

УДК 628.356

В. И. НЕЗДОЙМИНОВ, Д. В. ЗАВОРОТНЫЙ, В. С. РОЖКОВ
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОПУСТИМОЙ ПОДАЧИ ЗАТОПЛЕННОЙ ЭРЛИФТНОЙ СИСТЕМЫ АЭРАЦИИ В АЭРОТЕНКЕ-ОСВЕТИТЕЛЕ

Аннотация. Произведен анализ параметров, влияющих на допустимую нагрузку на взвешенный слой аэротенка-осветлителя с затопленной эрлифтной системой аэрации. Представлены результаты экспериментов по определению максимальной интенсивности циркуляции ила, возникающей в результате действия аэрационной системы. Для модели аэротенка-осветлителя получена зависимость максимальной допустимой гидравлической нагрузки от интенсивности циркуляции иловой смеси и соотношения основных размеров сооружения.

Ключевые слова: аэротенк-осветлитель, взвешенный слой, активный ил, затопленный эрлифт, гидравлическая нагрузка.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

При биологической очистке бытовых и производственных сточных вод возникает проблема отделения активного ила от очищенной жидкости. Традиционно используются отстойные сооружения различных конструкций [1]. С точки зрения снижения энергетических затрат на перекачивание возвратного ила и уменьшения занимаемых земельных площадей, наиболее оптимальными считаются аэротенки-отстойники и аэротенки-осветлители. По сравнению с отстаиванием осветление во взвешенном слое позволяет уменьшить объем отстойной части и увеличить гидравлическую нагрузку на отстойник. Основным недостатком осветления посредством фильтрации сквозь взвешенный слой является сложность поддержания постоянной его высоты и пористости. Удержание высоты и пористости в допустимых пределах осуществляется за счет постоянного возврата ила из зоны осветления в зону аэрации. Возврат ила обычно производят с помощью эрлифтов либо других насосов, требующих больших энергозатрат. Этот недостаток устранен в аэротенке-осветлителе с затопленным эрлифтом за счет обновления взвешенного слоя нисходящими потоками жидкости в аэротенке. На функционирование взвешенного слоя оказывают влияние гидродинамические параметры аэротенка, определение которых необходимо для проектирования.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В ДонНАСА разработан аэротенк-осветлитель (рис. 1), который имеет малый объем зоны отстаивания и систему обновления взвешенного слоя, не требующую дополнительного насосного оборудования. Аэротенк-осветлитель состоит из аэротенка 1, зоны осветления 2 и зоны отстаивания 3. Зона отстаивания отделена от аэротенка вертикальной перегородкой 4, снабженной наклонным козырьком 5. За счет затопленной эрлифтной системы аэрации [2] в аэротенке образуется циркуляция: восходящее движение иловой смеси 6 над аэратором 7 и нисходящее движение 8 – за стенкой затопленного эрлифта 9 [3]. Поскольку нисходящий поток ниже уровня низа козырька, можно рассматривать как затопленную турбулентную струю, сечение между нижней кромкой наклонного козырька и стенкой эрлифта является начальным сечением струи. Расход циркулирующей иловой смеси можно выражать через интенсивность циркуляции, отнеся его к площади начального сечения струи. Затопленная струя эжектирует окружающую ее жидкость. В результате эжекции иловая смесь в верхней части зоны осветления движется в сторону струи, а вблизи нисходящего потока аэротенка – вниз [4]. По отношению к нисходящему потоку аэротенка наклонный козырек является плохо обтекаемым

© В. И. Нездойминов, Д. В. Заворотный, В. С. Рожков, 2017

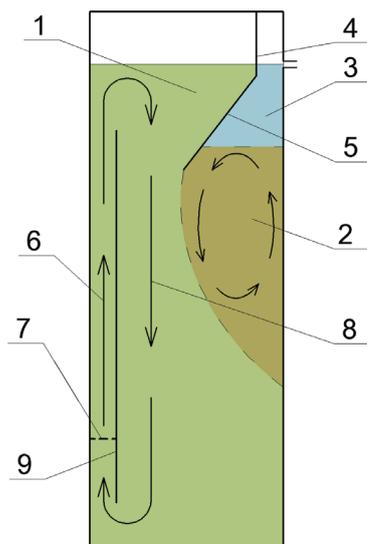


Рисунок 1 – Схема модели аэротенка-осветлителя с затопленной эрлифтной системой аэрации: 1 – аэротенк; 2 – зона освещения; 3 – зона отстаивания; 4 – вертикальная перегородка отстойника; 5 – наклонный козырек; 6 – восходящий поток затопленного эрлифта; 7 – аэратор; 8 – нисходящий поток аэротенка; 9 – ограждающая стенка затопленного эрлифта.

телом. Вблизи наружной стенки в осветлителе возникает восходящий поток с направлением противоположным течению затопленной струи [5]. Восходящий поток поддерживает ил в осветлителе во взвешенном состоянии, а нисходящий поток зоны освещения способствует обмену частиц с нисходящим потоком аэротенка. Такая структура потока обеспечивает поддержку постоянной пористости и высоты взвешенного слоя.

С точки зрения гидродинамики взвешенного слоя, существует максимальная и минимальная допустимые восходящие скорости потока в зоне освещения. При скорости меньше минимальной не происходит псевдооживление слоя частиц ила. Превышение максимального значения восходящей скорости приводит к размыву и разрушению взвешенного слоя. Частицы взвешенного слоя находятся в легкоподвижном состоянии и непрерывно перемешиваются в восходящем потоке жидкости. При этом средняя величина вектора скорости перемещения каждой частицы близка к нулю [6]. В данное время весьма мало изучены геометрические и гидродинамические параметры аэротенка-осветлителя с затопленной эрлифтной системой аэрации, влияющие на параметры взвешенного слоя, в частности – на его устойчивость к гидравлической нагрузке.

ЦЕЛЬ

Исследование влияния интенсивности циркуляции иловой смеси на максимально допустимую гидравлическую нагрузку в отстойнике аэротенка-осветлителя с затопленной эрлифтной системой аэрации.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для выполнения поставленной цели были проведены эксперименты на установке модели аэротенка-осветлителя (рис. 1) объемом 6,5 л. Схема экспериментальной установки приведена на рисунке 2. Для повышения точности определения расхода циркулирующей в аэротенке 6 жидкости, подача затопленного эрлифта иммитировалась вихревым насосом 2. Вертикальная перегородка 4, оборудованная козырьком 5, разделяла аэротенк на части с восходящим и нисходящим направлениями движения иловой смеси. Подача вихревого насоса, равная расходу циркулирующей в аэротенке жидкости, измерялась водомером 1. Прикрепленная к стенке 4 отбойная перегородка 3 предотвращала неравномерность скоростей нисходящего потока аэротенка в начальном сечении струи. Осветленная жидкость отводилась трубкой 7 в емкость 10. Гидравлическая нагрузка на отстойник 8 обеспечивалась дополнительным насосом 9, подача которого измерялась объемным методом. Опыты проводились при концентрации активного ила в аэротенке $a_1 \approx 6$ г/л и иловом индексе $I \approx 100$ мл/г.

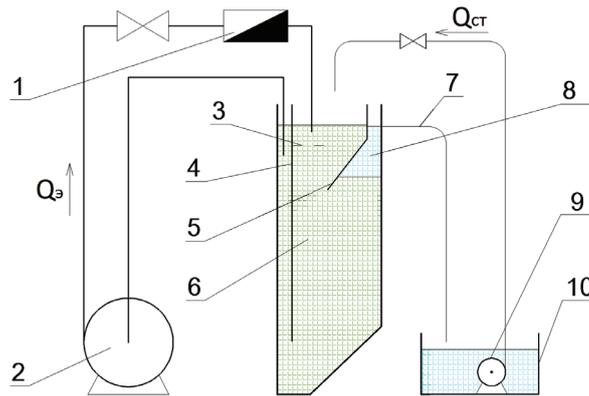


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки: 1 – водомер; 2 – вихревой насос; 3 – отбойная перегородка; 4 – стенка затопленного эрлифта; 5 – наклонный козырек; 6 – аэротенк с иловой смесью; 7 – трубка отвода осветленной жидкости; 8 – отстойник с осветленной жидкостью; 9 – погружной насос; 10 – емкость с осветленной жидкостью.

Опыты проводились при различном соотношении j :

$$j = \omega_{\text{нисх}} / \omega_{\text{осв}}, \quad (1)$$

где $\omega_{\text{нисх}}$ – начальное сечение затопленной струи, м^2 ;
 $\omega_{\text{осв}}$ – площадь горизонтального сечения зоны осветлителя на уровне нижней кромки наклонного козырька, м^2 .

Величина начального сечения струи влияет на количество энергии, передаваемой от потока жидкости в аэротенке к жидкости, которая циркулирует в зоне осветления. Площадь зоны осветления влияет на гидравлическую нагрузку во взвешенном слое.

В процессе проведения опытов определялись: гидравлическая нагрузка на зеркало отстойника $q_{\text{гидр}}$ и интенсивность циркуляции $I_{\text{ц}}$:

$$q_{\text{гидр}} = Q_{\text{ст}} / \omega_{\text{отст}}; \quad (2)$$

$$I_{\text{ц}} = Q_{\text{э}} / (\omega_{\text{нисх}}), \quad (3)$$

где $Q_{\text{ст}}$ – расход жидкости в аэротенке-осветлителе, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 $\omega_{\text{отст}}$ – площадь зеркала отстойника, м^2 ;
 $Q_{\text{э}}$ – расход циркулирующей в аэротенке иловой смеси, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Максимальной допустимой гидравлической нагрузкой в опытах считалось такое ее значение, превышение которого приводило к росту высоты взвешенного слоя и выносу ила из сооружения. Полученные в процессе эксперимента данные приведены на рисунке 3.

Данные рис. 3 свидетельствуют о том, что с увеличением интенсивности циркуляции уменьшается максимальная допустимая гидравлическая нагрузка. Повышение интенсивности циркуляции, ввиду более качественного перемешивания активного ила, снижает неравномерность концентрации ила в объеме аэротенка и усиливает циркуляцию в осветлителе. Чем интенсивнее вращение ила в циркуляционной зоне, тем меньше пористость взвешенного слоя. Высокая концентрация активного ила в верхних слоях осветлителя ухудшает условия стесненного осаждения, а следовательно, допустимую производительность аэротенка-отстойника. С другой стороны, при малых расходах циркулирующей в аэротенке жидкости под козырьком не образуется взвешенный слой, становится заметной разница концентраций ила по высоте аэротенка-осветлителя. В таких условиях ил не выносится из осветлителя при весьма значительных расходах очищаемой жидкости. Допустимая гидравлическая нагрузка, не размывающая взвешенный слой, достигает весьма высоких значений. Однако в условиях недостаточного перемешивания активного ила в аэротенке и отсутствия взвешенного слоя невозможно осуществление аэробной биологической очистки.

Зависимость максимальной нагрузки от интенсивности циркуляции носит степенной характер. Максимальная допустимая нагрузка на зеркало отстойника при $j = 0,316$ описывается эмпирическим

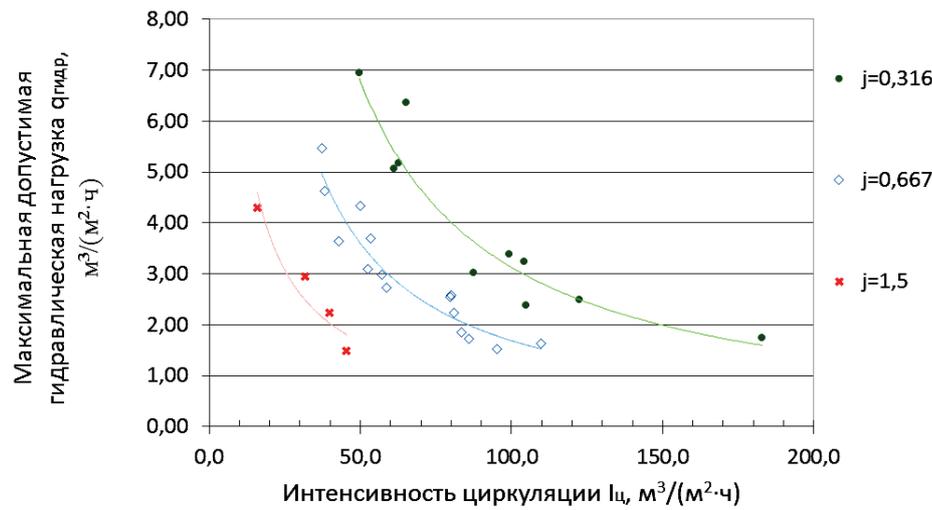


Рисунок 3 – Зависимость максимальной допустимой гидравлической нагрузки в отстойнике в зависимости от интенсивности циркуляции и соотношения j .

уравнением 4 (с величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 0,915$), при $j = 0,667$ – уравнением 5 (с $R^2 = 0,898$) и при $j = 1,5$ – уравнением 6 (с $R^2 = 0,869$).

$$q_{\text{гидр}} = 533,6 / I_{\text{ц}}^{1,116}; \quad (4)$$

$$q_{\text{гидр}} = 260,8 / I_{\text{ц}}^{1,095}; \quad (5)$$

$$q_{\text{гидр}} = 54,09 / I_{\text{ц}}^{0,891}. \quad (6)$$

Для получения зависимости интенсивности циркуляции от гидравлической нагрузки на зеркало отстойника, учитывающей влияние соотношения j , экспериментальные данные были обработаны в программе DataFit. Уравнение расчета максимальной допустимой гидравлической нагрузки приняло вид:

$$q_{\text{гидр}} = \frac{138,3}{I_{\text{ц}}^{1,039} \cdot j^{0,897}} \quad (7)$$

На рисунке 4 представлен трехмерный график функции $I_{\text{ц}} = f(q_{\text{гидр}}; j)$. Коэффициент множественной детерминации $R^2 = 0,883$, что свидетельствует о достаточной сходимости уравнения 7 с эмпирическими данными.

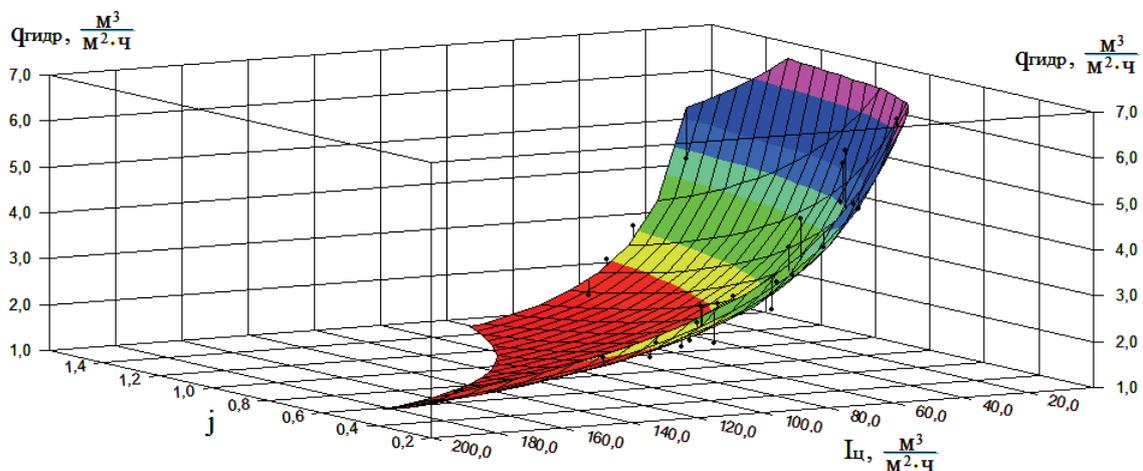


Рисунок 4 – График зависимости максимальной допустимой интенсивности циркуляции от гидравлической нагрузки на зеркало отстойника и соотношения j .

Полученные данные указывают на обратно пропорциональную зависимость максимально допустимой нагрузки от интенсивности циркуляции. Увеличение площади начального сечения струи по отношению к общей площади аэротенка-осветлителя негативно сказывается на устойчивости взвешенного слоя.

ВЫВОДЫ

1. Поддержание взвешенного слоя в аэротенке-осветлителе с затопленной эрлифтной системой аэрации осуществляется за счет циркуляции в зоне осветления. Циркуляция в осветлителе напрямую связана с подачей затопленного эрлифта.

2. Максимальная допустимая гидравлическая нагрузка на отстойник снижается при увеличении интенсивности циркуляции в аэротенке и при увеличении зазора между нижней кромкой наклонного козырька и стенкой затопленного эрлифта. Производительность затопленной эрлифтной системы аэрации должна ограничиваться во избежание инерционного выноса частиц ила в зону отстаивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Research of processes of a deep aerobic mineralization of activated sludge [Электронный ресурс] / V. Nezdoimov, V. Ziatina, V. Rozhkov, D. Nemova // Procedia Engineering. – 2015. – Т. 117. – С. 1027–1032. – Режим доступа : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815018676>.
2. Нездойминов, В. И. Гидродинамическая модель работы аэротенка с затопленной эрлифтной системой аэрации [Текст] / В. И. Нездойминов, В. С. Рожков // Коммунальное хозяйство городов. – 2010. – № 93. – С. 353–358.
3. Заворотный, Д. В. Обеспечение циркуляции иловой смеси в аэротенках-отстойниках со взвешенным слоем [Текст] / Д. В. Заворотный, А. В. Жибоедов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – Вып. 2016-3(119) : Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – С. 186–189.
4. Нездойминов, В. И. Аэротенк-отстойник с обновляющимся взвешенным слоем [Текст] / В. И. Нездойминов, Д. В. Заворотный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – Вып. 2016-5(121) : Инженерные системы и техногенная безопасность. – С. 15–19.
5. Абрамович, Г. Н. Теория турбулентных струй [Текст] / Г. Н. Абрамович – М. : Физматгиз, 1960 – 715 с.
6. Чернышев, В. Н. Исследование илоотделения во взвешенном слое осадка в условиях повышенных концентраций активного ила [Электронный ресурс] / В. Н. Чернышев, В. И. Зятин // Науковий вісник будівництва. – 2014. – № 1. – С. 95–100. – Режим доступа : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2014_1_25.

Получено 24.04.2017

В. І. НЕЗДОЙМИНОВ, Д. В. ЗАВОРОТНИЙ, В. С. РОЖКОВ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОПУСТИМОЇ ПОДАЧІ ЗАТОПЛЕНОЇ ЕРЛІФТНОЇ СИСТЕМИ АЕРАЦІЇ В АЕРОТЕНКУ-ОСВІТЛЮВАЧІ ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Виконано аналіз параметрів, які впливають на допустиме навантаження на завислий шар аеротенка-освітлювача з затопленою ерліфтною системою аерації. Представлено результати експериментів з визначення максимальної інтенсивності циркуляції мулу, яка виникає внаслідок дії аераційної системи. Для моделі аеротенка-освітлювача отримана залежність максимального допустимого гідралічного навантаження від інтенсивності циркуляції мулової суміші та співвідношення основних розмірів споруди.

Ключові слова: аеротенк-освітлювач, завислий шар, активний мул, затоплений ерліфт, гідралічне навантаження.

VIKTOR NEZDOYMINOV, DMITRY ZAVOROTNYI, VITALY ROZHKOVA RESEARCH OF AN PERMISSIBLE SUPPLY OF AIRLIFT SUBMERGED AERATION SYSTEM IN THE AERATOR-CLARIFIER UNIT Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The analysis of the parameters influencing on the permissible load on a balanced layer of the aerator-clarifier with a flooded airlift aeration system has been carried out. The results of experiments of determination

of the maximum intensity of sludge circulation, arising as a result of the action of the aeration system have been presented. The relation of the maximum permissible hydraulic load of the circulation intensity of the sludge mixture and the ratio of the main dimensions of the structure has been obtained for the aerator-clarifier model.

Key words: aerator-clarifier unit, balanced layer, activated sludge, submerged airlift, hydraulic load.

Нездойминов Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: биологическая очистка сточных вод.

Заворотный Дмитрий Викторович – аспирант кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: водоотведение, механика жидкости и газа.

Рожков Виталий Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: моделирование биохимических процессов в очистке сточных вод, системы оборотного водоснабжения, очистка сточных вод от биогенных элементов.

Нездойминов Віктор Іванович – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: біологічна очистка стічних вод.

Заворотний Дмитро Вікторович – аспірант кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: водовідведення, механіка рідини та газу.

Рожков Віталій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: моделювання біохімічних процесів в очищенні стічних вод, системи оборотного водопостачання, очищення стічних вод від біогенних елементів.

Nezdoyminov Viktor – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of Water Supply, Sanitation and Water Conservation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: biological treatment of wastewater.

Zavorotnyi Dmitry – postgraduate student, Water Supply, Sanitation and Water Conservation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: sewerage, mechanics of fluids.

Rozhkov Vitaly – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Head of Water Supply, Sanitation and Water Conservation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modeling of biochemical processes in sewage treatment, water recycling system, waste water from nutrients.