

**Исследования процесса осаждения взвешенных веществ  
в тонкослойных отстойниках**

Алладустов У. Б.<sup>1</sup>, Холов Ф. М.<sup>1</sup>, Ануфриев В. Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самаркандский государственный архитектурно  
Строительный университет

Самарканд, Республика Узбекистан,

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Рассмотрены процессы осаждения грубодисперсных и скоагулированных примесей природных и сточных вод в тонкослойном отстойнике. Приведены результаты экспериментальные исследования процесса осаждения примесей в тонкослойном отстойнике, в которых получены данные, что минимальная степень осветления наблюдается в элементах, установленных вертикально. По мере уменьшения угла наклона тонкослойного элемента до 60° эффективность отстаивания постепенно увеличивается, а далее изменяется незначительно.*

Грубодисперсные примеси выделяют из природных и сточных вод чаще всего отстаиванием, флотацией и фильтрованием. Выбор методов осветления воды зависит от дисперсности частиц, физико-химических свойств и концентрации примесей, расхода обрабатываемых вод, требуемой степени осветления и т. д.

Наиболее распространенными и простыми установками предварительной очистки суспензий являются отстойники, где основная масса взвешенных веществ выделяется из воды гравитационным осаждением [1; 2].

Поэтому в технике очистки природных и сточных вод большое внимание уделяется отстойникам, так как от их эффективности и производительности зависит работа очистной станции.

Процесс осаждения взвеси в сооружениях для осветления воды зависит от ряда факторов, и его исследование представляет собой сложную задачу. На характер осаждения частиц влияют их размер и форма, наличие и режим движения осветляемой воды, вязкость, изменяющаяся с температурой. Встречаемые в практике мутные воды всегда представляют собой полидисперсную систему, т. е. содержат частицы различных размеров, а также различных форм. Наконец, весьма часто приходится иметь дело с осаждением агрегативно неустойчивой взвеси, частицы которой в процессе осаждения меняют свою структуру и размеры. Все это крайне затрудняет

ет математическое выражение законов осаждения взвеси и получение точных методов расчета отстойников.

Согласно теории Хазена эффективность отстаивания в идеальных отстойниках является функцией поверхности отстаивания, скорости оседания частиц и расхода жидкости, но не зависит от глубины осадителя. То есть для определенной взвеси производительность отстойника зависит только от эффективной площади осаждения  $A_{ef}$ . В традиционных отстойниках показатель  $A_{ef}$  определяется действительной поверхностью осадителя  $A_{ef} = A$ . В тонкослойных отстойниках поток жидкости разделяется параллельными полками или пластинами на несколько слоев. В ряде случаев, когда эти полки параллельны горизонтальной плоскости,  $A_{ef}$  приблизительно в  $n$  раз больше действительной поверхности отстойника, где  $n$  – количество горизонтальных полок. Но при такой конструкции существует трудность удаления выпавшего осадка с поверхности полок. Необходима либо установка специальных устройств, либо прерывание процесса отстаивания и смывание осадка. При наклонном расположении пластин или полок осадок может сползть самопроизвольно. Угол наклона при этом должен быть не менее  $45^\circ$ . Эффективная площадь осаждения в тонкослойных отстойниках с наклонными пластинами, которая определяется суммой площадей проекций каждой пластины на горизонтальную плоскость, несколько меньше, чем с горизонтальными:

$$A_{ef} = n \cdot A \cdot \cos \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол наклона пластин к горизонтали;  $n$  – количество пластин.

В пластинчатых отстойниках осадить можно только те частицы, которые за время  $t_v$  пребывания жидкости между пластинами достигают их поверхности

$$t_v = \frac{l}{v},$$

где  $l$  – активная длина пластины, м;  $v$  – средняя скорость потока между двумя пластинами, м/с.

Разделение высоты потока жесткими перегородками (параллельными его движению), превращает безнапорный поток со свободной поверхностью в напорный. Поэтому для расчета тонкослойных отстойников М. В. Демура рекомендует использовать максимальное значение скорости, а не среднее [3].

Максимальное расстояние  $h_s$ , которое требуется преодолеть частице, находящейся между двумя пластинами, чтобы достигнуть поверхности пластины определяется по формуле

$$h_s = \frac{h_0}{\cos \alpha},$$

где  $h_0$  – расстояние между пластинами по нормали, м;  $\alpha$  – угол наклона пластин.

Частица со скоростью осаждения равной гидравлической крупности  $u_s$  проходит это расстояние за время

$$t_s = \frac{h_0}{\cos \alpha \cdot u_s}.$$

где  $u_s$  – гидравлическая крупность, м/с.

Условие для осаждения частиц выражается в виде

$$\begin{aligned} t_s &\leq t_v, \\ \frac{l}{v} &\leq \frac{h_0}{\cos \alpha \cdot u_s}, \\ u_s &= \frac{h_0 v}{l \cos \alpha}. \end{aligned} \tag{1}$$

Формула (1) определяет минимальный размер частиц (гидравлическую крупность), которые могут быть осаждены в тонкослойном отстойнике. Причем необходимо учитывать, что  $l$  – это только активная длина пластины, где преобладает ламинарное движение потока. Расчет полной длины пластин имеется в работе Демуры [3]. Общая длина пластин  $L$  определяется суммой длин трех участков пластины

$$L = l_1 + l_2 + l,$$

где  $l_1$  – длина участка, на котором поток переходит из турбулентного режима переходит в ламинарный, м;  $l_2$  – длина участка, на который сносится выпавший осадок, м;  $l$  – активная длина, м.

Основные условия эффективного осаждения взвеси в отстойниках – ламинарность и равномерность течения, которые определяются соответственно критерием Рейнольдса:

$$Re = \frac{Q}{2 \cdot (h_o + B) \cdot \nu}$$

и критерием Фруда

$$Fr = \frac{2 \cdot Q^2 \cdot (h_o + B)}{Q \cdot B^3 \cdot h_o^3},$$

где  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости жидкости, Па·с;  $B$  – ширина пластины, м;  $Q$  – объемный расход суспензии через канал, м<sup>3</sup>/с;

Традиционные горизонтальные отстойники работают обычно в пределах чисел Рейнольдса  $Re = 1000–2500$ .

В тонкослойных отстойниках можно достигнуть скоростей потока значительно больших, чем в обыкновенных отстойниках, при одновременном сохранении ламинарности в канале. Исследования показали, что в диапазоне чисел Рейнольдса от 500 до 2000 сохраняется оптимальные условия для седиментации взвеси.

Экспериментальные исследования процесса осаждения взвеси на тонкослойном отстойнике проводились на лабораторной установке. Эффективность осветления воды на тонкослойном отстойнике вычисляли как разность концентрации взвешенных веществ в исходной (коагулированной) и осветленной воды, отнесенной к первоначальной концентрации. В процессе проведения исследований постоянно фиксировалось качества исходной и очищенной воды по основными физико-химическими показателями (взвешенные вещества, мутность, щелочность, рН), а также по технологическому параметру (доза растворимого алюминия, продолжительность отстаивания и расход воды).

В целях получения достоверной информации проведены опыты по отстаиванию воды при различных скоростях потока и углах наклона тонкослойного элемента.

Экспериментальные исследования процесса тонкослойного осветления воды показали (рис. 1–3), что необходимый эффект осветления обеспечивается при скорости движения воды в тонкослойных элементах 5 м/ч при дозе алюминия 10 мг/л и 7 м/ч при дозе алюминия 15 мг/л. При возрастании средней линейной скорости от 1,0 до 8,0 мм/с степень осветления снижается от 70 % до 3 % при концентрации взвешенных веществ 974 мг/л и от 81 % до 32 % при концентрации взвешенных веществ 1750 мг/л [4; 5].

В целях получения дополнительной информации по режиму осветления проведены опыты по отстаиванию воды при различных скоростях потока и углах наклона тонкослойного элемента в отстойнике. В результате, которых получена, что минимальная степень осветления наблюдается в элементе, установленном вертикально. По мере уменьшения угла наклона

тонкослойного элемента до  $60^\circ$  эффективность отстаивания постепенно увеличивается, а далее изменяется незначительно [4].

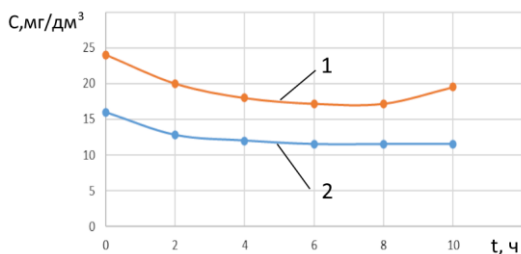


Рис. 1. Изменение концентрации взвешенных веществ в осветленной воде: концентрация взвешенных веществ в исходной воде  $C_{исх} = 900-1200$  мг/л; доза коагулянта  $G_{Al} = 10$  мг/л;  $1 - v = 7$  м/ч;  $2 - v = 5$  м/ч

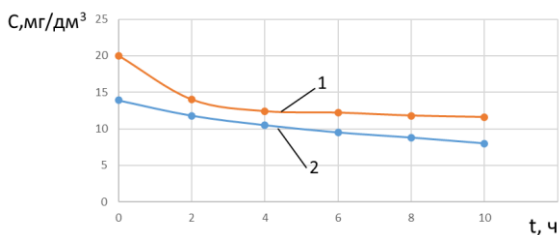


Рис. 2. Изменение концентрации взвешенных веществ в осветленной воде: концентрация взвешенных веществ в исходной воде  $C_{исх} = 900-1200$  мг/л; доза коагулянта  $G_{Al} = 15$  мг/л;  $1 - v = 7$  м/ч;  $2 - v = 5$  м/ч

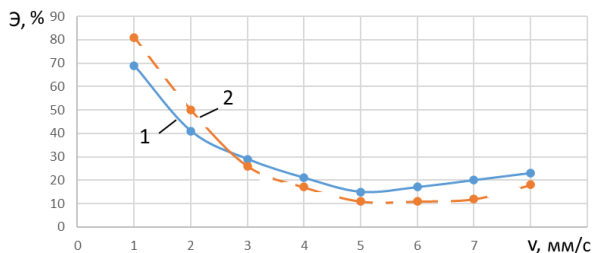


Рис. 3. Эффективность удаления взвешенных веществ в зависимости от скорости движения воды в отстойнике при концентрации взвешенных веществ в исходной воде:

$1 - C_{исх} = 974$  мг/л;  $2 - C_{исх} = 1750$  мг/л

В результате рассмотрения процесса осаждения взвеси в тонкослойном отстойнике отмечены, что одной из задач в области водоподготовки является интенсификация работы отстойных сооружений. Решение её может быть достигнуто путём использования метода тонкослойного отстаивания.

Значительные преимущества, достигаемые при отстаивании в тонкослойной отстойниках, позволяет с успехом применять такие сооружения для очистки жидкостей в самых разнообразных условиях.

### Литература

1. Бабаев, И. С. Технология и оборудование для очистки высокомутных природных вод: автореферат дис...докт. техн. наук / И. С. Бабаев, М., 1986. – 48 с.

2. Ганбаров, Э. С. Технология очистки природных и сточных вод на установке «Плот-фильтр» / Э. С. Ганбаров. – Баку: Асар, 1999. – 104 с.

3. Демура, М. В. Проектирование тонкослойных отстойников / М. В. Демура. – Киев: Будівельник, 1981. – 52 с.

4. Алладустов, У. Б. Теоретическая сущность процесса тонкослойного осветления воды/ У. Б. Алладустов // Проблемы и решения инновационных технологий в сфере инженерных коммуникаций: материалы Междун. науч.-практ. конф., Самарканд, 21 мая 2020. –Самарканд, 2020. – СамГА-СИ, ч. 1– С. 138–141.

5. Алладустов, У. Б. Очистки высокомутных вод электрокоагуляцией с последующим тонкослойным осветлением / У. Б. Алладустов, Ф. М. Холов. – Лондон: LAMBERT Academic Publishing, 2021. – 123 с.

УДК 628.354

### **Обработка осадка сточных вод на биоинженерных сооружениях**

Ануфриев В. Н.<sup>1</sup>, Волкова Г. А.<sup>2</sup> Алферчик В. В.<sup>1</sup>, Семикашева Э. Э.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь,

<sup>2</sup>Брестский государственный технический университет  
Брест, Республика Беларусь

*В работе рассмотрены особенности функционирования сооружений для обработки осадка сточных вод в условиях, близких к естественным. Грунтово-растительные иловые площадки предназначены для обработки осадка и имеют определенные особенности, а эффективность обработки в них достигается за счет сочетания физических и биохимических процессов. При подаче осадка твердые примеси удерживаются на поверхности фильтрующей загрузки секции площадки, а жидкость фильтруется*