

УДК 519.87:628.33

С. М. Мусаелян, Р. В. Потоловский, Н. А. Сахарова, О. П. Радченко**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД И ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ НА ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛИЗАЦИИ**

Исследовался процесс отстаивания сточных вод в полидисперсной агрегативно-неустойчивой системе с большим диапазоном размеров частиц, которые в процессе осаждения агломерируются, изменяют свою форму, плотность и размеры.

К л ю ч е в ы е с л о в а: моделирование, отстойник, коэффициент.

The authors studied waste water sludge processing in polydisperse aggregative unstable system with a wide range of the size of particle agglomerating during the precipitation process and changing their form, density and size.

К е y w o r d s: modelling, settling pond, coefficient.

Процесс осаждения взвешенных веществ в первичных отстойниках протекает в условиях ламинарного режима течения жидкости при значениях числа Рейнольдса менее двух ($Re < 2$). При этом основным уравнением скорости осаждения (гидравлической крупности) взвешенных частиц в жидкости является формула Стокса:

$$U_0 = \frac{1}{18} \frac{\rho_1 - \rho_{\text{ж}}}{\mu} g d^2, \quad (1)$$

где U_0 — гидравлическая крупность частицы, м/с; ρ_1 — плотность частицы, кг/м³; $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости, кг/м³; μ — коэффициент динамической вязкости жидкости, Па·с; d — диаметр шарообразной частицы, м.

Общеизвестно, что формула Стокса верна при некоторых допущениях. Во-первых, частицы должны иметь форму шара. Поскольку форма взвешенных частиц, находящихся в сточной жидкости, далека от шарообразной, 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, предполагающей, что частицы имеют одинаковые размеры и при осаждении не меняют своей формы и размеров.

Поскольку процесс отстаивания сточных вод происходит в полидисперсной агрегативно-неустойчивой системе с большим диапазоном размеров частиц, которые в процессе осаждения агломерируются, изменяют свою форму, плотность и размеры (вследствие этого изменяется и скорость их осаждения), то кинетика процесса осаждения или всплывания грубодисперсных примесей сточных вод устанавливается опытным путем в лабораторных условиях.

Характеристика процесса осаждения взвешенных частиц выражается в виде графиков функциональной зависимости эффекта отстаивания $\varepsilon_{\text{но}}$ от продолжительности отстаивания t_{set} (рис. 1) [1].

Эффект отстаивания зависит от высоты слоя жидкости, в котором происходит осаждение взвешенных частиц. В лабораторных условиях кинетика процесса отстаивания сточных вод изучается при высоте слоя жидкости меньшей, чем глубина натуральных сооружений H_{no} .

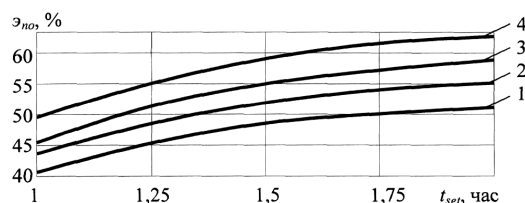


Рис. 1. Кривые осаждения нерастворенных примесей из бытовых сточных вод в зависимости от продолжительности отстаивания при различных начальных концентрациях взвешенных веществ: 1 — $C_{en} = 200$ г/м³; 2 — $C_m = 300$ г/м³; 3 — $C_{en} = 400$ г/м³; 4 — $C_{en} = 500$ г/м³

Для агломерирующих взвешенных веществ, преобладающих в городских сточных водах, Академией коммунального хозяйства им К. Д. Памфилова и Московским инженерно-строительным институтом им В. В. Куйбышева предложено соотношение [2], позволяющее пересчитывать время T_{set} , необходимое для получения заданного эффекта очистки в отстойниках ε_{no} , по результатам лабораторных исследований в цилиндрах высотой h при продолжительности отстаивания t_{set} .

$$T_{set} = t_{set} \left(\frac{H_{no}}{h} \right) \text{ при } H_{no} = \text{const}, \quad (2)$$

где n — показатель степени, отражающий влияние агломерации, которое зависит от специфических свойств загрязнений сточной жидкости.

На эффект работы отстойников в значительной мере оказывает влияние гидравлический режим, при котором протекают процессы отстаивания. Одной из его основных характеристик является коэффициент объемного использования K_{no} , при помощи которого оценивается доля полезного объема сооружения, обеспечивающая эффективность задержания взвешенных веществ в общем, заполняемом сточной жидкостью объеме отстойника.

Для определения гидравлической крупности взвешенных частиц, задерживаемых в первичных отстойниках, u_0 , мм/с, согласно методикам, предлагаемым [1], рекомендуется математическая зависимость, отражающая физический смысл этого показателя:

$$u_0 = \frac{1000 K_{no} H_{no} n}{a t_{set} \left(\frac{K_{no} H_{no}}{h} \right)} \quad (3)$$

Значения коэффициента a приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов

Температура сточной жидкости, °С	30	25	20	15	10
$\alpha, \alpha_{во}$	0,80	0,90	1,0	1,14	1,30

Гидравлическая нагрузка на радиальный первичный отстойник q_{set} , м³/ч, при которой обеспечивается продолжительность нахождения в нем сточной жидкости, необходимая для осаждения взвешенных частиц с гидравлической крупностью u_0 , мм/с, определяется по формуле

$$q_{\text{set}} = 2,8K(D_{\text{no}}^2 - d_{\text{no}}^2)(u_0 - v_{\text{tb}}). \quad (4)$$

Турбулентная составляющая потока сточной жидкости в отстойнике v_{tb} зависит от скорости потока на середине отстойника V_{set} , мм/с:

$$V_{\text{set}} = \frac{2q_{\text{no}}}{\pi D H_{\text{no}}}. \quad (5)$$

До середины 1980-х годов в нашей стране и государствах — участниках СЭВ расчет первичных отстойников производился по методике, рекомендуемой [2], которая выдержала проверку многолетним опытом проектирования и эксплуатации очистных сооружений. Ее отличие от методик, приведенных в действующих СНиП, заключается в способах определения параметров t_{set} и n , которые входят в расчетную формулу (3) гидравлической крупности задерживающихся в первичных отстойниках взвешенных частиц. Продолжительность отстаивания t_{set} , соответствующая заданному эффекту очистки, принимается по табл. 2, согласно [2] принимается по табл. 3. Показатель степени n , зависящий от агломерации взвеси в процессе осаждения, согласно рекомендациям [2] принимается по рис. 2, согласно рекомендациям [2] принимается для городских сточных вод равным 0,25.

Таблица 2

Эффект отстаивания сточной жидкости

Эффект осветления, %	Продолжительность отстаивания t_{set} , с, в слое $h = 500$ мм при концентрации взвешенных веществ, г/м ³		
	200	300	400
20	600	540	480
30	960	900	840
40	1440	1200	1080
50	2160	1800	1500
60	7200	3600	2700
70	—	—	7200

Таблица 3

Эффект отстаивания сточной жидкости

Эффект осветления, %	Продолжительность отстаивания t_{set} , с, в слое $h = 500$ мм при концентрации взвешенных веществ, г/м ³			
	100	200	300	500
20	600	300	—	—
30	900	540	320	260
40	1320	650	450	390
50	1900	900	640	450
60	3800	1200	970	680
70	—	3600	2600	1830
80	—	—	—	5260

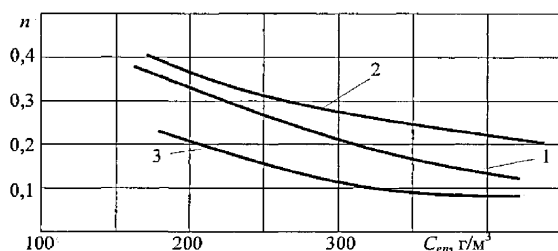


Рис. 2. Зависимость показателя степени n от исходной концентрации взвешенных веществ в городских сточных водах $C_{ен}$ при эффекте отстаивания: 1 — $\varepsilon_{по} = 50\%$; 2 — $\varepsilon_{по} = 60\%$; 3 — $\varepsilon_{по} = 70\%$

Для сравнительной оценки данных методик с учетом их рекомендаций был произведен расчет гидравлической нагрузки на типовой первичный отстойник.

Исходные данные для расчета: $D_{но} = 40$ м; $H_{но} = 3,5$ м; $d_{но} = 2,5$ м; $K_{но} = 0,45$; $\alpha = 1$; $h = 0,5$ м; $\varepsilon_{по} = 50\%$.

Согласно полученным результатам, при использовании рекомендаций расчетная гидравлическая нагрузка на отстойник оказывается заниженной: для первого, второго и третьего вариантов — в 2,6 раза, ($2630 : 1024 \approx 2,6$), для четвертого варианта — в 2,5 раза ($4016 : 1586 = 2,5$) и для пятого варианта — в 2,4 раза ($4358 : 1787 \approx 2,4$). Этим авторы методики, очевидно, предполагали на этапе проектирования обеспечить резерв производительности первичных отстойников в условиях непрерывно повышавшегося потребления воды населением и промышленностью и, соответственно, увеличения количества образующихся сточных вод.

При составлении математической модели ГОСК в настоящем исследовании использованы рекомендации [2].

Таким образом, в процессе моделирования технологического цикла очистки сточных вод и обработки осадков на ГОСК в целом вычисления повторяются до тех пор, пока значения показателей сточной жидкости, поступающей на первичные отстойники, определенные в последующем приближении, отличаются от значений, определенных в предыдущем приближении, более чем на 0,01 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев С. В., Карелин А. Я. Канализация : учебник для вузов по специальности «Водоснабжение и канализация». М. : Стройиздат, 1976. 632 с.
2. СНиП 2.04.03—85. Канализация. Наружные сети и сооружения. М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. 72 с.
1. Yakovlev S. V., Karelin A. Ya. Kanalizatsiya : uchebnik dlya vuzov po spetsialnosti „Vodostabzhenie i kanalizatsiya“. M. : Sroizdat, 1976. 632 s.
2. SNiP 2.04.03—85. Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya. M. : TsITP Gosstroya SSSR, 1986. 72 s.

© Мусаелян С. М., Потоловский Р. В., Сахарова Н. А., Радченко О. П., 2012

Поступила в редакцию
в феврале 2012 г.

Ссылка для цитирования:

Математическое моделирование процессов очистки сточных вод и обработки осадков на городских очистных сооружениях канализации / С. М. Мусаелян, Р. В. Потоловский, Н. А. Сахарова, О. П. Радченко // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 1(20).