

## Гидравлическая крупность - основная характеристика при расчете отстойников

### Hydraulic size, as the main characteristic in calculating sump

**Бабенко Анастасия Петровна**

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
+7 (931) 256 6066; nastia\_babenko@mail.ru  
Санкт-Петербург  
Российская Федерация*

**Anastasia Petrovna Babenko**

*Saint-Petersburg State Polytechnical University  
+7 (931) 256 6066; nastia\_babenko@mail.ru  
Saint-Petersburg  
Russian Federation*

**Стрелец Ирина Владимировна**

*ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
552-94-60; stroikursi@mail.ru  
Санкт-Петербург  
Российская Федерация*

**Irina Vladimirovna Strelez**

*Saint-Petersburg State Polytechnical University  
552-94-60; stroikursi@mail.ru  
Saint-Petersburg  
Russian Federation*

**Ключевые слова:** гидравлическая крупность, методы очистки, отстойники, формула Стокса, допущения Стокса, эффективность отстаивания.

В статье рассматривается проблема загрязнения сточных вод. На данный момент существует достаточно много способов очистки воды. Самый рациональный из них – отстаивание сточной воды в различных резервуарах.

Для оптимального выбора необходимого отстойника нужно рассчитать его на эффективность.

Основной параметр расчета – гидравлическая крупность. В статье приводятся способы расчета отстойников и способы определения гидравлической крупности.

**Key words:** hydraulic size, methods of purification, sumps, Stokes formula, assumptions Stokes settling efficiency.

A problem of sewage pollution is described in the article. At the moment, there are many ways to purify water. The most rational of them - upholding waste water in various reservoirs. To select the optimum sump need to calculate it for efficiency.

The main parameter of calculation – is hydraulic size. The paper present methods for calculating sedimentation tanks and methods for determining the hydraulic size.

## 1. Введение

Одна из наиболее острых проблем, стоящая перед всем мировым сообществом – проблема экологии. Сюда относятся и проблемы загрязнения воздуха, и вырубка зеленых насаждений, и, конечно же, проблема загрязнения воды. Ежегодно потребности потребления воды возрастают – становится все больше предприятий, нуждающихся в огромном количестве воды, да и люди стали все больше использовать воду в бытовых целях.

Известно, что вода проходит несколько агрегатных состояний – испарение, преобразование в облако, выпадение осадков, образование водных пространств, снова испарение – круговорот воды в природе. За этот долгий путь, который проходит вода, она может очищаться. Все вредные вещества, которые попадают в воду за время ее использования, могут быть переработаны. Стоит предположить, что в воде должно содержаться только определенное количество загрязнений, чтобы она могла очищаться за

один цикл круговорота. Но на данный момент, в воду попадает такое количество вредных веществ, что за один период не происходит процесс полного очищения. Органические примеси, растворенные газы и минеральные вещества, тяжелые металлы, продукты жизнедеятельности - загрязнения, которые невозможно удалить из воды без вмешательства очистных сооружений.

Наиболее опасный источник загрязнений – промышленные предприятия. С развитием промышленности начали все больше задумываться об очистке сточных вод и утилизации выделяемых загрязнений. При проектировании необходимо заранее учитывать количество образуемых при производстве отходов и, основываясь на этом, принимать решения об установке на предприятии очистных сооружений. 5-7 лет назад качественные очистные сооружения были достаточно дорогостоящими, поэтому многие предприятия решали вопрос утилизации сточных вод выбросом их в ближайший водный ресурс.

Однако, сегодня ситуация со сбросом промышленных сточных вод меняется. Все более ужесточающиеся требования к сбросу производственных стоков требуют поиск и разработку наиболее эффективных решений в области их очистки.

Некоторые выдержки из Федерального закона *Общий технический регламент "О водоотведении"*:

- производственные сточные воды, отводимые в системы канализации поселений или непосредственно на сооружения по очистке сточных вод поселений не должны:
- нарушать работу сетей канализации и сооружений на них, сооружений по очистке сточных вод и обработке осадка сточных вод;
- содержать вещества, которые способны засорять трубы канализационной сети или отлагаться на стенках труб;
- вызывать разрушающее действие на материал труб и конструктивные элементы системы канализации и сооружений по очистке сточных вод;
- содержать горючие примеси и вещества, способные образовывать взрывоопасные и токсичные газы в канализационных сетях и сооружениях;
- содержать загрязняющие вещества в концентрациях, нарушающих работу сооружений по очистке сточных вод или препятствующих очистке сточных вод на этих сооружениях в соответствии с требованиями, установленными настоящим Федеральным законом к сточным водам поселений при сбросе в водные объекты и обеспечения экологически безопасного использования или утилизации осадков сточных вод.
- содержать микроорганизмы I - II групп патогенности (опасности).

2. Производственные сточные воды, не отвечающие указанным требованиям, должны подвергаться очистке на сооружениях предварительной очистки сточных вод объектов хозяйственной и иной деятельности перед их сбросом в систему канализации поселений. [1]

Как говорилось ранее, промышленность – стремительно развивающаяся область. Очистные сооружения, которые устанавливались на некоторых предприятиях, на момент запуска справлялись с теми загрязнениями, которое вырабатывало производство. С течением времени на предприятиях начали заменять старую технику на более современную. Новинки превосходят не только по производительности, но и по количеству вредных выбросов. Ни одно старое очистное сооружение не справляется с новой концентрацией загрязнений, находящихся в сточной воде.

В связи с этим встала задача разработки новых и современных систем водоочистки, которые бы отвечали всем требованиям, выдвигаемым предприятиям. Очистка производственных стоков – стремительно развивающаяся область, объединяющая в своем составе водоподготовку, химическое машиностроение, биотехнологические методы и т.д. [2 - 3].

## 2. Обзор способов очистки сточных вод

На данный момент не существует универсальных методов для очистки промышленных стоков. В зависимости от состава загрязнений сточных вод подбирается та или иная технология очистки. В зависимости от технологии выбирается оборудование, устанавливаемое на предприятии.

Сточные воды подвергают очистке различными способами: механической, химической, механохимической, физико-химической и биохимической (или биологической).

Первый появившийся способ очистки – механический. В этом случае для удаления из сточных вод взвешенных веществ и частично загрязнений, находящихся в коллоидном состоянии применяют механические устройства, такие как: решетки, песколовки, отстойники, жироловки, нефтеловушки, маслоотделители, гидроциклоны, фильтры и другие сооружения. Каждое из устройств предназначено для частиц определенных размеров. Для улавливания крупных загрязнений применяют решетки (тряпья, мочалы, бумаги и др.), для улавливания нерастворенных минеральных примесей (песка, шлака, боя стекла и др.) - песколовки, а отстойники применяют для очистки сточных вод от взвешенных веществ.

Метод очистки основан на разнице удельных весов воды и удаляемых частиц. Частицы, удельный вес которых больше, чем удельный вес воды осаждаются на дно под действием силы тяжести. А частицы, у которых удельный вес меньше, чем у воды – всплывают на поверхность. К таким частицам относятся частицы жира, масла, нефти. С помощью специальных лопастей осадок и выплывшие загрязнения удаляются из очистных сооружений.

Решетки, отстойники, песколовки могут являться, как и самостоятельными сооружениями, так и быть составляющими комплекса очистных сооружений. Для удаления большого количества определенных частиц, таких как нефть, концентрированный жир и др., применяются также жироловки, нефтеловушки. Сооружения близки по устройству к отстойникам, но содержат дополнительное оборудование для удаления большого количества всплывающих загрязнений.

Выше перечисленные конструкции являются самыми доступными, так как просты по устройству и не требуют больших вложений.

Еще одни устройства, применяемые для очистки сточных вод – гидроциклоны. Они действуют по принципу закручивание потока, из-за чего возникает центробежная сила. Именно под действием данной силы происходит выделение взвесей из потока. Такие устройства применяют для взвешенных веществ, имеющих большой удельный вес.

Для очистки производственных сточных вод от мелкодисперсных взвешенных веществ используют тканевые, сетчатые или песчаные фильтры.

Для некоторых производственных стоков возможно применение химической очистки. В воду добавляются реагенты, которые взаимодействуют с частицами и происходит реакция. В процессе реакции происходит образование твердого осадка, либо выделение газа, либо окисления и восстановления. Для большинства производств, работающих с металлами такая очистка не применима, вследствие отсутствия веществ, способных вступить в реакцию и привести к необходимому результату. Поэтому данный вид очистки не так распространен и достаточно дорогостоящ из-за большого количества реагентов.

Объединив первый и второй вид очистки сточных вод можно получить - механохимический способ. Добавляя в отсеки механических сооружений коагулянты, можно добиться образования достаточно крупных частиц, которые быстрее осядут под действием силы тяжести или всплывут на поверхность. Как и в механическом способе, специальные лопасти удаляют осадок.

Данный вид очистки более распространен, чем химический, но опять же достаточно дорогостоящ из-за стоимости и количества коагулянтов.

К физико-химическим методам очистки сточных вод относятся сорбция, экстракция, эвапорация, коагуляция, флотация, электролиз, ионный обмен, кристаллизация и др.

Биохимическая (биологическая) очистка заключается в окислении остающихся в воде после механической очистки органических загрязнений с помощью микроорганизмов, способных в процессе своей жизнедеятельности осуществлять минерализацию органических веществ. Биохимическая очистка сточных вод может происходить в условиях, близких к естественным (поля орошения поля фильтрации и биологические пруды), и в искусственно созданных условиях (биологические фильтры и аэротенки). Не любое предприятие может создавать такие условия, моделирование которых является достаточно затратным и трудоемким.

Основываясь на анализе вышеперечисленных отстойников можно сказать, что самым простым и наиболее применяемым очистным сооружением является аппарат механической очистки и чаще всего им оказывается отстойник.

Простота конструкции и достаточно простое действие делает его наиболее привлекательным для предприятий. Выбор типа отстойников должен производиться по некоторым параметрам, среди которых: загруженность отстойника, среднее содержание взвешенных примесей в воде, время очистки единицы воды, экономическая эффективность такой установки [4].

Существует несколько классификаций отстойников. Как говорилось ранее, отстойники могут являться составной частью очистной станции. В зависимости от того, какую функцию они выполняют в технологической схеме, они могут быть первичными и вторичными. Первичные отстойники предназначены для биологической очистки, вторичные - для осветления уже прошедших биологическую очистку сточных вод.

Следующей классификацией является разделение отстойников по типу работы. Они делятся на отстойники непрерывного и периодического действия. В первые вода поступает без перерывов, но очень медленно, чтобы исключить смешивание очищенной и загрязненной воды. При периодическом очищении, вода поступает с некоторыми перерывами. Отстаивание происходит в покоящейся воде. На практике чаще всего применяется отстойники первого действия, т.е. осаждение взвешенных веществ происходит в проточной системе.

Одна из самых принципиальных классификаций отстойников – разделение в зависимости от направления движения потока воды: горизонтальные, вертикальные, радиальные. В горизонтальных отстойниках движение воды происходит горизонтально, в вертикальных отстойниках вода подается снизу и движется вверх, в радиальных – происходит закручивание потока жидкости и вода движется из центра к периферии.

Иногда к отстойникам добавляются дополнительные устройства, такие как осветлители. Одновременно с отстаиванием, происходит фильтрация сточных вод через слой взвешенных веществ.

Отстаивание в первичных отстойниках в среднем происходит в течение 1,5 часов. Продолжительность отстаивания зависит от начального содержания нерастворенных примесей, а также от характеристик этих примесей (их формы и размера, плотности, скорости осаждения). Если частицы способны к агломерации, то время осаждения будет меньше, а полнота очищения будет больше [5].

Основываясь на параметрах нерастворенных примесей, находящихся в сточных водах, устанавливается допустимое остаточное содержание взвешенных веществ в первичных отстойниках. Для каждого конкретного случая подбирается продолжительность отстаивания, за которое необходимо добиться нужного результата.

Число и характеристики отстойника должны подбираться на основе технико-экономических характеристик.

Основной параметр выбора отстойников - эффективность отстаивания.

Эффективность отстаивания (эффективность осадкообразования в отстойниках) вычисляют по формуле:

$$\Theta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} * 100 \quad (2)$$

где  $C_1$  - концентрация взвешенных частиц до отстаивания,

$C_2$  – концентрация взвешенных частиц после отстаивания.

Концентрации определяются пробами неочищенной и очищенной воды. Средний показатель 1,5 часового отстаивания 40-60 %, при добавлении к очистным сооружениям осветлителей, эффективность возрастает до 70 %.

Для более полного очищения сточных вод добавляют флокулянты, способствующие слипанию частиц, следственно увеличивая их удельный вес, который пропорционально увеличивает скорость частиц. Соответственно, за одно и тоже время при добавлении флокулянтов в одних и тех же отстойниках осядет больше нерастворенных веществ.

Скорость можно рассчитать по формулам (3) и (4), действительную скорость осаждения на практике определяют экспериментально.

$$R_{e_0} = \frac{A_r}{18 + 0.61\sqrt{A_r}} \quad (3)$$

$$w_0 = \frac{d^2 g (\rho_r - \rho_b)}{18\mu_b} R \quad (4)$$

где  $R_{e_0}$  - скорость падения частиц, мм/с;

$A_r$  - плотность частиц, г/мм<sup>3</sup>;

$w_0$  - гидравлическая крупность, мм/с;

$\rho$  - плотность частиц, г/мм<sup>3</sup>;

$d$  - диаметр частиц, мм;

$R$  - радиус частиц, мм;

$g$  - скорость свободного падения, мм/с<sup>2</sup>.

На основе расчетов выбирается наиболее экономически выгодный отстойник и подбираются наиболее оптимальные его размеры.

Практика показывает, что различные типы отстойников применяют при определенной пропускной способности очистных сооружений. Для самой низкой пропускной способности (до 10 000 м<sup>3</sup>/сутки) и низком уровне грунтовых вод применяются вертикальные отстойники. При средней пропускной способности (15 000—20 000 м<sup>3</sup>/сутки) применяют горизонтальные и радиальные отстойники. Если пропускная способность очистных сооружений выше 20 000 м<sup>3</sup>/сутки применяют радиальные отстойники с вращающимся распределительным устройством.[6 - 7]

### 3. Необходимость и цели исследования

Концентрация взвешенных веществ напрямую зависит от скорости осаждения частиц - гидравлической крупности. Чем выше скорость осаждения, тем меньше концентрация взвешенных веществ после прохождения очистного сооружения. Задавая определенное значение эффективности, рассчитываются необходимые параметры отстойника. В настоящее время расчеты производятся с достаточно большим запасом из-за не совершенности определения гидравлической крупности. Именно поэтому закладываются увеличенные размеры резервуаров отстойников, что значительно повышает их стоимость. С течением времени земельные ресурсы подорожают намного больше, чем дополнительные фильтрующие устройства, которые можно установить в отстойник. Таким образом необходимо добиться того, чтобы при минимальных затратах производство получало наибольшую эффективность отстаивания. Одним из возможных решений данной проблемы является наиболее точное определение гидравлической крупности. На нынешний момент для определения данного параметра используется только одна формула – формула Стокса.

Основным уравнением скорости осаждения (гидравлической крупности) взвешенных частиц в воде является формула Стокса [9]:

$$u = \frac{d^2(\rho_{ч} - \rho_{в})g}{18\mu} \quad (1)$$

$\mu$  – гидравлическая крупность, мм/с;

$d$  – диаметр частиц, мм;

$\rho$  – плотность частиц, г/мм<sup>3</sup>;

$g$  – скорость свободного падения, мм/с<sup>2</sup>.

Формула Стокса верна при некоторых допущениях. Во-первых, частицы должны иметь форму шара. Поскольку взвешенные частицы далеки от шарообразной формы, вводится понятие «эквивалентный диаметр», который равен диаметру шарообразной частицы, имеющей одинаковую с данной частицей гидравлическую крупность.

Во-вторых, процесс осаждения должен происходить в монодисперсной агрегативно-устойчивой системе, когда частицы имеют одинаковые размеры и при осаждении не меняют своей формы и размеров.

В результате допущений выходит, что Стокс рассматривает движение частицы при малых значениях числа Рейнольдса, т.е. ламинарное движение.



Различные исследователи пытались усовершенствовать теорию Стокса.

Профессор Осеен видел причину неполноты решения Стокса в его допущении о малости сил инерции; в действительности уже при сравнительно небольших значениях числа Рейнольдса силы инерции достигают существенно значимой величины в особенности достаточном удалении от шара. Чтобы устранить этот недочет Осеен предлагает оставить в уравнении Навье-Стокса часть инерционных членов. Решение Осеена оказывается справедливым также при небольших числах Рейнольдса.

Профессор Прандль предположил, что в маловязких жидкостях, каковыми являются вода и воздух, уже в весьма большом удалении от стенок скорость потока достигает значительной величины. Следовательно влияние сил внутреннего трения (вязкости) становится пренебрежимо малым уже на весьма малом расстоянии от поверхности тела.

Опыты Брюгера и Никурадзе показали, что в пограничном слое действительно происходит резкое изменение скоростей, в остальной области потока наблюдается весьма малое изменение скорости, что полностью совпадает с предположениями Прандля. Но решение Прандля справедливо лишь при некоторых числах Рейнольдса и поэтому является неполным.

Профессор Ричардс опытно пытался установить экспериментальную кривую для коэффициента сопротивления песчаных и гравелистых частиц в зависимости от числа Рейнольдса и определить границу применимости различных расчетных зависимостей. Опыты производились с частицами, просеянными через сито, причем для каждой фракции определялась на основании 100 наблюдений статистическая средняя величина скорости. В результате опыта было выявлено, что опытные точки располагаются на графике, имея в качестве асимптот две прямых, одна из которых определяется формулой Стокса (при малых числах Рейнольдса  $R_e$ ), а другая – формулой квадратичного сопротивления (при  $\lg R_e > 2$ ) [10 - 11].

В результате описанных выше исследований за основу определения гидравлической крупности шарообразной частицы при ламинарном режиме была выбрана формула Стокса.

Как отмечалось выше, формула Стокса верна для одиночной частицы. В случае сточных вод частицы имеют свойство коагулироваться. Соответственно, необходимо либо вносить в данную формулу поправочный коэффициент, либо унифицировать гидравлическую крупность для определенного вида частиц.

#### 4. Экспериментальное исследование

Более точное определение гидравлической крупности можно добиться опытным путем. Сложность состоит в том, что, во-первых, процесс отстаивания происходит в полидисперсной неустойчивой системе, во-вторых, загрязнения имеют различный размер и форму, в-третьих, при отстаивании частицы могут коагулироваться, образуя новые частицы другой формы, размера, плотности. Все эти факторы достаточно весомо влияют на скорость осаждения частиц. Поэтому проводят ряд лабораторных экспериментов для сточных вод, содержащих частицы с различными параметрами, устанавливая кинетику осаждения.

Обычно для эксперимента задают высоту базы, которые не меняют для ряда опытов. Если глубина отстаивания в натуральных условиях  $H$  может достигать от 2 до 4 м, то в лабораторных условиях высота базы от 1 до 1,5 м. В ходе эксперимента моделируют различные условия содержания в сточных водах взвешенных частиц. После составляют графики зависимости эффекта осаждения  $\mathcal{E}$  от продолжительности отстаивания  $t$ , или эффекта осаждения  $\mathcal{E}$  от гидравлической крупности частиц  $u_0$  (рис.1) Эффект осаждения напрямую зависит от высоты слоя воды, в котором происходит отстаивание. Условия наиболее приближенные к натурным дают более точные результаты [12 - 16].

Предприятия по разработке новых видов очистных сооружений зачастую не имеют возможности каждый раз проводить новые опыты для новых образцов сточных вод. Поэтому применяют приближенные значения гидравлической крупности, которые использовали ранее, для определения новых расчетных параметров.

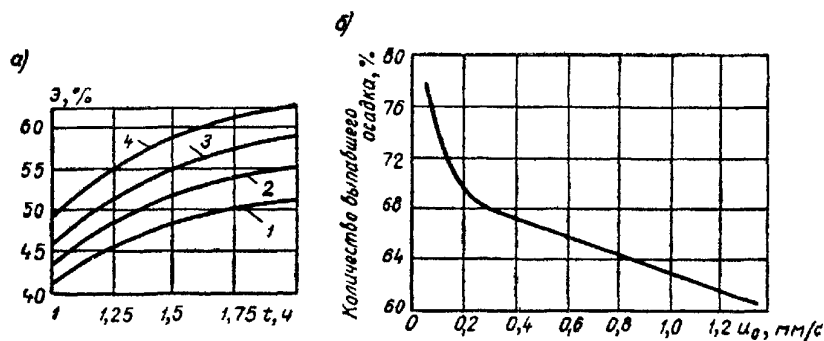


Рис. 1. Характеристики осаждения взвешенных частиц

Для расчета отстойников на любую степень полноты выделения нерастворенных примесей из сточных вод существуют несколько основных параметров:

- объем сточных вод, требуемых очистки;
- первоначальное содержание взвешенных частиц – начальная концентрация  $C_1$  ;
- содержание нерастворенных примесей в воде, прошедших очистку - конечная концентрация  $C_2$ ; допустимая концентрация определяется санитарными нормами или технологическими требованиями;
- условная гидравлическая крупность  $u_0$  для частиц, которые необходимо выделить из сточных вод;
- высота базы, которая задавалась при проведении лабораторных опытов [17].

Учитывая данные параметры, подбирается отстойник, способный очистить воду до требуемого нормами уровня содержания взвешенных веществ.

## 5. Выводы

На сегодняшний день происходит повсеместная автоматизация производства и переход на новые технологии. Все больше возрастает производственная мощность и потребление природных ресурсов, в том числе и воды. И соответственно все больше увеличивается объем использованной и загрязненной воды. Нельзя не сказать, что все эти факторы значительно влияют на состояние окружающей среды, а также здоровье человека. Экологи обеспокоены таким состоянием вещей и стараются применять все более новые технологии при очистке сточных вод.

Необходимо задумываться не только о ситуации на сегодняшний день, но также и смотреть в будущее. Необходимо добиваться оптимального соотношения цены и качества очистных сооружений. На данный момент устройства занимают достаточно большую площадь, а значит с увеличением объема загрязненной жидкости, будет возрастать площадь очистных сооружений, что является достаточно дорогостоящей процедурой.

В настоящее время для расчетов отстойников различных видов в качестве основной характеристики используется такой параметр, как гидравлическая крупность.

Отстойник рассчитывается с большим запасом, так как на данный момент расчет гидравлической крупности производится с несколькими допущениями. Одно из самых главных допущений - расчет данного параметра для одиночной шарообразной частицы. Необходимо выявить зависимости, которые помогут определять гидравлическую крупность для частиц различной крупности, а также для одиночных и коагулированных частиц.

С помощью уточненного расчета гидравлической крупности можно будет добиться уточненного определения эффективности каждого из типов отстойников. Следовательно, параметры отстойника можно будет сократить, тем самым значительно уменьшить стоимость очистного сооружения. Впоследствии, если отстойник будет не справляться с объемом взвешенных частиц, находящихся в сточной воде, можно будет добавлять различные фильтры.

## Литература

1. Федеральный Закон «Общий технический регламент "О водоотведении" введ. 07.12.2011.
2. Качество воздуха в России. ГГО им. А. С. Воейкова / под ред. Безуглой Э. Ю. СПб: Изд-во ОТН, 1996. 250 с.
3. Яковлев С. В., Калицун В. И. Механическая очистка сточных вод. М.: Изд-во Стройиздат, 1972. 230 с.
4. Шифрин С. М. Современные способы механической очистки сточных вод. Л.-М.: Изд-во Госстройиздат, 1956. 179 с.
5. Федоров Н. Ф., Шифрин С. М. Канализация. М.: Изд-во Высшая школа, 1968. 256 с.
6. Köster Stephan Bemessungsregeln für Nachklärbecken // WWT: Wasserwirt. Wassertechn.: Das Praxismagazin für Entscheidungen im Wassermanagement. 2005. No. 1-2. 210 p.
7. Штокман Е. А. Очистка воздуха. М.: Изд-во АСБ, 2000. 300 с.
8. Клячко В. А., Апельцин И. Э. Очистка природных вод. М.: Изд-во Стройиздат, 1971. 579 с.
9. Хачатрян А. Г. Отстойники на оросительных системах. М.: Изд-во Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1995. 150 с.
10. Гиргидов А. Д. Механика жидкости и газа (гидравлика). С-Пб: Изд-во СПбГПУ, 2007. 340 с.
11. Леви Я. И. Отстойники и промывные устройства. Проектирование, теория и расчет. Л.-М.: Изд-во ОНТИ, 1938. 212 с.
12. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии, 8 изд. М.: Изд-во ХимТехнология, 1971. 185 с.
13. Колинко В. М. Разработка, создание метода расчета и внедрение тонкослойных отстойников новых конструкции для разделения суспензий. М.: Изд-во Стройиздат, 1993. 350 с.
14. Плановский А. Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии, 2 изд. М.: Изд-во Транспорт, 1972. 370 с.
15. Гиргидов А. Д. Турбулентная диффузия с конечной скоростью. С-Пб: Изд-во СПбГПУ, 1996. 234 с.
16. Шифрин С. М. Новый метод расчета горизонтальных и радиальных канализационных отстойников // Водоснабжение и канализация. М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1958. С. 95-98.
17. Гиргидов А. Д. Расчет длины ирригационных отстойников // Охрана окружающей среды от загрязнения промышленными выбросами. Л.: Изд-во ЛТИ ЦБП, 1975. С. 56-63.
18. Кумина Т. Д. Расчет выноса взвеси из радиальных и горизонтальных отстойников // Труды Ленинградского политехнического института. № 383. Ленинград: Изд-во: ЛГПИ 1982. С. 77-80.
19. Стрелец К. И. Моделирование течений в пылеулавливающем оборудовании // Сборник тезисов научно-исследовательских работ студентов и аспирантов. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2008. С. 47-49.
20. Стрелец К. И. Очистка промышленных газов // Молодые ученые – промышленности северо-западного региона : матер. политехн. симпоз. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. 36 с.
21. Стрелец К. И. Эффективность инерционных фильтров сепараторов / К. И. Стрелец, А. В. Тананаев // Технология, строительство и эксплуатация инженерных систем : матер. междунар. науч.-техн. конф. СПб.: Изд-во СПбОДЗПП, 2002. С. 33-34.
22. Dirgo J. Cyclone Collection Efficiency : Consumption of Experimental Results with Theoretical Prediction Boston: WWT Elsevier, 1985. 415 p.
23. Zhongchao Tan Mechanism or particle separation in aerodynamic air cleaning. Urbana : WWT PhD, 2004. 14 p.
24. Klett C. The influence of attrition and cyclone performance of the particle size distribution in a CFB system // Circulating Fluidized Bed Technology VIII : Proceedings of the 8 International Conference on Circulating Fluidized Beds. Beijing, 2005. Pp. 637-644.
25. Hoffmann Alex C. Gas Cyclones and Swirl Tubes Berlin: WWT Springer-Verl., 2002. 421 p.
26. Zhao Bing-tao Effects of Flow Parameters and Inlet Geometry on Cyclone Efficiency // The Chinese Journal of Process Engineering. 2006. No. 2. Pp. 178-180.

## References

1. *Federal'nyj Zakon «Obshhij texnicheskij reglament "O vodootvedenii" vved. 07.12.2011.* (rus)
2. *Kachestvo vozduxa v Rossii. GGO im. A. S. Voejkova / pod red. Bezugloj E'. Yu. SPb: Izd-vo OTN, 1996. 250 s.* (rus)



3. Yakovlev S. V., Kalicun V. I. *Mexanicheskaya ochistka stochnyx vod. M.: Izd-vo Strojizdat, 1972. 230 s. (rus)*
4. Shifrin S. M. *Sovremennye sposoby mexanicheskoy ochistki stochnyx vod. L.-M.: Izd-vo Gosstrojizdat, 1956. 179 s. (rus)*
5. Fedorov N. F., Shifrin S. M. *Kanalizaciya. M.: Izd-vo Vysshaya shkola, 1968. 256 s. (rus)*
6. Köster Stephan *Bemessungsregeln für Nachklärbecken // WWT: Wasserwirt. Wassertechn.: Das Praxismagazin für Entscheidungen im Wassermanagement. 2005. No. 1-2. 210 p.*
7. Shtokman E. A. *Ochistka vozduxa. M.: Izd-vo ASB, 2000. 300 s. (rus)*
8. Klyachko V. A., Apel'cin I. E'. *Ochistka prirodnyx vod. M.: Izd-vo Strojizdat, 1971. 579 s. (rus)*
9. Khachatryan A. G. *Otstojniki na orositel'nyx sistemax. M.: Izd-vo Gosudarstvennoe izdatel'stvo sel'skoxozyajstvennoj literatury, 1995. 150 s. (rus)*
10. Girgidov A. D. *Mexanika zhidkosti i gaza (gidravlika). S-Pb: Izd-vo SPBGPU, 2007. 340 s. 9. (rus)*
11. Levi Ya. I. *Otstojniki i promyvnye ustrojstva. Proektirovanie, teoriya i raschet. L.-M.: Izd-vo ONTI, 1938. 212 s. (rus)*
12. Kasatkin A. G. *Osnovnye processy i apparaty ximicheskoy texnologii, 8 izd. M.: Izd-vo XimTexnologiya, 1971. 185 s. (rus)*
13. Kolin'ko V. M. *Razrabotka, sozdanie metoda rascheta i vnedrenie tonkoslojnyx otstojnikov novyx konstrukcii dlya razdeleniya suspenzij. M.: Izd-vo Strojizdat, 1993. 350 s. (rus)*
14. Planovskij A. N., Nikolaev P. I. *Processy i apparaty ximicheskoy i nefteximicheskoy texnologii, 2 izd. M.: Izd-vo Transport, 1972. 370 s. (rus)*
15. Girgidov A. D. *Turbulentnaya diffuziya s konechnoj skorost'yu. S-Pb: Izd-vo SPBGPU, 1996. 234 s. (rus)*
16. Shifrin S. M. *Novyj metod rascheta gorizonta'nyx i radial'nyx kanalizacionnyx otstojnikov // Vodosnabzhenie i kanalizaciya. M.: Izd-vo MKX RSFSR, 1958. S. 95-98. (rus)*
17. Girgidov A. D. *Raschet dliny irrigacionnyx otstojnikov // Oxrana okruzhayushhej sredy ot zagryazneniya promyshlennymi vybrosami. L.: Izd-vo LTI CBP, 1975. S. 56-63. (rus)*
18. Kumina T. D. *Raschet vynosa vzvesi iz radial'nyx i gorizonta'nyx otstojnikov // Trudy Leningradskogo politexnicheskogo instituta. № 383. Leningrad: Izd-vo: LGPI 1982. S. 77-80. (rus)*
19. Strelec K. I. *Modelirovanie techenij v pyleulavlivayushhem oborudovanii // Sbornik tezisov nauchno-issledovatel'skix rabot studentov i aspirantov. SPb.: Izd-vo SPbGPU, 2008. S. 47-49. (rus)*
20. Strelec K. I. *Ochistka promyshlennyx gazov // Molodye uchenye – promyshlennosti severo-zapadnogo regiona : mater. politexn. simpoz. SPb.: Izd-vo SPbGTU, 2001. 36 s. (rus)*
21. Strelec K. I. *E'ffektivnost' inercionnyx fil'trov separatorov / K. I. Strelec, A. V. Tananaev // Texnologiya, stroitel'stvo i e'kspluataciya inzhenernyx sistem : mater. mezhdunar. nauch.-texn. konf. SPb.: Izd-vo SPbODZPP, 2002. S. 33-34. (rus)*
22. Dirgo J. *Cyclone Collection Efficiency : Consumption of Experimental Results with Theoretical Prediction Boston: WWT Elsevier, 1985. 415 p. (rus)*
23. Zhongchao Tan *Mechanism or particle separation in aerodynamic air cleaning. Urbana : WWT PhD, 2004. 14 p.*
24. Klett C. *The influence of attrition and cyclone performance of the particle size distribution in a CFB system // Circulating Fluidized Bed Technology VIII : Proceedings of the 8 International Conference on Circulating Fluidized Beds. Beijing, 2005. Pp. 637-644.*
25. Hoffmann Alex C. *Gas Cyclones and Swirl Tubes Berlin: WWT Springer-Verl., 2002. 421 p.*
26. Zhao Bing-tao *Effects of Flow Parameters and Inlet Geometry on Cyclone Efficiency // The Chinese Journal of Process Engineering. 2006. No. 2. Pp. 178-180.*