тонкослойных модулей, отстойники бывают двух видов:

- тонкослойные модули выполнены из гибких материалов, не обладающих достаточной жёсткостью (различные ткани, полимерные плёнки и т. д.),

- тонкослойные модули. изготовлены из материалов, обладающих достаточной жёсткостью (различные металлы, дерево, пластмассы, асбестоцементные листы, стекло и т. п.).

В горизонтальных отстойниках осадок из тонкослойных элементов удаляется перпендикулярно направлению движения жидкости (перекрёстная схема движения жидкости и осадка); в отстойниках с восходящим течением - в направлении, противоположном движению жидкости (противоточная схема движения жидкости и осадка); в отстойниках с нисходящим течением — в направлении, совпадающим с направлением течения жидкости (прямоточная схема движения жидкости и осадка); в отстойниках с комбинированным течением удаление осадка в разных тонкослойных блоках обеспечивается в зависимости от направления течения жидкости, для чего тонкослойные элементы располагаются под углом к горизонту.

Преимущество тонкослойных отстойников заключается в их эффективности, т. к. гидравлическая нагрузка может достигать 10 $м^3/м^2 \cdot ч$, а также экономичности вследствие небольшого строительного объёма.

Не смотря на существование широкого спектра разнообразных типов и моделей отстойников и осветлителей, при оснащении их тонкослойными модулями используются только три основные схемы:

- противоточная (вектор направления движения обрабатываемой воды противонаправлен с вектором направления сползания выделенного на поверхности модуля осадка);

- прямоточная (вектор направления движения обрабатываемой воды сонаправлен с вектором направления сползания выделенного на поверхности модуля осадка);

- перекрёстная (вектор направления движения обрабатываемой воды перпендикулярен вектору направления сползания выделенного на поверхности модуля осадка);

При расчёте тонкослойных отстойников следует учитывать особенности их работы. Особые требования предъявляются к смесителям и камерам хлопьеобразования в схемах очистки воды с тонкослойными отстойниками при её предварительной реагентной обработке. Поскольку продолжительность пребывания воды в тонкослойных отстойниках по сравнению с обычными очень

мала, следует при наличии реагентной обработки особое внимание уделять эффективности смешения воды с реагентами и созданию условий для процесса хлопьеобразования. Если при применении обычных отстойников неудовлетворительная работа смесителей и камер хлопьеобразования может компенсироваться за счёт более длительного пребывания воды в отстойнике, то в тонкослойных отстойниках это становится невозможным.

В практике проектирования расчёт тонкослойных отстойников производится или из условия осаждения частиц в пределах тонкослойного элемента без учёта явления сноса частиц по их поверхности под гидродинамическим воздействием потока.

Технологический расчёт тонкослойных отстойников заключается в определении параметров тонкослойных элементов (блоков) и размеров самого отстойника, обеспечивающих требуемый эффект очистки, т.е. задержание частиц с определённой гидравлической крупностью.

По направлению движения основного потока воды в отстойниках они делятся на два основных типа: горизонтальные и вертикальные; разновидностью горизонтальных являются радиальные отстойники. В горизонтальных отстойниках вода движется горизонтально, в вертикальных — снизу вверх, а в радиальных — от центра к периферии.

В отличие от обычных отстойников отстаивание жидкости в тонкослойных отстойниках осуществляется в слое жидкости малой глубины, которую обеспечивают с помощью тонкослойных элементов, образованных наклонными полками или трубами. Таким образом, в основе технологического расчёта сооружений седиментации лежит время прохождения частицей пути равного вертикальной проекции траектории движения, при этом (от верхнего слоя потока воды в сооружении до верхней границы зоны накопления осадка). Частицы загрязнений достигают поверхности тонкослойных элементов и под действием силы тяжести сползают по ней в зоны накопления осадка. Небольшая высота слоя жидкости, кроме того, обеспечивает более равномерную температуру в пределах слоя, уменьшает до минимума влияние плотностных и конвективных токов на

процесс осаждения взвеси, повышает его гидродинамическую стабильность, уменьшает турбулентность потока.

Таблица № 1

Коэффициент n	Соотношение глубин $H_o \cdot \cos\alpha/2h$				
	10	25	50	75	100
0,25	1,78	2,24	2,66	2,94	3,16
0,5	3,16	5	7,07	8,66	9,8

Неравномерность работы тонкослойных модулей при неудачном их размещении в отстойной зоне может быть значительной, причём некоторая их часть вообще оказывается не нагруженной.

Тонкослойные отстойники являются компактными сооружениями, они требуют меньшую площадь для их размещения на станциях водоподготовки. К преимуществам таких отстойников следует отнести устойчивость их работы при значительных колебаниях расходов поступающей на очистку жидкости, изменениях её температуры и концентрации загрязнений.

По роду материалов, используемых для изготовления тонкослойных элементов, отстойники бывают двух видов: в одних тонкослойные блоки выполнены из гибких материалов, не обладающих достаточной жёсткостью (различные ткани, полимерные плёнки и т. д.), в других тонкослойные элементы изготовлены из материалов, обладающих достаточной жёсткостью (различные металлы, дерево, пластмассы, асбестоцементные листы, стекло и т. п.).

Тип тонкослойного отстойника следует выбирать на основании технико-экономического сравнения вариантов с учётом производительности очистных сооружений, концентрации и характера загрязнений, условий строительства, а при реконструкции — дополнительно с учётом конструкции имеющихся на станции отстойников, наличия свободных площадей и т. п.

Для обеспечения надёжности работы и стабильности качества осветлённой воды необходимо соблюдать ламинарный режим течения жидкости в тонкослойных элементах.

В отстойниках без скребков с бункерным днищем осадок из тонкослойных элементов поступает непосредственно в бункера.

Вертикальные тонкослойные отстойники могут быть различных модификаций с трубчатыми и полочными тонкослойными элементами, в которых реализуется восходящее движение потока жидкости. Они нашли широкое применение в сооружениях сравнительно небольшой производительности; используются при реконструкции существующих вертикальных, горизонтальных и радиальных отстойников с целью повышения их производительности.

Схему тонкослойных модулей следует выбирать по табл. № 2.

Таблица № 2

Сооружения	Рекомендуемая схема тонкослойных модулей (ТМ)			
	Продольно-поперечная	прямоточная	противоточная	комбинированная
Отстойники горизонтальные одноярусные	++	-	+	+
Отстойники горизонтальные двухъярусные	++	-	-	-
Песколовки горизонтальные	++	-	-	-
Песколовки тангенциальные	-	-	++	-
Сепараторы	+	+	++	+
Вертикальные отстойники	-	-	++	-
Осветлители коридорного типа	-	-	++	-
Осветлители круглые в плане	-	-	++	-
Нефтеловушки	+	++	+	+
Флотаторы	+	++	+	+

«++» - наиболее подходящая схема ТМ; «+» - допустимая схема ТМ.

3.1 Основные классификационные признаки тонкослойных модулей

1) по направлению движения воды в тонкослойных элементах (горизонтальное, радиальное, вертикальное с восходящим и нисходящим течением), оно определяет направление сползания осадка и влияние на скорость сползания скорости потока, а также гидравлические характеристики;

2) по соотношению размеров поперечного сечения ТМ (трубчатые $b/2h = 1$, полочные $b/2h \geq 10$, ограниченной ширины (от $b/2h = 4 \div 10$);

3) материалу тонкослойных элементов;

4) по размещению блоков (тонкослойных элементов) в отстойной зоне (на входе, на выходе, по всему сечению, в верхней части поперечного сечения) относительно направления скорости основного течения;

5) с сосредоточенным отводом и рассредоточенной системой отбора и отвода воды;

6) по условиям удаления осевших частиц за пределы тонкослойных элементов (самопроизвольное, принудительное и т.п.);

7) по наличию стационарной системы промывки тонкослойных модулей.

Таблица № 3

Таблица относительной стоимости тонкослойных модулей из различных материалов с учётом стоимости монтажа*.

Материал	Толщина, мм	Относительная	
		масса полок, т/м^3	стоимость полок, р/м^3
Сталь листовая холоднокатаная	1,0	0,154	6754
Алюминий	1,0	0,054	17820
Стекло	4,0	0,156	1310
Асбестоцементные плиты	6,0	0,284	947
Фанера бакелитовая	10,0	0,140	22069
Винипласт	4,0	0,112	23550
Плёнка полиэтилен	1,0	0,02	184
Стеклопластик	4,0	-	41213

** стоимость материалов и монтажа взята в ценах октября 2015 г.*

Многочисленные исследования по сползанию осадка при разных углах, разных материалах полок, отдельных частиц и слоя осадка в зависимости от его толщины, в динамических и статических условиях. Прямой связи между шероховатостью поверхности и минимальным углом наклона α_o, обеспечивающим сползание частиц, не установлено. Для водопроводных отстойников во всех случаях надёжное удаление осадка обеспечивается при угле наклона элементов 50°. Менее 45° самопроизвольное сползание осадка не обеспечивается (за исключением полиэтилена). По данным ПГУПС рекомендованы углы наклона тонкослойных модулей для различных материалов:

Введение коагулянтов и флокулянтов благоприятно для ускорения сползания взвеси по плоскости тонкослойного модуля. Рекомендуемые минимальные углы наклона модулей в зависимости от выбранного материала следует принимать по таблице № 4.

Таблица № 4

Таблица рекомендуемых углов наклона тонкослойных модулей

Материал тонкослойного модуля	Значение угла наклона α_o не менее
Оцинкованное железо	45-47°
Стекло	45°
Винипласт	40-45°
Полиэтилен	40-48°
Сталь	45-48°

Большие значения угла наклона принимаются для вод не обработанных реагентами.

3.2 Методика расчёта конструктивных параметров тонкослойных модулей для новых сооружений.

При расчёте тонкослойных отстойников следует учитывать особенности их работы. Особые требования предъявляются к смесителям и камерам хлопьеобразования в схемах очистки воды с тонкослойными отстойниками при её предварительной реагентной обработке. Поскольку продолжительность пребывания воды в тонкослойных отстойниках по сравнению с обычными очень

мала, следует особое внимание при реагентной обработке уделять эффективности смешения воды с реагентами и созданию условий для процесса хлопьеобразования. Если при применении обычных отстойников неудовлетворительная работа смесителей и камер хлопьеобразования может компенсироваться за счёт более длительного пребывания воды в отстойнике, то в тонкослойных отстойниках это становится невозможным.

Технологический расчёт сводится к выбору типа тонкослойных модулей, определению параметров блоков тонкослойных модулей и размеров самого сооружения при заданном эффекте осветления обрабатываемой воды.

1.Основным условием надёжной и эффективной работы сооружений оснащённых тонкослойными модулями является обеспечение ламинарного гидродинамического режима в зоне ТМ.

При ламинарном режиме число Рейнольдса Re определяется по следующему выражению:

$$Re = v_{ср}*h/\nu \leq 500,$$

где $v_{ср}$– средняя скорость движения потока обрабатываемой воды в ТМ, см/с;

$h \approx \omega/\chi$ для полочных ТМ

ω– площадь поперечного сечения блока ТМ, $см^2$;

χ – смоченный периметр, см

ν – кинематическая вязкость воды при заданной температуре, $м^2/с$.

Максимально допустимая скорость движения потока обрабатываемой воды v_{max} определяется следующим выражением:

$$v_{max} \leq 500*\nu/h$$

2.Длинна тонкослойного модуля l_o определяется по формуле:

$$l_o=\varphi[v_{ср}*2h/(u_o*\cos\alpha)],$$

где φ– коэффициент, учитывающий гидродинамические условия осаждения частиц в тонкослойных модулях;

α– угол наклона ТМ к горизонту, принимаемый 45÷60°;

u_o– гидравлическая крупность, мм/с.

$v_{ср}$– средняя скорость движения потока обрабатываемой воды в ТМ, мм/с, (2÷10 мм/с для горизонтальных и радиальных отстойников; 2÷5 мм/с для отстойников с восходящим и нисходящим течением жидкости);

2h – шаг полок или диаметр труб ТМ, принимаемый в диапазоне 0,025÷0,2 м;

Примечание: Для водопроводных отстойников с применением реагентов, а также при большой концентрации исходной взвеси надо учитывать возникновение в тонкослойных элементах стеснённого осаждения (особенно для отстойников с восходящим потоком воды). Расстояние 2h = 0,025 м допустимо при малой концентрации взвеси природной воды. В оборотных системах промышленных предприятий успешно работают отстойники с 2h = 0,015 мм. Для водопроводных отстойников при коагулировании воды целесообразно рекомендовать диапазон 0,04-0,05 м.

Гидравлическую крупность рекомендуется определять экспериментально, путём осаждения взвеси (после обработки расчётными дозами реагентов) в покое в слое, равном высоте осаждения 2h/cosα в тонкослойном модуле. При отсутствии данных значение гидравлической крупности допускается принимать по таблице № 11 п. 9.46 СП 31.13330.2012.

Коэффициент φ определяется методом последовательного приближения.

При определённом числе Рейнольдса Re и φ=1 определяют в первом приближении длину тонкослойного модуля $L_п$. Следующим шагом следует вычислить значение безразмерного комплекса $L_п/(h*Re)$ и найти значение φ по таблице № 5:

Таблица №5

$L_п/(h·Re)$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	2,0	4,0
φ	1,78	1,61	1,48	1,42	1,38	1,35	1,28	1,22	1,17

При найденном приближенном значении φ уточняют длину $L_п$ и повторяют расчёт, определяя более точное значение коэффициента φ. Второе приближение позволяет получить достаточное для расчётов значение.

3.3 Расчёт тонкослойного модуля с учётом сноса осадка.

В практике проектирования расчёт тонкослойных отстойников производится из условия осаждения частиц в пределах тонкослойного элемента без учёта явления сноса частиц по их поверхности под гидродинамическим воздействием потока.

При разработке полочных блоков не всегда предусматриваются конструктивные мероприятия, предотвращающие или уменьшающие снос задержанных частиц взвеси по поверхности тонкослойных элементов. В необходимых случаях явление сноса компенсируется дополнительной длиной тонкослойных элементов или специальными устройствами (желобами и т.п.)

При расчёте компенсации эффекта сноса частиц дополнительной длиной модулей рекомендуется использовать следующие формулы:

$$L_п = l_о + l_{сн}; \quad l_{сн} = b \cdot (v_{сн}/v_{сп.о}),$$

где b– ширина тонкослойного элемента, м;

$L_п$– полная длина тонкослойного модуля, м;

$l_{сн}$– дополнительная длина тонкослойного модуля, м;

$l_о$– длина тонкослойного модуля без учёта сноса, м;

$v_{сп.о}$– скорость сползания частиц в покоящейся жидкости, мм/с;

$v_{сн}$– скорость сноса частиц, мм/с.

Длина $l_{сн}=0$ для отстойников с восходящим или нисходящим течением жидкости.

Для частиц достаточно малых размеров, для которых

$$Re_d = u_{сп} \cdot d_э/\nu \leq 1,$$

где $d_э$ – эквивалентный диаметр частицы, мм;

$u_{сп}$– гидравлическая крупность сползающих частиц, мм/с.

Скорость сползания $v_{сп.о}$ находится по зависимости:

$$v_{сп.о} = 0{,}288 * u_{сп} * (\sin\alpha - k_{тр} \cdot \cos\alpha),$$

где $k_{тр}$ – коэффициент трения скольжения определяемый экспериментально. Коэффициент $k_{тр}$ зависит от размера, свойств, формы частиц взвеси, а так же от материала тонкослойных модулей. При ориентировочных расчётах для дискретных шарообразных частиц рекомендуется принимать $k_{тр} = 0{,}1 \div 0{,}3$, а для обработанной реагентами (коагулянтами) взвеси $k_{тр} = 0{,}6 \div 0{,}9$.

Скорость сноса частиц $v_{сн}$ определяется по зависимости:

$$v_{сн} = (a/h) \cdot v \cdot d_э - 0{,}288 \cdot u_{сп} \cdot k_{тр} \cdot \cos\alpha,$$

где a=1,5 для отстойников с плоскими тонкослойными модулями и a=2,0 для отстойников с трубчатыми модулями.

Скорость сползания $v_{сп.о}$ частиц в отстойниках с восходящим или нисходящим течением определяется по следующей формуле:

$$v_{сп} = v_{сп.о} \pm (a/h) * v * d_э,$$

Знак «+» для нисходящего потока жидкости, а знак «-» для восходящего потока жидкости.

3.4 Методика расчёта конструктивных параметров тонкослойных модулей при реконструкции существующих сооружений.

На каждом реконструируемом объекте, несмотря на использование типовых сооружений, специалистам приходится решать различные проблемы в конкретных, присущих только данному объекту, условиях. В этом и состоит основное отличие проектирования новых очистных сооружений от реконструкции действующих сооружений.

Ухудшение общего состояния очистных сооружений происходит по следующим причинам:

- недостаток квалифицированного персонала по эксплуатации;
- финансовые трудности предприятия;

- прекращение промышленностью серийного выпуска строительных конструкций и оборудования применяемого на данных очистных сооружениях;

- отсутствие программы модернизации сооружений водоподготовки.

Действующие сооружения водоподготовки отличаются друг от друга многими факторами:

- производительность;

- качество исходной воды;

- степень физической и моральной изношенности сооружений и основного оборудования;

- год постройки и пуска в эксплуатацию;

- особенности эксплуатации очистных сооружений и квалификация персонала;

- соответствие сооружений и технологии водоподготовки проектным решениям;

- наличие документации на ранее проведённую реконструкцию отдельных узлов или сооружений, а так же внедрение рационализаторских предложений.

Комплекс работ по восстановлению и реконструкции действующих сооружений включает в себя ряд организационных, технологических, технических и экономических мероприятий, состав которых зависит от ожидаемых конечных результатов реконструкции. В большинстве случаев к основным мероприятиям относятся следующие:

- ознакомление с существующей документацией действующих очистных сооружений и постановка задачи, которая должна быть решена при восстановлении и/или реконструкции;

- восстановление комплекта проектной и эксплуатационной документации (при необходимости);

- определение качественного и количественного состава примесей обрабатываемой воды;

- определение фактического расхода, составление балансовой схемы с учётом перспективы развития объекта;

- проведение инструментального обследования всех строений, ёмкостей и узлов с определением состояния строительных конструкций и оборудования; уточнение эффективности работы каждого сооружения и аппарата;

- разработка предпроектных решений для реконструкции очистных сооружений на основании полученных данных и технического задания;

- разработка проекта реконструкции очистных сооружений в соответствии с рекомендациями при максимальном использовании существующих на объекте строений и ёмкостей;

Технологический расчёт тонкослойных модулей (ТМ) при реконструкции отстойников различных типов и осветлителей заключается в определении параметров тонкослойных модулей (блоков) исходя из конструктивных габаритов самого сооружения при условии гарантированного обеспечения требуемого после реконструкции эффекта очистки. Задачами реконструкции может быть так же увеличение производительности сооружения при том же эффекте или сочетание увеличения эффекта с повышением производительности.

Для варианта реконструкции направленного на получение большего эффекта при постоянной производительности, максимально достижимый эффект очистки от применения тонкослойных модулей составит:

$$Э = E_0 \left(\frac{H_ц}{t_{пр}} \cdot \frac{m_п^n}{2\varphi k_{о.и} u_о} \right)^{\frac{a}{H_ц} 2\varphi k_{о.и} u_о / m_п^n}.$$

где $u_о$ –расчётная гидравлическая крупность для обычного отстойника;

$m_п = H_о/(2h)*\cos\alpha$ – общее число элементов по высоте блока $H_о$;

φ – коэффициент принимаемый по табл. № 2;

$t_{пр}$ – время отстаивания;

а — параметр кривой осаждения, зависящий от свойств жидкости и загрязнений, содержащихся в ней (определяется опытным путём);

$K_{о.и}$ – коэффициент объёмного использования обычного отстойника 0,45;

$E_о$ – эффект отстаивания, %,

$H_ц$ – слой глубиной, мм;

n – коэффициент гравитационной коагуляции по таблице № 1.

Для варианта реконструкции направленного на максимальное увеличение производительности эффект очистки от применения ТМ составит:

$$э = E_0 \left(\frac{H_ц}{t_{пр}} \cdot \frac{1}{u_0} \right)^{\frac{a}{H_ц} u_0}.$$

где u_o –расчётная гидравлическая крупность для обычного отстойника;

$t_{пр}$ – время отстаивания;

а — параметр кривой осаждения, зависящий от свойств жидкости и загрязнений, содержащихся в ней (определяется опытным путём);

E_o –. эффект отстаивания, %,

$H_ц$ – слой глубиной, мм;

Для горизонтальных отстойников одной из главных технологических задач является выбор оптимальной зоны размещения ТМ и их типа. В большинстве случаев наилучший эффект даёт расположение тонкослойных модулей ближе к водосбору или устройствам рассредоточенного сбора осветлённой воды.

Пример расчёта производительности вертикального отстойника при оснащении его тонкослойными модулями.

Гидравлическая крупность задерживаемых частиц $\boldsymbol{u_o}$ =0,5 мм/с, температура жидкости $\boldsymbol{T}$ = 20° С. Угол наклона конического днища $\boldsymbol{\alpha}$ = 50° .

Расстояние от центра отстойника до входных сечений тонкослойных блоков $\boldsymbol{R_к}$= 2,9 м, длинна блока тонкослойных элементов $\boldsymbol{L_п}$=1,5 м, высота блока $\boldsymbol{H_п}$= 1 м, расстояние между полками 2h =100 мм (0,1 м).

Угол наклона полок блока к горизонту принят $\boldsymbol{\alpha}$ = 50°.

Высота блока тонкослойных модулей по вертикали:

$$H_в = H_п / \cos \alpha = 1{,}0/ \cos 50° = 1{,}0/0{,}643 = 1{,}55 \text{ м},$$

Расстояние от центра отстойника до входных сечений блоков:

$$R_0 = R_к - L_п * \cos \alpha = 2{,}9 - 1{,}5 * 0{,}643 = 1{,}93 \text{ м}.$$

Число блоков в отстойнике принято $n_{бл} = 16$ шт.

Из геометрических соотношений находим ширину блока на входе и выходе:

$$a_0 = R_0 * 0{,}3902 = 1{,}93 * 0{,}3902 = 0{,}76 \text{ м};$$

$$a_к = R_к * 0{,}3902 = 2{,}9 * 0{,}3902 = 1{,}13 \text{ м}$$

где 0,3902 – отношение длины хорды к радиусу; для центрального угла $360°/n_{бл} = 360°/16 = 22{,}5°$.

Средняя площадь живого сечения блока тонкослойных модулей:

$$f_{ср} = 0{,}5 * (a_0 + a_к) * H_п = 0{,}5 * (0{,}76 + 1{,}13) * 1{,}0 = 0{,}95 \text{ м}^2.$$

Средняя скорость воды в блоке тонкослойных модулей находим по формуле:

$$Vo.ср = ((Lп + 2h * tg \alpha + 2h * ctg (\gamma + \alpha)) * u_0 * \cos \alpha) / \varphi 2h =$$

$$= ((1{,}5 + 0{,}1 * 1{,}19 - 0{,}1 * 1{,}19) * 0{,}5 * 0{,}643) / 2 * 0{,}1 = 2{,}42 \text{ мм/с},$$

где $\varphi = 2$,

$$ctg (\gamma + \alpha) = ctg (90° + \alpha) = - tg \alpha.$$

Число Рейнольдса, определяемое по средней скорости $V_{o.ср}$ потока, составит:

$$Re_{ср} = V_{o.ср} * h/\nu = 0{,}242 * 5/0{,}01 = 121,$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости, который при T= 20° С равен 0,01 см^2/с; $V_{o.ср}$ – средняя скорость в тонкослойном элементе, см/с; h-половина глубины тонкослойного элемента, см.

Определим безразмерный критерий $Lп/(h * Re) = 1{,}5/(0{,}05 * 121) = 0{,}248.$

Определяем значение коэффициента φ соответствующее безразмерному критерию. По таблице $\varphi \approx 1{,}45$. Меньшее значение коэффициента φ относительно принятого в расчёте свидетельствует о том, что расчёт выполнен с некоторым запасом.

Производительность одного из тонкослойных блоков:

$$q_{бл} = 3{,}6 * V_{o.ср} * f_{ср} = 3{,}6 * 2{,}42 * 0{,}95 = 8{,}25 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Производительность отстойника после оснащения его тонкослойными модулями:

$$Q = n_{бл} * q_{бл} = 16*8,25 = 132 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3.5 Технико-экономическое обоснование применения нормируемых параметров и методик расчёта.

При применении тонкослойных модулей значительно сокращаются капитальные затраты, т.к. при одной и той же производительности сооружений площади и строительные объёмы отстойников можно уменьшить в разы. Одновременно с этим, растёт показатель эффективности отстаивания, т.к. тонкослойное отстаивание позволяет задерживать на коротком участке отстойника частицы меньшей гидравлической крупности (порядка 0,05 мм/с вместо расчётных 0,2 мм/с). Тонкослойные отстойники являются компактными сооружениями, они требуют меньшую площадь для их размещения на водоподготовительных станциях.

Посредством применения тонкослойного отстаивания решается проблема подавляющего большинства водоподготовительных станций - не эффективно организованный процесс коагуляции, связанный с множеством причин: не оптимальные дозы реагентов, плохое смешение реагентов, неверная последовательность введения реагентов, некачественные реагенты, низкая температура воды, не оптимальные гидравлические условия в сооружениях хлопьеобразования, морально устаревшее оборудование, отсутствие автоматизированных систем управления процессами, ошибки и/или некомпетентность персонала и т.д. Перечисленные факторы неизбежно влекут неудовлетворительное хлопьеобразование с получением в объёме потока неплотных мелких хлопков коагулированных примесей с малой гидравлической крупностью. Примеси не успевают за расчётное время пребывания в отстойнике опуститься на дно отстойника и, сооружение не справляется со своей основной задачей, перенося всю нагрузку на следующую ступень очистки.

В технологических схемах водоподготовки заключительной ступенью очистки воды являются скорые фильтры, которые в силу своей специфики и принципа действия вынуждены принимать любую нагрузку, в том числе повышенную в случае не эффективной работы предыдущих ступеней. При повышенной нагрузке неизбежно сокращается фильтроцикл и увеличиваются энергозатраты на частые промывки, требуемые для восстановления фильтрующей способности загрузки. Помимо этого, повышенная частота промывок приводит к ускорению физического износа промывных насосов, запорной арматуры, росту % выноса загрузки из за более интенсивного процесса механического истирания зёрен загрузки.

Перечисленные факторы приводят к увеличению эксплуатационных расходов подразделений ЖКХ, и не способствуют снижению тарифов.

Преимущество тонкослойных отстойников заключается в их эффективности, т. к. гидравлическая нагрузка возросла до 10 $м^3/м^2 \cdot ч$, экономичности вследствие небольшого строительного объёма, возможности использования пищевых полимерных материалов для изготовления тонкослойных модулей.

Тип тонкослойного отстойника следует выбирать на основании технико-экономического сравнения вариантов с учётом производительности очистных сооружений, концентрации и характера загрязнений, условий строительства, а при реконструкции - дополнительно с учётом конструкции имеющихся на станции отстойников, наличия свободных площадей и т. п.

Для расчёта капитальных вложений используются укрупнённые сметные нормы на здания и сооружения водоснабжения, технико-экономические показатели проектной документации, ценники и прайс-листы на оборудование и материалы.

Эксплуатационные затраты включают в себя следующие статьи: амортизационные отчисления и отчисления на текущий ремонт основных фондов, заработная плата и начисления на социальное страхование, стоимости реагентов, топлива, электрической и тепловой энергии. В сравниваемых вариантах достаточно сравнить составляющие приведённых затрат по отличающимся позициям.

Пример расчёта экономического эффекта от применения тонкослойных модулей.

На очистных сооружениях производительностью 4800 $м^3/ч$ запроектированы 8 радиальных отстойников диаметром 24 м. Альтернативный вариант предполагает использование радиальных отстойников с тем же диаметром оборудованных тонкослойными модулями.

Строительная стоимость Ко одного радиального отстойника составляет 50,4 млн. руб. Соответственно стоимость 8-ми – 403,2 млн. руб.

По расчёту производительность одного радиального отстойника оборудованного тонкослойными модулями диаметром 24 м составляет 2476 $м^3/ч$, следовательно, для обеспечения требуемой производительности достаточно 2-х таких отстойников.

Основные параметры отстойника с тонкослойными модулями:

H_1 = 2,7 м высота блока, $L_п$ = 3,65 м длинна модуля, удаление от центра r_o =6м, расстояние между полками $2h_o$ = 0,06 м, угол наклона модулей $\alpha = 60°$. Объём тонкослойных модулей в одном отстойнике составит: $2\pi*r_o*H_1*L_п$ = 371,3 $м^3$, а суммарный объём модулей на 2 отстойника Wп = 742,6 $м^3$.

Площадь одной полки $H_1*L_п/\cos\alpha$ = 11,38 $м^2$.

Число полок $2\pi*r_o*\sin\alpha/(2h_o)$ = 314 шт.

Общая площадь полок в одном отстойнике - 35,73 $м^2$ (на 2-х отстойниках – 71,46 $м^2$).

Масса полок (при толщине их 1,5 мм и плотности металла 7,65 $т/м^3$) P_1 = 7,65*0,0015* 7146 = 82 т. Поддерживающие конструкции блоков предусматриваются из металла. Масса поддерживающих конструкций составляет 20% от массы модулей, т.е. 16,4 т. При стоимости металлоконструкций 30 тыс. руб./т и монтажа 6 тыс. руб./т ($К_1$ = 36 тыс. руб./т) стоимость строительства поддерживающих металлоконструкций конструкций P_2 составит: 590,4 тыс. руб.

Относительная стоимость полок на 1 $м^3$ тонкослойного модуля с учётом расстояния между полками 50 мм Со = 6,754 тыс. руб./$м^3$ (по таблице № 4).

Строительная стоимость

$Кп=Ко+Р_2+50*Со*Wп/2h$,

где Ко – стоимость обычного отстойника, р.;

$Р_2$ – стоимость каркаса и крепежа тонкослойных модулей, р.;

Wп – суммарный объём тонкослойных модулей в отстойнике, $м^3$.

Кп=2*50400+590,4+50*6,754*742,6/60 = 105103,4 тыс. руб.

Таким образом, при установке 2-х отстойников оборудованных тонкослойными модулями вместо запроектированных 8-ми обычных радиальных отстойников экономия по капитальным затратам составит:

Ко-Кп= 403200-105103,4=298096,6 тыс. р.

Постоянные расходы эксплуатирующей организации принимаем в размере 6% на амортизационные отчисления и 1,5 % на текущий ремонт сооружений (от строительной стоимости). Эксплуатационные расходы варианта с 8-ю отстойниками составят – 30,24 млн. р., а для варианта с 2-мя отстойниками – 7,883 млн. р.

Приведённые затраты рассчитываем по формуле:

Эо= Со+Е*Ко, при Е=0,15 (для новой техники) по двум вариантам соответственно составят: 90,72 млн. р. и 23,65 млн. р. и следовательно годовой эффект замены классических радиальных отстойников на радиальные оснащённые тонкослойными модулями составит 67,07 млн. р.

4. Рекомендации по конструированию, проектированию, строительству и эксплуатации тонкослойных модулей

Общие рекомендации:

1. При реконструкции существующих сооружений экономически не целесообразно конструктивное сокращение объёма очистных сооружений;
2. Переделка при реконструкции горизонтальных отстойников длинной более 25 м в «вертикальные» со сменой основного направления движения воды не целесообразна из за сложности равномерного распределения поступающей и отводимой воды;
3. Заполнение всего свободного объёма (поверхности) сооружения тонкослойными модулями экономически не целесообразно;
4. Для расчётов следует расширить диапазон значений гидравлической крупности определённых в СП 31.13330.2012. Для мутных вод, необработанных коагулянтом, гидравлическую крупность допускается принимать 0,05 мм/с – 0,15 мм/с;
5. При реконструкции существующих сооружений и в проектных решениях новых отстойников с тонкослойными модулями необходимо обеспечить АСУ ТП согласно требованиям СП 31.13330.2012
6. Для тонкослойных отстойников исследования кинетики отстаивания следует проводить при глубинах, равных натурным.

Эксплуатационные рекомендации:

7. К тонкослойным модулям для обслуживания и ремонта должен быть обеспечен полноценный доступ эксплуатационного персонала с максимального числа сторон, за исключением сторон, вплотную примыкающих к капитальным стенам (перегородкам) отстойника;

8. В зону тонкослойных модулей требуется подвод воды для их очистки обмывом струи воды. Применение технической воды допустимо при условии последующей санации отстойника и тонкослойных модулей.

9. После проведения в отстойнике (секции отстойника) эксплуатационных операций (очистка, ремонт, санация и т.п.) связанных с полным или частичным его опорожнением выведение отстойника (секции) любого типа с тонкослойными модулями на номинальную (проектную) производительность следует начинать 1/3 производительности с плавным (пошаговым) повышением её до номинала в течение 1 часа.

10. Следует минимизировать дополнительные затраты при эксплуатации применением соответствующих материалов для изготовления модулей или их покрытия соответствующими веществами, ингибирующими обрастания, а также применением специальных стационарных систем промывки (регенерации) модулей;

Конструктивные рекомендации:

11. Оснащение отстойников в концевой части тонкослойными элементами стабилизирует их работу при кратковременных залповых повышениях гидравлической нагрузки, существенно уменьшая вынос взвеси (до 30-60%);

12. Конструкции полочного типа более предпочтительны, нежели трубчатые;

13. Материалы модулей и несущих конструкций должны быть сертифицированы для пищевого применения и обладать коррозионной стойкостью при длительном химическом воздействии компонентов водопроводных осадков;

14. Несущая тонкослойные модули конструкция должна быть рассчитана на возникающую при опорожнении отстойника нагрузку от веса заполненных осадком (97% влажности) модулей. Для расчёта несущей

тонкослойные модули конструкции следует учитывать 100 % заполнение всего объёма модулей;

15. Для наклонных наборных самонесущих тонкослойных модулей необходимо организовать опорные пояса (струны, полосы и т.п.) для верхней части модулей с шагом 500 мм, предотвращающие «заваливание» и деформацию массива модулей;

16. В проектируемых новых, а так же при реконструкции существующих горизонтальных отстойников в зоне размещения тонкослойных модулей следует предусматривать утеплённые герметичные люки-лазы и стационарные лестницы (площадки), позволяющие осуществлять как поузловую сборку тонкослойных модулей, так и последующую их эксплуатацию;

17. В проектируемых новых, а так же при реконструкции существующих отстойников в зоне размещения тонкослойных модулей систему гидравлического (механического) удаления осадка необходимо запроектировать с учётом размещения и типа тонкослойных модулей из условия выпадения 80-90% от объёма всех задерживаемых осадков в зоне тонкослойных модулей;

18. Допускаются к применению в качестве полок и ламелей тонкослойных модулей полимерные и композитные материалы, стекло, металлы со специальным покрытием, пищевая нержавеющая сталь марок (стандарт ASTM) AISI 304, AISI 316L и AISI 321.

19. Применяемые для полок и ламелей тонкослойных модулей материалы должны иметь шероховатость не более 0,001 мм;

20. Размещение блоков с тонкослойными модулями служит дополнительной сосредоточенной нагрузкой на фундаменты и каркас сооружения. Исходя из результатов обследования технического состояния строительных конструкций и веса блоков (в том числе частично заполненных осадком) проектировщикам необходимо предусмотреть мероприятия по усилению строительных конструкций сооружения.

21. Для снижения капитальных затрат окончательный выбор габаритов полочных тонкослойных блоков следует привязывать к стандартным размерам листов соответствующих материалов, выпускаемых промышленностью;

22. При санации отстойников необходимо учитывать суммарную поверхность тонкослойных модулей и делать перерасчёт расхода обеззараживающего реагента.

Приложение № 1 Основные понятия, термины и определения

В настоящем методическом пособии применены следующие понятия, термины и определения:

Водоподготовка - Технологические процессы обработки воды для приведения её качества в соответствие с требованиями водопотребителей;

Осветление воды - Удаление из воды взвешенных и коллоидных веществ;

Отстойник для очистки воды - Сооружение для осаждения из воды взвешенных веществ;

Осветлитель воды - Сооружение для осветления воды пропуском ее через слой взвешенного осадка в восходящем потоке воды;

Очистка воды - Технологические процессы, применяемые для осветления и обесцвечивания воды;

Станция водоподготовки - Комплекс зданий, сооружений и устройств для водоподготовки;

Станция очистки воды - Комплекс зданий, сооружений и устройств для очистки воды;

Скорый фильтр для очистки воды - Фильтр для очистки воды, работающий при скорости фильтрования 5 - 15 м/ч;

*Тонкослойный модуль - собранный из ламелей или рулонных материалов блок в раме (каркасе) или без рамы в случае применения наборных фигурных профилей;

*Тонкослойный элемент – часть тонкослойного модуля характерная для его индивидуальной пространственной структуры (полка, трубка, блок, кассета, секция и т.п.);

*Ламель – отдельный жёсткий элемент тонкослойного модуля (полка, лист, фигурный профиль);

*Сотоблок – собранный из гофрированных листов самонесущий блок с шестигранными ячейками (разработка ООО «ИНСЕЛ») или собранный на каркасе из гибкой полиэтиленовой плёнки тонкослойный модуль (разработка НИИ КВОВ).

Используемые в методическом пособии термины и основные понятия определены в ГОСТ 25151-82 (СТ СЭВ 2084-80) «Водоснабжение. Термины и определения».

Определения с пометкой «*» предложены разработчиками данного классификатора.

Приложение № 2 Нормативные ссылки

1. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*;
2. СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия»;
3. СП 28.13330.2012 «СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии»;
4. СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»;
5. СП 72.13330.2011 «СНиП 3.04.03-85 Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии»;
6. ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества.
7. ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения.
8. ГОСТ Р ИСО 2531–2008 Трубы, фитинги, арматура и их соединения из чугуна с шаровидным графитом для водо- и газоснабжения. Технические условия;
9. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества;
10. СанПиН 2.1.4.027-95. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения.
11. СанПиН 4630-88. Охрана поверхностных вод от загрязнений.
12. ПП РФ от 27 декабря 2004 г. N 861 (в актуальной редакции);
13. ПП РФ от 29 июля 2013 г. N 644 "Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации" (с изменениями и дополнениями);
14. ГОСТ 25151-82 (СТ СЭВ 2084-80) Водоснабжение. Термины и определения;
15. ГОСТ 7.32 – 2001 Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

ФЗ – федеральный закон;

СП – свод правил;

СНиП – строительные нормы и правила;

НИИ – научно-исследовательский институт;

ЗАО – закрытое акционерное;

АО – акционерное общество;

НИР и ОКР (НИОКР) - научно-исследовательские, опытно-конструкторские (включая аванпроект), проектно-конструкторские, проектные, изыскательские, технологические работы;

ТМ – тонкослойный модуль;

ТЭ – тонкослойный элемент;

КОС – комплексные очистные сооружения;

ПДК – предельно допустимая концентрация;

ВСС – временно согласованный сброс;

НДС – нормативно допустимый сброс;

АСУ ТП - автоматизированная система управления технологическим процессом;

ПО – Программное обеспечение;

СМР – строительно-монтажные работы;

ПНР – пусконаладочные работы;

КНС – канализационная насосная станция;

Список использованных источников

1. Иванов В.Г., Симонов Ю.М. Расчет и проектирование тонкослойных отстойников для очистки сточных вод. – Л.: ЛИИЖТ, 1985. – 50 с.
2. Иванов В.Г. Тонкослойные отстойники для интенсификации очистки природных и сточных вод: Дисс. … д-ра техн. наук: 05.23.04. – СПб.,1998. – 304 с.
3. Демура М.В. Проектирование тонкослойных отстойников. К.: Будівельник, 1981. –50 с.
4. Кургаев Е.Ф. Осветлители воды - Москва : Стройиздат, 1977. - 192 с.
5. Кургаев Е.Ф. Основы теории и расчёта осветлителей - Москва : Госстройиздат, 1962. - 164 с
6. Серпокрылов Н. С., Посупонько С. В., Климухин В. Д., Бояренев С. Ф. Предварительная очистка поверхностных вод / Строительство – 2005»: Материалы Международной научн. – практич. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2005. – с. 44– 46.
7. Романков П. Г. Гидромеханические процессы химической технологии / П. Г. Романков, М. И. Курочкина. – Л. : Химия, 1982. – 288 с.
8. Н.С. Серпокрылов, И.В. Климухин, С.В. Посупонько, В.Д. Климухин. Сравнительный расчет тонкослойных отстойников различной конструкции, «Техновод – 2005», 2 Межд. Конф. Научн. практ. конф., посв-я 1000-летию Казани Казань 2005, с. с. 144 – 149.
9. Бауман А.В. Радиальные и тонкослойные сгустители в обогащении руд // Ц 27 Цветные металлы – 2013 г.: Сборник научных статей / Красноярск: Версо, 2013. - С. 106-111.
10. Карабельников В.М. Исследование процесса осаждения взвеси в тонкослойных отстойниках. Сб. научных трудов. АКХ ОНТИ -М.1976, 143с.
11. Симонов Ю.С., Павлов М.С. и др. Лабораторные испытания полочного отстойника. Известия ВУЗов. Строительство и архитектура.-1975, №3,с.71-72.

12. Петров Г.А. Гидравлика переменной массы. Изд. Харьковского университета им. Горького. Харьков.-1984 с.33-40.
13. Новый справочник химика и технолога: Процессы и аппараты химических технологий: в 2 ч. Ч. 2 / Г. М. Островский [и др.]; ред. Г. М. Островский. - СПб. : Профессионал, 2007. - 916 с.
14. Барашникова Т.И., Радциг В.А. Тонкослойное отстаивание. – Челябинск: Челябинск. политехн. ин-т, 1993. – 200 с.
15. Булгакова О.В. Физико-химические основы осветления воды в тонкослойных отстойниках // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.93. – К.: Техніка, 2010. – С.329-333.
16. Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. М., НИИ КВОВ, 1997.
17. Руководство по технологии подготовки питьевой воды, обеспечивающей выполнение гигиенических требований в отношении хлорорганических соединений. М., ОНТИ АКХ, 1989.
18. Указания по совершенствованию технологии коагуляционной обработки воды с целью снижения концентрации остаточного алюминия. М., ОНТИ АКХ, 1988.
19. Усольцев В.А., Соколов В.Ф., Алексеева Л.П., Драгинский В.Л. Подготовка воды питьевого качества в г. Кемерове. М.: ВИМИ, 1996.
20. Перечень материалов, реагентов и малогабаритных очистных устройств, разрешенных Госкомитетом санитарно-эпидемиологического надзора РФ для применения в практике хозяйственно-питьевого водоснабжения. Госкомсанэпиднадзор РФ.
21. Драгинский В.Л., Корабельников В.М., Алексеева Л.П. Предложения по повышению эффективности очистки воды при подготовке водоочистных станций к выполнению требований СанПиН 2.1.4.559-96, М., 1998.
22. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. — М.: МГСУ, 2003. — 680 с.
23. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии ,иродных вод. — М.: Научное издательство, 2005. — 576 с.

gost.e-ecolog.ru