

УДК 66.06; 628.543

Р. Ш. Абиев¹, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,
А. Н. Григорьева, асп.¹, исполнительный директор², e-mail: an@ast-pump.ru,

¹ Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)

² ЗАО "Астерион", Санкт-Петербург

Применение перемешивающих устройств для очистки сточных вод: сравнение гиперболических мешалок с ближайшими аналогами

Представлен обзор перемешивающих устройств, предназначенных для очистных сооружений. Приведены требования, предъявляемые к механическому перемешиванию в аэротенках. Рассмотрен опыт эксплуатации гиперболических мешалок в России.

Ключевые слова: очистка сточных вод, перемешивающее устройство, гиперболическая мешалка, аэротенк, активный ил

Введение

Аппараты с мешалками широко используются не только в химических производствах, но и на канализационных очистных сооружениях для перемешивания активного ила. Для создания оптимальной конструкции мешалок требуется детальное понимание типа технологического процесса, требований, предъявляемых к процессу перемешивания, условий эксплуатации аппарата с мешалкой, гидродинамики потока в аппарате, а также реологических особенностей самой перемешиваемой жидкости/суспензии/эмульсии. Под оптимальной конструкцией мешалок здесь понимается оптимальное соотношение геометрических размеров мешалки по отношению к геометрическим размерам аппарата, оптимальный тип и размеры рабочих колес, их количество и расположение в аппарате, при которых для заданной формы аппарата обеспечивается максимальный положительный эффект при минимальных затратах (в общем случае — приведенных, при сопоставимых капитальных затратах можно сравнивать эксплуатационные затраты, которые в основном состоят из затрат на потребляемую мешалкой электроэнергию).

Биологическая очистка сточных вод представляет собой технологические процессы очистки сточных вод, основанные на способности биологических организмов разлагать загрязняющие вещества на безопасные для природы продукты [1]. При реализации биологических процессов очистки сточных вод в аэротенках биологические организмы, участвующие в разложении

загрязнений, которые поступают со сточными водами, пребывают во взвешенном состоянии и представляют собой "флоки" (хлопья) — зооглейные скопления микроорганизмов, простейших, червей, водных грибов и дрожжей. Ил, содержащий микроорганизмы, которые сорбируют и разлагают загрязняющие вещества в сточных водах, называется активным илом [1]. Одним из условий жизнедеятельности микроорганизмов является эффективное перемешивание иловой смеси, в противном случае происходит загнивание. Таким образом, в технологическом процессе биологической очистки сточных вод ключевую роль играет перемешивание и аэрация (насыщение кислородом) активного ила. В свою очередь, повышение эффективности перемешивания иловой смеси в аэротенках позволяет повысить эффективность процессов нитрификации без увеличения эксплуатационных затрат на аэрацию [2].

В настоящее время производители перемешивающих устройств предлагают всего несколько технических решений для обеспечения перемешивания сточных вод на очистных сооружениях. К ним относятся вертикальные лопастные, погружные лопастные и гиперболические мешалки. Учитывая сложность процесса очистки сточных вод, проектировщики очистных сооружений и предприятия по очистке сточных вод поставлены в непростые условия выбора оптимальных конструктивно-технологических решений, осложненных отсутствием необходимой информации. Так, например, п. 9.2.7.6 СНиП 2.04.03-85 "Канализация. Наружные сети и сооружения" [3] гласит:

"В аноксидных зонах (либо при аноксидных условиях) следует обеспечивать перемешивание для предотвращения осаждения активного ила. Перемешивание рекомендуется осуществлять электромеханическими мешалками. Допускается при обосновании осуществлять перемешивание воздухом, обеспечив минимальное растворение в иловой смеси кислорода воздуха, либо рециркулирующего газа, а также с помощью пневмомеханических, гидравлических и других подобных устройств. Допускается осуществлять перемешивание путем создания в двух и более коридорах аэротенка продольного циркуляционного потока со скоростью, достаточной для поддержания ила во взвешенном состоянии".

Вопрос о том, какие электромеханические мешалки наиболее эффективно следует использовать, остается открытым. У представителей организаций, проектирующих или эксплуатирующих очистные сооружения, справедливо возникают следующие вопросы:

1. Каким образом оценить эффективность перемешивания в аэротенке?
2. Какая скорость потока создается тем или иным видом мешалок?
3. Какая скорость потока достаточна для поддержания ила во взвешенном состоянии?
4. Как избежать лишних затрат на расходование электроэнергии при сохранении эффективности очистки сточных вод?

Ответы на эти вопросы приведены ниже, в заключении к данной статье.

Целью данной работы является сравнительный обзор перемешивающих устройств, используемых на очистных сооружениях; формулировка требований, предъявляемых к механическому перемешиванию в аэротенках, анализ опыта эксплуатации гиперболических мешалок в России. По результатам сравнительного анализа сформулированы цели и задачи дальнейших исследований в данном направлении.

1. Сравнительный анализ перемешивающих устройств различных типов

В настоящее время на очистных сооружениях применяются следующие виды мешалок:

- вертикальные лопастные мешалки (рис. 1);
- гиперболические мешалки (рис. 2);
- погружные лопастные мешалки (рис. 3).

Каждый из перечисленных выше типов мешалок имеют преимущества и недостатки. Так, например, погружные мешалки расположены горизонтально и не требуют устройства дополнительных строительных конструкций (мостиков) для их установки, в отличие от вертикальных мешалок. Однако при их использовании необходима установка дорогостоящей системы



Рис. 1. Вертикальные лопастные мешалки

контрольно-измерительных приборов для мониторинга работы мешалки (датчики наличия воды в двигателе и т. п.), визуальная диагностика работы устройства затруднена, высоки затраты по обслуживанию (требуется замена торцевых уплотнений). Вертикальные лопастные мешалки по сравнению с гиперболическими имеют более высокое энергопотребление, однако отличаются меньшей материалоемкостью в процессе изготовления рабочего колеса.

Создаваемые мешалками потоки исследуются многими учеными [4–6]. Наиболее изучены потоки, создаваемые турбинными мешалками Раштона, которые в свое время являлись эталоном для сравнения при создании новых форм и конструкций. Примером такого усовершенствования стало изобретение



Рис. 2. Гиперболические мешалки



Рис. 3. Погружные лопастные мешалки

Йоостеном в 1977 г. лопастной мешалки, называемой в зарубежной литературе "Hydrofoils" [6]. Детальные исследования этой мешалки были проведены при помощи лазерного доплеровского анемометра [7, 8]. Немного позже было изучено Резерфордом влияние толщины лопаток на характеристики потока [9]. В работе [10] описано рабочее колесо гиперболического типа из расчета оптимальной гидродинамики для эффективного суспендирования твердых частиц и хорошего диспергирования воздуха без разрушения образования флоккул в процессе биологической очистки сточных вод.

В работе [11] показано, что гиперболические мешалки эффективнее с точки зрения энергопотребления по сравнению с турбинными мешалками Раштона, так как гиперболические мешалки имели не только лопасти на поверхности рабочего колеса, но также и внутренние лопасти. Рабочее колесо располагалось у самого дна. Однако измеренный параметр — время суспендирования — был не так хорош, как у турбинных мешалок Раштона (при этом требовалось энергии в 20 раз меньше).

Исследованиям влияния расстояния установки мешалки от дна посвящена работа [12], где

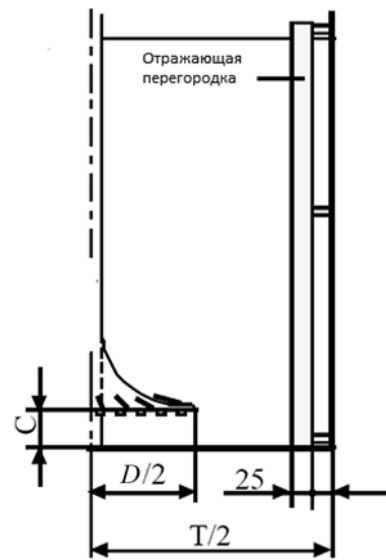


Рис. 4. Исследуемая модель гиперболических мешалок [12]

исследовались потоки, производимые гиперболическими мешалками, которые были установлены на расстояниях от дна $C = T/10, T/3, 2T/3$ (рис. 4).

В качестве критерия перемешивания применялся критерий [12]:

$$S = \frac{ND^{0,85}}{V^{0,1} d_p^{0,2} \left(\frac{g(\rho_p - \rho)}{\rho} \right)^{0,45} x^{0,13}}, \quad (1)$$

где N — частота вращения об/с; D — диаметр рабочего колеса, м; V — радиальная скорость потока, м/с; d_p — диаметр частиц, м; ρ_p — плотность частиц кг/м³; ρ — плотность жидкости, кг/м³; g — ускорение свободного падения, м/с²; x — массовая доля частиц в жидкости (концентрация).

По этому критерию гиперболические мешалки показали себя хуже, чем турбинные. Насосная производительность (насосный эффект) определялась по формуле

$$K_d = \frac{Q_d}{\rho ND^3}, \quad (2)$$

где Q_d — массовый поток на наружном диаметре рабочего колеса, кг/с.

Соотношение потребляемой мощности и насосной производительности, по мнению авторов работы [12], является показателем эффективности рабочего колеса, у гиперболической и лопастной мешалок эти соотношения лучше, чем у турбинной. В целом основные выводы исследования [12] сводятся к следующему:

— поток в аппарате с одинарной гиперболической мешалкой был трехмерным с преобладающей



скоростью в непосредственной близости от рабочего колеса; поток опускался вдоль вала, достигал внешней поверхности рабочего колеса и направлялся радиально;

— увеличение диаметра рабочего колеса приводило к снижению числа Ньютона (критерия мощности), несмотря на то что лопасти были более высокими и широкими; числа Ньютона составили 0,5; 0,9 и 0,95 для диаметров 170; 100 и 70 мм соответственно;

— при использовании двухъярусной гиперболической мешалки поток верхнего рабочего колеса не влиял на поток нижнего рабочего колеса; число Ньютона увеличивалось в 2 раза при тех же числах Рейнольдса; расстояние между колесами влияло на потребление мощности незначительно;

— для отношения $H/T = 1/2$, где H — высота столба жидкости; T — диаметр емкости; высота столба жидкости не влияет на число Ньютона, независимо от размера и числа рабочих колес.

Однако в работе [12] не было данных об измерениях скоростей потока, полях скоростей и направлении движения жидкости. Также не были учтены параметры самого технологического процесса: количество и размер твердых включений. Эти величины необходимы для определения времени смешивания и равномерности распределения частиц в объеме всей емкости.

В работе [13] рассмотрены гиперболические мешалки применительно к процессу перемешивания активного ила в процессе биологической очистки сточных вод. Важную роль в процессе аэрации играет перемешивание. В анаэробных процессах (удаление азота, фосфора) применение мешалок обязательно. При перемешивании активного ила следует избегать турбулентности, так как это отрицательно влияет на образование флоккул. В работе [13] показано моделирование потока при помощи численных методов. К сожалению, не был исследован насосный эффект мешалки, а также оптимальное расстояние установки около дна, не раскрыт вопрос относительно методики подбора мешалок под определенные размеры емкости. Эти вопросы являются важными для проведения дальнейших исследований.

Анализируя публикации в российских журналах, можно обнаружить ряд противоречий с зарубежной литературой. Так, в работе [14] говорится: "Как известно во время работы пропеллер производит три основные эффективные силы: осевую, радиальную и тангенциальную. Тангенциальная сила создает завихрения и рассматривается как потеря. Отсюда вывод: чем меньше лопастей, тем меньше потерь". Вместе с тем создатели гиперболической мешалки [13] считают, что увеличение количества лопастей снижает биение вала,

способствует более продолжительному сроку службы подшипников. В работе [15] представлено сравнение гиперболических и лопастных мешалок. Одним из недостатков отмечено отсутствие массивной конструкции для крепления мешалки на опорные строительные мостики [15]. Однако данный факт можно рассматривать как достоинство. Гиперболические мешалки ввиду геометрии лопастей являются самоцентрирующимися, поэтому массивные переходы для гашения вибраций вала при их установке не требуются.

2. Требования, предъявляемые к перемешивающим устройствам на очистных сооружениях

Основным требованием, предъявляемым потребителями к перемешивающим устройствам, является поддержание активного ила во взвешенном состоянии, отсутствие отложений частиц в застойных зонах, приводящим к загниванию активного ила. Одним из критериев оценки эффективности перемешивания может являться равномерное распределение концентрации активного ила во всем объеме аэротенка.

В современных условиях немаловажным фактором является энергопотребление мешалок, так как основными затратами, которые несут водоканалы и другие предприятия по очистке сточных вод, является электроэнергия. В российских нормативных документах нет требований по энергопотреблению, предъявляемые к перемешивающим устройствам. Однако имеется документ немецкого объединения по водному хозяйству, канализации и отходам (DWA).

Данная организация является компетентной организацией межотраслевых проблем водного хозяйства в Германии и интенсивно занимается развитием его надежности и устойчивости. Область специализации DWA — водное хозяйство, канализация, переработка отходов и защита почвы. Основным направлением деятельности этой организации является выработка и обновление единых технических нормативных документов, а также участие в разработке специализированных норм на национальном и международном уровне. К этому относится не только научно-техническая проблематика, но и экономические и правовые вопросы охраны окружающей среды и защиты водных ресурсов.

Так, в стандарте DWA-M 229-2 [16] основные требования к перемешивающим устройствам по удельному потреблению энергии (т. е. суммарное энергопотребление мешалки, отнесенное к объему жидкости в аппарате, м^3) ограничены диапазоном от $0,8 \text{ Вт/м}^3$ до $1,5 \text{ Вт/м}^3$.

Относительно максимальной скорости, необходимой для перемешивания активного ила по документам немецкой ассоциации по водочистке, скорость потока должна составлять 10...30 см/с [16]. Таким образом, требования некоторых заказчиков при реализации проектов реконструкции очистных сооружений о скорости потока более чем 30 см/с, являются необоснованными [13].

3. Опыт эксплуатации гиперболических мешалок в России

Канализационные очистные сооружения (далее КОС) Кронштадта были введены в эксплуатацию в 1980 г. и расположены в нежилой зоне западной части острова Котлин. Именно они обеспечивают очистку промышленных, хозяйственно-бытовых, дождевых и талых вод Кронштадта. Производительность КОС составляет 28,0 тыс. м³/сут.

В декабре 2014 г. ГУП "Водоканал Санкт-Петербурга" завершил проект "Реконструкция и модернизация малых канализационных очистных сооружений Санкт-Петербурга", который включал работы на КОС Кронштадта. Проект был направлен на повышение эффективности очистки сточных вод на малых канализационных очистных сооружениях и обеспечение стабильных показателей по удалению из стоков фосфора и азота. Именно эти биогенные вещества стимулируют рост синезеленых водорослей в Балтийском море.

Основным мероприятием по реконструкции КОС Кронштадта стала модернизация сооружений биологической очистки сточных вод с внедрением технологии глубокого удаления азота и фосфора Йоханнесбургского университета. Данное технологическое решение позволяет гибко управлять процессом и достигать требуемого эффекта при возможных изменениях параметров поступающих на очистку стоков.

В рамках модернизации было установлено современное оборудование: гиперболические мешалки, аэраторы, насосы, которые позволяют создавать наиболее "комфортные" условия для жизнедеятельности микроорганизмов активного ила, обеспечивая качественную очистку от всех загрязнений, включая биогены. Сегодня канализационные очистные сооружения Кронштадта — одни из самых современных и энергоэффективных в Санкт-Петербурге [17].

В июне 2017 г. была проведена установка гиперболической мешалки российского производства ЗАО Астерион (Санкт-Петербург) с целью проведения опытно-промышленных испытаний (ОПИ). Одним из критериев оценки успешности проведения ОПИ являлось поддержание требуемых

технологических параметров (доза ила по всей глубине зоны, отсутствие отложений ила на дне). В течение трех месяцев проводился забор проб в нескольких точках аэротенка на глубине 1, 2,5 и 4 м от поверхности с целью оценки концентрации (дозы по массе) активного ила в соответствии с Методикой [18].

Критерием эффективного перемешивания принято значение коэффициента вариации не более чем 10 %. Для расчета этого коэффициента применялась следующая формула:

$$CoV = \frac{STD}{AVE}, \quad (3)$$

где AVE — среднее арифметическое значение средней концентрации ила, все пробы; STD — стандартное отклонение, рассчитываемое по формуле

$$STD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{cp})^2}{n - 1}}. \quad (4)$$

Здесь x_i — i -й элемент в выборке (фактическая концентрация ила, г/м³); x_{cp} — среднее арифметическое значение (средняя концентрация ила, г/м³); n — число элементов в выборке (общее число результатов анализа концентрации ила).

Кроме того, несколько раз проводилось контрольное опорожнение аэротенка с целью определения наличия залежей ила на дне. Первые результаты удовлетворили заказчика — Водоканал "Санкт-Петербурга".

Заключение

Добиться оптимальной мощности, потребляемой мешалками на очистных сооружениях, использовать передовые и эффективные системы смешивания становится для российских предприятий не просто желанием, а суровой необходимостью. Изучение перемешивающих устройств, доступных на рынке, показало, что предлагаются многочисленные системы, которые можно классифицировать и сравнивать на основании критериев, предъявляемых в первую очередь технологическим процессом. Одним из перспективных направлений является разработка рабочих колес перемешивающих устройств гиперболической формы. Для оценки качества перемешивания в аэротенке возможно использовать методику на основе равномерности концентраций, представленную на примере КОС Кронштадта.

Для выбора тех или иных устройств важно знать основные силы, действующие на само устройство и крепление. Существуют серьезные различия между стандартными лопастными и современными гиперболическими мешалками, поскольку результирующие осевые силы в системе значительно



меньше при использовании последних. Это позволяет изготавливать более легкие конструкции с более длительным сроком службы. В целом данный тип мешалок достаточно плохо изучен, поэтому следует продолжать исследования в этом направлении. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: изучение скоростей потоков гиперболических мешалок для определения достаточной скорости для поддержания ила во взвешенном состоянии, определение методики подбора мешалок для различных конфигураций аэротенков с целью минимально возможной потребляемой энергии и вместе с тем оптимальном протекании технологического процесса биологической очистки сточных вод.

Список литературы

1. ГОСТ 25150—82. Канализация. Термины и определения. — М., 1982.
2. Харькина О. В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод. — Волгоград: Панорама, 2015. — 433 с.
3. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения.
4. Nagata S. Mixing, Principles and Applications. — Токио: Kodansha Scientific Books, 1975.
5. Skelland H. P., Hassan N. M. Suspended solids distribution in agitated, baffled vessels containing three concentric cooling coils // Chemical Engineering Science. — 1999. — Vol. 54, Iss. 19. — P. 4273—4284.
6. Joosten G. E. H., Schilder J. G. M., Broere A. M. The Suspension of Floating Solids in Stirred Vessels // Trans. Inst. Chem. Eng. — 1977. — No. 55. — P. 220—222.
7. Princz R., Hartland S. Laser-Doppler Measurement of Turbulence in a Standard Stirred Tank. Proc. 2nd Euro. Conf. Mixing Paper B1. Cambridge. U. K. 30 March — 1 April 1977. P. 1—26.
8. Popielek Z., Yianneskis M., Whitelaw J. H. An Experimental Study of Steady and Unsteady Flow Characteristics of Stirred Reactors // Journal of Fluid Mechanics. — 1987. — No. 175. — P. 537—555.
9. Rutherford K. S., Mahmoudi M. S., Lee K. C., Yianneskis M. The influence of Rushton impeller blade and disc thickness on the mixing characteristics of stirred vessels // Chemical Engineering Research & Design. — 1996. — No. 74 (3). — P. 369—378.
10. Höfken M., Bischof F., Durst F. Novel hyperboloid stirring and aeration system for biological and chemical reactors // Industrial Applications of Fluid Mechanics. — 1991. No. 132. — P. 47—49.
11. Nouri J. M., Whitelaw J. H. Flow Characteristics of Hyperboloid Stirrers // Can. J. Chem. Eng. — 1994. — No. 72. — P. 782—785.
12. Pinho F. T., Cavadas A. S. Power consumption and suspension criteria for two phase flow in a stirred vessel powered by an hyperboloid impeller. URL: <https://web.fe.up.pt/~fpinho/pdfs/Ladoan2002mix.pdf> (дата обращения 29.06.2018).
13. Hoefken M., Steidl W., Huber P. About the Design of Mixing Systems for Anaerobic and Anoxic Basins for Large Wastewater Treatment Plants. URL: <http://www.invent-uv.de/posters/> (дата обращения 25.06.2018).
14. Тавастшерна К. С. Вертикальные мешалки. Технологические особенности // Еврострой. — 2013. — № 71.
15. Исупова О. В. Участие KSB в крупнейших проектах модернизации процессов очистки сточных вод (на примере Ново-Курьяновских очистных сооружений) // НДТ (Наилучшие доступные технологии). — 2014. — № 2.
16. DWA-Regelwerk. Merkblatt DWA-M 229-2. Systeme zur Belueftung und Durchmischung von Belebungsanlagen. 2016. Juny. Teil 2. Betrieb.
17. Канализационные очистные сооружения г. Кронштадта отмечают 35-летие. URL: http://www.vodokanal.spb.ru/presscentr/news/kanalizacionnye_ochistnye_sooruzheniya_g_kronshtadta_otmechayut_35letie/ (дата обращения 17.01.2018).
18. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации. Изд. 3-е, перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1977 (М-во жил.-коммун. хоз-ва РСФСР. Гл. упр. водопроводно-канализац. хоз-ва). — 172 с.

R. Sh. Abiev¹, Professor, Head of Chair, A. N. Grigoryeva, Postgraduate¹, Executive Director², e-mail: an@ast-pump.ru

¹ Saint-Petersburg State Institute of Technology (Technical University)

² Asterion Ltd, Saint-Petersburg

Mixers Usage for Wastewater Treatment: Comparison of Hyperbolic Mixers with the Nearest Analogues

This article is an overview of the mixers designed for wastewater treatment plants. The goal of this work is to formulate requirements for mechanical mixing in the aeration tanks and describe the experience of hyperbolic mixers usage in Russia, provide to the end users a methodology for mixers efficiency estimation. Thus, the main criteria are the following:

1. Power consumption should be from 0,8 to 1,5 W/m³
2. Velocity of the flow should be in the range of 10 to 30 cm/s

3. Deviation of concentration is no more than 10 %.

This method was tested in the one of the modern wastewater plants in Saint-Petersburg — Kronstadt Vodokanal.

Keywords: mixing, agitation, hyperboloid mixer, Newton number, wastewater treatment, activated sludge process, stirred tank, power consumption, stirred vessel

References

1. **GOST 25150—82.** Kanalizacija. Terminy i opredelenija. Moscow, 1982.
2. **Har'kina O. V.** Jeftektivnaja jekspluatacija i raschet sooruzhenij biologicheskoy ochistki stochnyh vod. Volgograd: Pano-rama, 2015. 433 p.
3. **SNiP 2.04.03-85** Kanalizacija. Naruzhnye seti i sooruzhenija.
4. **Nagata S.** Mixing, Principles and Applications. Tokyo: Kodansha Scientific Books, 1975.
5. **Skelland H. P., Hassan N. M.** Suspended solids distribution in agitated, baffled vessels containing three concentric cooling coils. *Chemical Engineering Science*. 1999. Vol. 54, Iss. 19. P. 4273—4284.
6. **Joosten G. E. H., Schilder J. G. M., Broere A. M.** The Suspension of Floating Solids in Stirred Vessels. *Trans. Inst. Chem. Eng.* 1977. No. 55. P. 220—222.
7. **Princz R., Hartland S.** Laser-Doppler Measurement of Turbulence in a Standard Stirred Tank. Proc. 2nd Euro. Conf. Mixing, Paper B1, Cambridge. U. K. 30 March — 1 April 1977. P. 1—26.
8. **Popiolek Z., Yianneskis M., Whitelaw J. H.** An Experimental Study of Steady and Unsteady Flow Characteristics of Stirred Reactors. *Journal of Fluid Mechanics*. 1987. No. 175. P. 537—555.
9. **Rutherford K. S., Mahmoudi M. S., Lee K. C., Yianneskis M.** The influence of Rushton impeller blade and disc thickness on the mixing characteristics of stirred vessels. *Chemical Engineering Research & Design*. 1996. No. 74 (3). P. 369—378.
10. **Höfken M., Bischof F., Durst F.** Novel hyperboloid stirring and aeration system for biological and chemical reactors. *Industrial Applications of Fluid Mechanics*. 1991. No. 132. P. 47—49.
11. **Nouri J. M., Whitelaw J. H.** Flow Characteristics of Hyperboloid Stirrers. *Can. J. Chem. Eng.* 1994. No. 72. P. 782—785.
12. **Pinho F. T., Cavadas A. S.** Power consumption and suspension criteria for two phase flow in a stirred vessel powered by an hyperboloid impeller. URL: <https://web.fe.up.pt/~fpinho/pdfs/Ladoan2002mix.pdf> (date of access 29.06.2018).
13. **Hoefken M., Steidl W., Huber P.** About the Design of Mixing Systems for Anaerobic and Anoxic Basins for Large Wastewater Treatment Plants. URL: <http://www.invent-uv.de/posters/> (date of access 25.06.2018).
14. **Tavastsherna K. S.** Vertikal'nye meshalki. Tehnologicheskie osobennosti. *Evrostroj*. 2013. No. 71.
15. **Isupova O. V.** Uchastie KSB v krupnejshih proektah modernizacii processov ochistki stochnyh vod (na primere Novo-Kur'janovskih ochistnyh sooruzhenij. *NDT (Nailuchshie dostupnye tehnologii)*. 2014. No. 2.
16. **DWA-Regelwerk.** Merkblatt DWA-M 229-2. Systeme zur Belueftung und Durchmischung von Belebungsanlagen. 2016. Juny. Teil 2. Betrieb.
17. **Kanalizacionnye ochistnye sooruzheniya g. Kronshtadta otmechayut 35-letie.** URL: http://www.vodokanal.spb.ru/presscentr/news/kanalizacionnye_ochistnye_sooruzheniya_g_kronshtadta_otmechayut_35letie/ (date of access 17.01.2018).
18. **Metodika** tehnologicheskogo kontrolja raboty ochistnyh sooruzhenij gorodskoj kanalizacii. Izd. 3-e, pererab. i dop. Moscow: Strojizdat, 1977. 172 p.

Информация

Начинается подписка на журнал "Безопасность жизнедеятельности" на первое полугодие 2019 г.

Оформить подписку можно в любом почтовом отделении,
через подписные агентства или непосредственно в редакции журнала

Подписной индекс по Объединенному каталогу:

"Пресса России" — 94032

Адрес редакции: 107076, Москва, Стромьинский пер., д. 4,
Издательство "Новые технологии",
редакция журнала "Безопасность жизнедеятельности"

Тел.: (499) 269-53-97, (499) 269-55-10. E-mail: bjd@novtex.ru