

Рис. 9. Влияние продолжительности контакта на обесцвечивание воды при различных массовых концентрациях озона и pH= 7

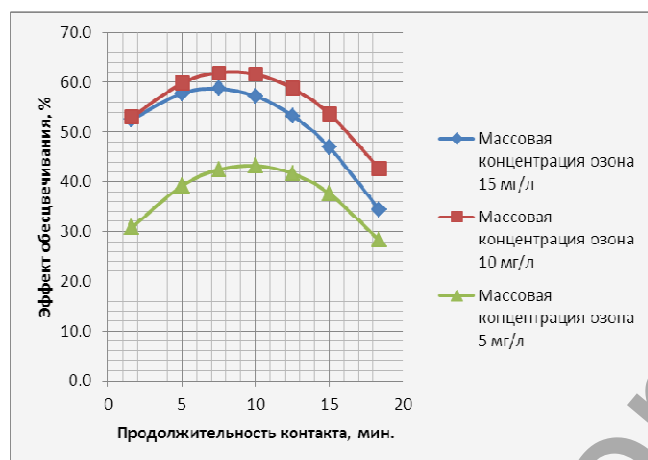


Рис. 10. Влияние продолжительности контакта на обесцвечивание воды при различных массовых концентрациях озона и pH= 8

Продолжительность контакта озона с обрабатываемой водой влияла на эффект обесцвечивания воды р. Мухавец озонированием в несколько меньшей мере. Так, увеличение времени с 3 до 10 мин

**ZHITENYOV B.N., TARATENKOVA M.A. Removal of organic pollution of a surface water for production water supply**

The authors have performed the research on the impact of mass ozone concentration, duration of ozone contact with the treated water and active response on the process of colour removal from the water of the river Mukhavets for industrial water supply. As a result, an experimental-statistical model of the process in the form of second order regression equations has been obtained and optimal values of the studied factors have been identified.

УДК 628.356

**Житенёв Б.Н., Нагурный С.Г.**

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАННЫХ АЭРАТОРОВ ДЛЯ АЭРОТЕНКОВ**

**Введение.** В настоящее время основную функцию в процессах очистки сточных вод от органических и биогенных загрязнений выполняют искусственные биологические сооружения, в основном – аэротенки, различных технологических и конструктивных решений, оборудованные разнообразными типами аэраторов (пневматическими, водоструйными, эжекторными, эрлифтными, механическими). Аэрация сточных вод в процессе биологической очистки является наиболее энергоёмким процессом, на который приходится 60-90% всех затрат

повышало эффект обесцвечивания на 20%, при массовой концентрации озона 5 мг/л и значении активной реакции среды, равной 6. Сила влияния продолжительности контакта снижалась при более высоких значениях массовой концентрации озона.

**Заключение**

1. В результате выполненных исследований разработана экспериментально-статистическая модель процесса обесцвечивания воды р. Мухавец озонированием в виде уравнения регрессии, описывающего совместное влияние массовой концентрации озона, продолжительности контакта, активной реакции среды на эффект обесцвечивания:

$$Y = 76,67 - 10,52 X_1 + 0,84 X_2 - 8,03 X_3 - 2,32 X_1 X_2 - 3,54 X_1 X_3 - 2,25 X_2 X_3 - 11,33 X_1^2 - 4,86 X_2^2 - 7,05 X_3^2$$

2. Установлено, что все указанные факторы оказывают влияние на процесс обесцвечивания воды.

3. Наибольший эффект около 82% обесцвечивания наблюдался при массовой концентрации озона 15 мг/л, продолжительности контакта 10 минут и pH=6,3.

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень, 2013 г./ Под ред. В.Ф. Логина. – Мн., 2014.
2. О критериях выбора типа ВПУ для обессоливания воды, содержащей органические вещества / Б.Н. Ходырев, Б.С. Федосеев, В.В. Панченко [и др.] // Энергетик. – 1992. – № 12. – С. 15–19.
3. Мартынова, О.И. Научно-технический прогресс в области технологии воды на электростанциях / О.И. Мартынова, Б.С. Федосеев // Теплоэнергетика. – 1987. – № 12. – С. 2–5.
4. Славинская, Г.В. Физико-химическое обоснование и реализация процессов удаления гумусовых кислот из водных растворов методом препаративной хроматографии. Специальность 05.11.11 - хроматография и хроматографические приборы: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора химических наук. – Воронеж, 2003.
5. Белов, С.Г. Разработка метода точного дозирования высоких удельных доз озона при обработке воды / С.Г. Белов, Г.О. Наумчик // Вестник БрГТУ. – 2011. – № 2(68): Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 73–81.

Материал поступил в редакцию 09.04.15

на очистку сточных вод. Кроме того, аэрация - наиболее ответственный процесс, так как концентрация растворенного кислорода и эффективность перемешивания сточной жидкости в аэротенке во многом определяют степень окисления органических загрязнений [1].

Система аэрации – комплекс сооружений, устройств и оборудования, обеспечивающих подачу и распределение воздуха (кислорода) в аэротенке, поддержание активного ила во взвешенном состоянии и создание благоприятных гидродинамических условий работы

**Житенёв Борис Николаевич, к.т.н., доцент, профессор кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.**

**Нагурный Сергей Григорьевич, ст. преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.**

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

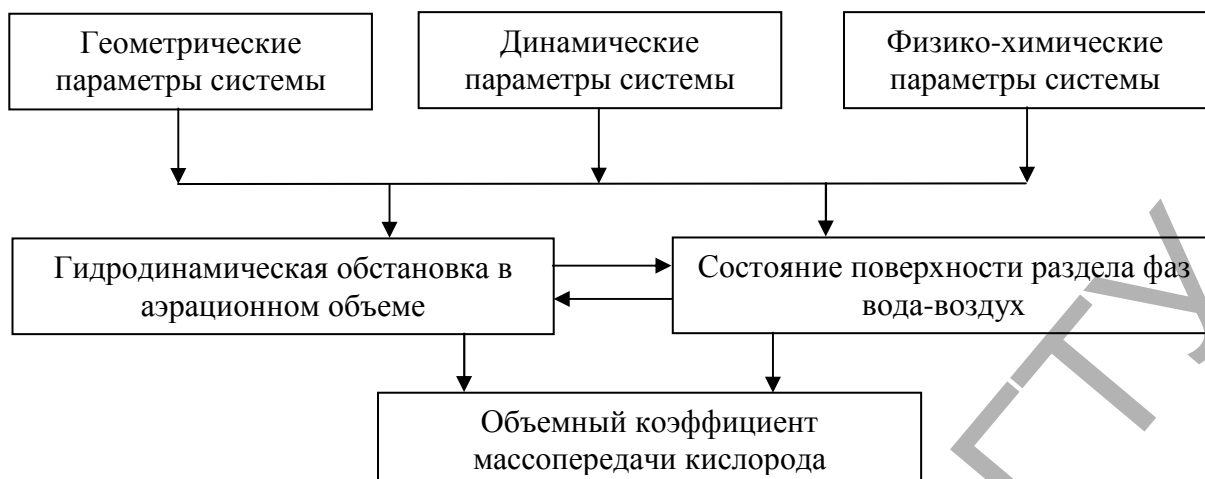


Рис. 1. Факторы, определяющие массоперенос кислорода из воздуха в воду

аэротенков, а также отдувку образующихся в результате метаболизма газов, избыток которых может тормозить процесс биохимической очистки сточных вод.

Аэрационные системы являются сложным, недостаточно надежным и малоизученным оборудованием.

Аэраторы классифицируются по ряду признаков. Так, по основному для них технологическому признаку – способу подачи и распределения воздуха (кислорода) могут быть отнесены к следующим системам: пневматической, механической, гидравлической и комбинированной. В пределах каждой системы аэрационные устройства также подразделяются по конструктивным признакам, глубине погружения, материалу и т.д. Каждая система аэрации имеет свои определяющие признаки.

Аэраторы классифицируют по давлению: до 10 кПа – низкого; от 10 до 50 кПа – среднего; более 50 кПа – высокого давления.

В зависимости от размера образующихся на выходе из аэраторов пузырьков их принято подразделять на три вида: мелкопузырчатые ( $d=1...4$  мм); среднепузырчатые ( $d=5...10$  мм); крупнопузырчатые ( $d>10$  мм) [2].

Способ подачи и распределения воздуха (кислорода) определяет количество и скорость массопередачи кислорода и, следовательно, эффективность работы аэратора.

Процесс массопередачи определяется геометрическими (конструктивными), динамическими и физико-химическими факторами (рис. 1).

**Под геометрическими параметрами системы подразумевают:** при пневматической аэрации – глубину и ширину аэрационных сооружений и их соотношение, ширину полосы аэрации и ее отношение к ширине аэротенка, глубину воды в сооружении, глубину погружения аэраторов и размеры их элементов (размеры фильтровальных пластин, диаметры пористых или перфорированных труб); кроме того, при низконапорной аэрации конструктивными параметрами являются размеры продольной стенки и ее положение, расстояние от продольной стенки до аэраторов и т.д.; при механической аэрации – заглубление и диаметр ротора, размеры лопастей (ширина и высота), количество лопастей и их форма; при гидравлической аэрации – высоту установки струйных аппаратов и их геометрические размеры (диаметры, углы, длина конусной части, диаметры отверстий перфорации и их площадь), наличие и тип распределителя газожидкостной смеси, глубину погружения его под уровень жидкости, размеры распределителя (диаметр, длина горизонтальной части), расстояние между распределителями в плане; при комбинированной аэрации учитываются элементы всех сочетающихся систем.

В качестве динамических параметров при исследовании различных систем принимают: для пневматической системы аэрации – расход воды и воздуха в сооружении, количество и крупность воздушных пузырьков, распределение их в объеме сооружения, траектории

и скорости движения жидкости и газа; для механической системы аэрации: интенсивность перемешивания жидкости, размеры и скорость образующихся пузырьков; при гидравлической аэрации – расход воды, подаваемой через аэрацию, расход инжектируемого воздуха, размеры и скорость образующихся пузырьков, интенсивность перемешивания.

К физико-химическим параметрам относят температуру аэрируемых вод, качественный состав их (наличие растворенных и нерасстворенных примесей), поверхностное натяжение и вязкость.

Повысить энергоэффективность систем аэрации можно путем реализации ряда мероприятий: увеличение коэффициента полезного действия воздухоподводящего оборудования; снижение потерь воздуха при транспортировке по системе воздухопроводов; повышение эффективности аэрации. Наибольшие резервы имеются в эффективности аэрации. В настоящее время используется всего 8–16% кислорода, прошедшего через систему аэрации на очистных сооружениях Республики Беларусь, лучшие зарубежные системы аэрации используют до 30% кислорода. Таким образом, увеличение использования кислорода позволит снизить расходы подаваемого в аэротенк воздуха в 1,5–2,0 раза, что приведет к снижению энергопотребления на 40–50%.

В [3] приведены параметры аэрационных систем по Техническому кодексу установившейся практики, в котором обобщен мировой опыт использования аэрационных систем. В соответствии с таблицей 1 наиболее эффективными являются тарельчатые аэраторы, которые получили наибольшее распространение в мировой практике.

В Республике Беларусь в настоящее время почти повсеместно используются трубчатые аэраторы, изготовленные из пористого полиэтилена. Эффективность этих аэрационных систем в 1,5–2,0 раза ниже тарельчатых аэраторов.

В последнее десятилетие в связи с появлением и использованием новых материалов и оборудования (преимущественно зарубежного производства) для диспергирования воздуха повышены надежность и энергетические показатели известных конструкций аэраторов, но не исключены, в полной мере, имеющиеся у них недостатки.

У существующих в мировой практике конструкций тарельчатых аэраторов имеются недостатки:

- сложность конструкции и, как следствие, высокая стоимость изделия;
- при прекращении подачи воздуха происходит поступление иловой смеси через мембрану внутрь корпуса аэратора, при этом происходит отложение примесей в порах мембраны, которые полностью не удаляются при возобновлении подачи воздуха, в результате происходит увеличение сопротивления мембраны, снижение её производительности, ухудшение качества очистки. Это требует подачи воздуха под повышенным давлением, что сопровождается повышенными расходами электроэнергии.

- восстановление поврежденных аэраторов требует опорожнения аэротенков.

В итоге все это требует существенных экономических и временных затрат, характерным показателем которых является энергосбережение.

Появление в конце 1980-х гг. мембранных мелкопузырчатых аэраторов позволило значительно снизить засорение аэрационных систем.

Указанных выше недостатков лишена конструкция аэратора, разработанного сотрудниками Брестского государственного технического университета. Патент ВУ 9636 U 2013.10.30.

При отсутствии подачи воздуха мембрана гидростатическим давлением прижата по всей площади к корпусу аэратора, что исключает фильтрацию иловой смеси через отверстия эластичной мембраны при прекращении подачи воздуха, а это является залогом устойчивой работы аэратора с первоначальными параметрами в течение длительного срока, что приводит к значительной экономии электроэнергии на подачу воздуха. Указанное техническое решение позволяет в широких пределах осуществлять регулирование подачи воздуха в аэротенк в зависимости от нагрузки.

Исследованию характеристик тарельчатого аэратора проводилось на экспериментальной установке (рис. 2, 3, 4, 5). Были исследованы мембраны с разным шагом отверстий (3×3; 5×5 мм) и с разным диаметром отверстий (0,8; 1,0; 1,2 мм).



Рис. 2. Общий вид установки



Рис. 3. Модель тарельчатого мембранного аэратора

Экспериментальная установка, представляет собой циркуляционную систему, состоящую из следующих основных элементов: стеклянной аэрационной колонны, мембранного аэратора, вакуумного мембранного насоса НВМ-5, трубопроводов и прибора для измерения расхода воздуха.

Аэрационная стеклянная колонна выполнена из органического стекла для возможности визуального наблюдения и фотографирования проходящих в ней процессов насыщения воды кислородом. Внешний диаметр колонны 110 мм, внутренний – 100 мм и высота 2000 мм. В основании колонны установлен шаровый кран, предназначенный для отбора проб воды для анализа, а также возможности подачи водопроводной воды с целью наполнения колонны.

Внутри колонны под слоем жидкости расположен тарельчатый аэратор (2) с мембраной из технического неопрена, диаметр мембраны составляет 55 мм.

После заполнения аэрационной колонны водой до определенного уровня включается насос, и шаровыми кранами (9) на напорной линии устанавливается необходимое давление в аэрационной системе, которое отслеживается с помощью дифманометра (7). Воздух к аэратору подается по гибкому шлангу (8) диаметром 8 мм, расположенному для жесткости в металлопластовой трубе диаметром 16 мм.

Измерения расхода воздуха осуществляется с помощью газового счетчика Г2,5 (4) и секундомера.

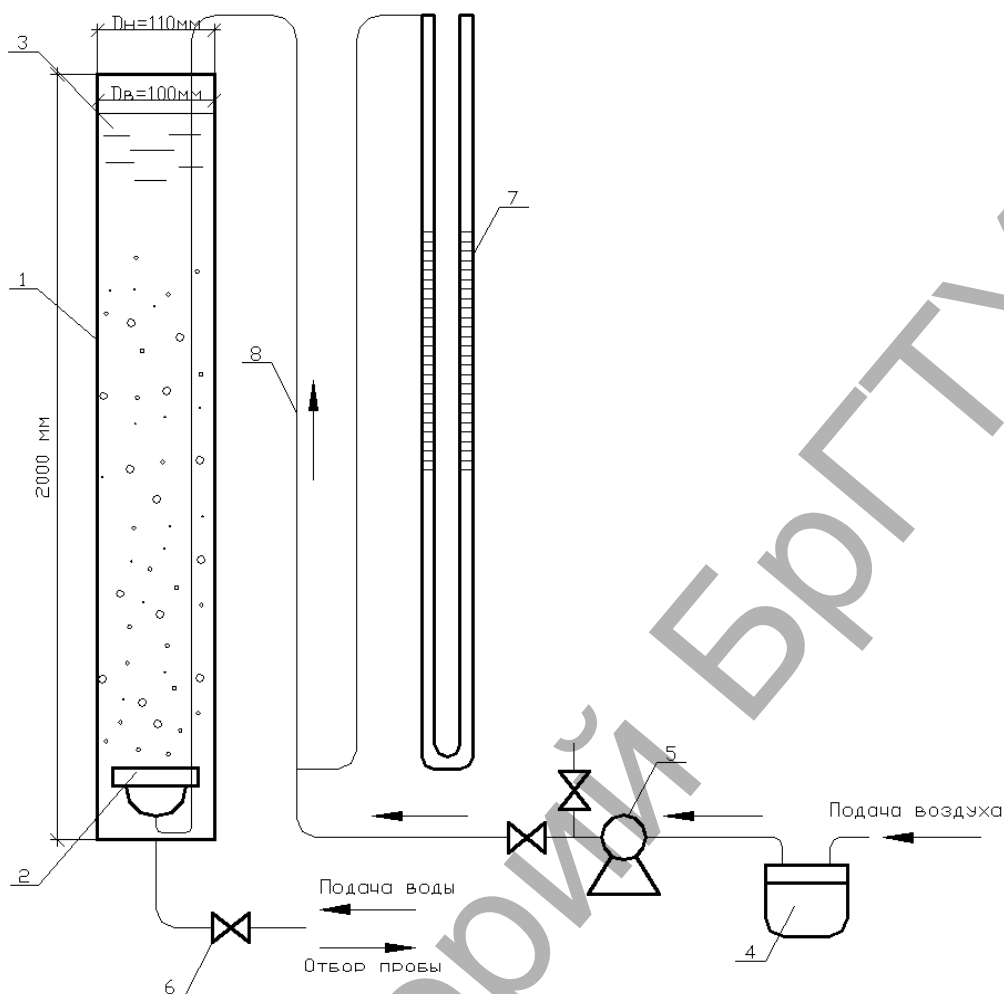
Исследования характеристик тарельчатого аэратора производились при самом оптимальном режиме аэрации - пузырьковом (рис. 5).

При массовом всплывании пузырьков воздуха в аэротенках возможны пузырьковый, факельный и струйный режимы, во многом определяющие эффективность системы аэрации. Площадь поверхности контакта фаз при барботажной аэрации является наряду со временем контакта и скоростью массопередачи кислорода из воздушных пузырьков в жидкость важнейшим показателем эффективности процесса.

Пузырьковый режим – самый эффективный по массопередаче – наблюдается при низких и умеренных расходах воздуха и зависит от крупности пузырьков, от размеров пор или отверстий, причем образование соседних пузырьков происходит автономно.

Если скорость выхода воздуха из отверстия превышает скорость всплывания пузырьков, над отверстием образуется факел воздуха с одновременным дроблением крупных и коалесценцией мелких пузырьков. При факельном режиме истечения крупность пузырьков уже не зависит от размера отверстий. Она определяется гидродинамическими показателями среды.

Проскок воздуха через жидкость в виде сплошных струй (струйный режим) наблюдается, например, в аэротенках при аварии фильтросных каналов и массовом его выходе через образовавшуюся брешь.



1 – колонна; 2 – мембранный аэратор; 3 – крепление для погружения аэратора; 4 – счетчик газа; 5 – компрессор (насос вакуумный); 6 – шаровый кран; 7 – дифманометр; 8 – трубопровод подачи воздуха

Рис. 4. Схема экспериментальной установки по исследованию характеристик тарельчатого аэратора



Рис. 5. Пузырьковый режим работы аэратора

Площадь поверхности контакта фаз, время и скорость массопередачи кислорода из воздушных пузырьков в жидкость являются важнейшим показателем эффективности процесса барботажной аэрации, что в первую очередь зависит от конструктивных особенностей аэраторов.

Создание оптимальных гидродинамических условий барботажной аэрации предопределяет высокоэффективное протекание массообменных процессов диффузионного растворения кислорода, оказывает решающее влияние на его кинетику. Основное отличие массового двухфазного потока от элементарного акта барботажной аэрации состоит в изменяющемся по объему потока составе водовоздушной смеси, наличии мощной поперечной циркуляции в потоке и отсутствии фиксированной границы раздела фаз.

Таким образом, технологическую оценку и выбор аэраторов рационально производить на основе массообменных и энергетических, а также эксплуатационных характеристик аэраторов.

#### Заключение

1. Аэрация сточных вод в процессе биологической очистки является наиболее энергоемким процессом, на который приходится 60-90% всех затрат на очистку сточных вод.
2. Повысить энергоэффективность систем аэрации можно путем реализации ряда мероприятий: увеличение коэффициента полезного действия воздухоподводящего оборудования; снижение потерь воздуха при транспортировке по системе воздухопроводов; повышение эффективности аэрации. Наибольшие резервы имеются в эффективности аэрации.



3. Многим типам пневматических мелкопузырчатых аэраторов свойственны коагуляция пор – засорение, увеличение сопротивления выходу воздуха и, соответственно, рост давления в системе, необходимого для диспергирования одного и того же количества воздуха. Данный недостаток отсутствует в новой конструкции тарельчатого аэратора конструкции БрГТУ.
4. Лучшим вариантом аэратора оказалась мембрана с диаметром отверстий 1,2 мм и шагом 5×5. Мембраны с шагом отверстий 3×3 менее эффективны, поскольку частое расположение отверстий приводило к появлению пузырьков диаметром 6-7 мм. Отверстия диаметром 0,8 мм способствовали появлению мелких пузырьков, которые создают условия для флотации, поскольку они сопоставимы с пузырьками в импеллерной флотации (0,2-0,5 мм). Это, в свою очередь, в реальных условиях может вызвать стра-

тификацию ила по высоте аэротенка и, соответственно, неравномерность изъятия загрязнений.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мешенгиссер, Ю.М. Теоретическое обоснование и разработка новых полимерных аэраторов для биологической очистки сточных вод: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.04 / Ю.М. Мешенгиссер – М., 2005. – 52 с.
2. Худенко, Б.М. Аэраторы для очистки сточных вод // Всесоюз. науч.-исслед. ин-т водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии. Канализация / Б.М. Худенко, Е.А. Шпирт. – М.: Стройиздат, 1973. – 112 с.
3. Очистные сооружения сточных вод. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-4.01-202-2010 (02250).

Материал поступил в редакцию 03.11.14

#### ZHITENYOV B.N., NAGURNY S.G. Use of membrane aerators for aerotנק

Authors in detail considered the existing domestic and foreign methods and designs of the aeration devices used the aerotנק considered their advantages and shortcomings. High power consumption of the existing aerotנק, shortcomings of work of systems of aeration and many others resulted authors of work in need of development of a design of aerators of the new type protected by the patent for the invention.

In a design of the considered dish-shaped aerator there is no kolmatation of a time, pressure in system for air dispersing decreases, many other advantages are reached.

УДК 628.523

Урецкий Е. А., Газизов Р.Т., Мороз В.В.

## РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ГАЛЬВАНОШЛАМОВ, ЗАГРЯЗНЁННЫХ ОРГАНИЧЕСКИМИ И МИНЕРАЛЬНЫМИ ИНГРЕДИЕНТАМИ ПОКРАСОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Введение.** Обработка и утилизация гальваношламов, загрязнённых органическими и минеральными ингредиентами покрасочных производств, представляет сложную проблему. Это связано с тем, что для этого вида отходов переработка механическими, биологическими и другими методами не даёт надёжных результатов. На наш взгляд, одним из эффективных методов комплексной утилизации гальваношламов, загрязнённых органическими и минеральными ингредиентами покрасочных производств, является использования их в производстве строительных материалов.

Как известно, компоненты этого вида осадков сточных вод в большинстве своем являются ценными неорганическими материалами. Однако разделение этих компонентов связано с большими организационными и техническими трудностями и не позволяет решить проблему утилизации всего выделяемого осадка.

Это связано с тем, что осадок представляет собой сложную смесь, содержащую отходы различных участков производства, а имеющиеся технические решения позволяют успешно решить проблему выделения цветных металлов из шламов при условии раздельной обработки сточных вод каждого из технологических процессов, не решая проблемы утилизации всех остальных компонентов.

В свою очередь, внедрение раздельной обработки шламов с целью выделения из них ценных компонентов, связано с капитальной реконструкцией всей инфраструктуры предприятия и требует дополнительных площадей, что в реальных условиях трудно осуществимо.

В этой связи представляется наиболее целесообразным решить вопрос комплексной утилизации осадка сточных вод путем его использования в качестве компонента сырьевых смесей, в частности, для строительных материалов.

С учетом санитарно-гигиенических требований полного обез-

вреживания выделяемого осадка наиболее перспективным является его применение в производстве строительного кирпича, искусственных пористых заполнителей для бетонов (керамзита или аглопорита), а также красящих пигментов для стекол, глазурей и эмалей; т.е. таких изделий, производство которых связано с обжигом при высоких температурах и образованием жестких структур материала при полном выгорании токсичных органических компонентов.

Можно ожидать, что применение осадка сточных вод производства защитных покрытий, загрязнённых органическими и минеральными ингредиентами, в качестве компонента таких сырьевых смесей позволит решить проблему полного обезвреживания и утилизации осадка, получить экономию дефицитных пигментов и пластичных материалов, улучшить некоторые технологические свойства сырьевых смесей, а также повысить ряд эксплуатационных показателей готовых изделий (морозостойкость, водопоглощение, внешний вид и т.п.).

Одновременно можно ожидать получение экономического эффекта за счёт экономии топливно-энергетических ресурсов на обжиг, путем снижения температуры спекания керамических материалов и дополнительной тепловой энергии, выделяемой при сгорании органических компонентов окрасочного производства [1].

**Материалы и методы исследования.** В рамках технического сотрудничества БЭМЗ с Московским государственным проектным институтом (лаб. № 36 МГПИ, рук. Урецкий Е.А.) и Брестским государственным университетом им. А.С. Пушкина, помимо осадка сточных вод гальванических производств БЭМЗ, были проведены исследования химического состава осадка предприятий г. Минска: МЗВТ, МЗПП, "Термопласт", НИИ ЭВМ, завода им. Орджоникидзе, МЗУ ЭВМ, на предмет утилизации.

Урецкий Евгений Аронович, член-корреспондент Белорусской инженерной технологической академии.

Мороз Владимир Валентинович, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Газизов Ренат Тимурович, к.х.н., ст. научный сотрудник Брестского государственного университета им. А.С. Пушкина.

Беларусь, БрГУ им. А.С. Пушкина, 224016, г. Брест, б-р Космонавтов, 21.