

Охрана окружающей среды

УДК 543.38.66.094.941:628.336.543.94

Шаманский С.Й., канд. техн. наук,
Бойченко С.В., докт. техн. наук, проф.

Национальный авиационный университет, Киев

просп. Комарова, 1, 03058 Киев, Украина, e-mail: shamanskiy_s_i@mail.ru

Формирование технологических требований к процессу гидролиза органических соединений при сбраживании осадков сточных вод авиапредприятий

Эффективным методом стабилизации осадков сточных вод, образующихся на очистных сооружениях авиапредприятий, может быть анаэробное сбраживание. Недостатки существующих технологий, приводящих к большой длительности процесса, сдерживают его широкое применение. По современным представлениям, брожение происходит в несколько стадий, первой из которых является гидролиз органических соединений, до завершения которого следующие стадии начаться не могут. Проанализированы достоинства и недостатки известных методов ускорения гидролиза органических соединений. Предложено отделение процесса гидролиза в пространстве от остальных стадий брожения, проведение его в отдельной емкости-гидролизаторе и создание в ней оптимальных условий для этой стадии. Предложена интенсификация процесса посредством комбинации щелочного гидролиза и ультразвуковой кавитации. Для повышения интенсивности кавитационных явлений предложено проведение процесса при небольшом избыточном давлении с одновременным барботажем осадка биогазом, получаемым на последующих стадиях брожения. Показано, что предложенные методы позволяют интенсифицировать весь процесс брожения и уменьшить объемы необходимых для этого сооружений. *Библ. 16, рис. 1.*

Ключевые слова: гидролиз органических соединений, интенсификация гидролиза, осадки сточных вод авиапредприятий, сбраживание.

По современным представлениям, процессы анаэробного сбраживания органических отходов, одним из конечных продуктов которых является метан, проходят в несколько последовательных стадий. Первой из них является гидролиз — разложение сложных нерастворимых органических соединений до более простых, растворимых в воде и доступных для дальнейшего брожения. Только после перехода органических веществ в растворимую форму могут начинать-

ся дальнейшие стадии процесса. Следовательно, его общая скорость ограничивается скоростью завершения гидролиза. Интенсификация последнего является актуальной задачей, поскольку позволит увеличить скорость всего процесса и в результате уменьшить объемы метантенков и повысить их экономичность [1, 2].

Цель данной работы — формирование комплексной картины современных научных представлений о методах интенсификации гидролиза

и формирование требований к технологическим процессам сбраживания, а также требований к проектированию установок, которые могут реализовывать эти технологические процессы.

Особенности стадии гидролиза органических соединений в процессах брожения

Переработка осадков сточных вод авиапредприятий в метантенке, несмотря на возможности получать дополнительный нетрадиционный источник энергии – биогаз, а также экологически безопасное удобрение, считается в Украине малоэффективной. Проблемой является то, что применяемые технологии сбраживания далеки от совершенства [3–5]. При этом процессы брожения занимают длительное время, а выход биогаза является незначительным. Учет особенностей кинетики этих процессов позволит создать более эффективные технологии [6, 7].

Последние исследования показывают, что в целом для процессов анаэробного брожения важными параметрами являются температура субстрата, pH среды, содержание кислорода в реакторе, наличие или отсутствие соответствующей микрофлоры и токсинов в субстрате, интенсивность перемешивания, давление в реакторе и тому подобное. Можно утверждать, что на разных стадиях брожения оптимальные значения этих параметров часто являются разными [8, 9]. Кроме того, каждая стадия для оптимального протекания часто требует специфических условий. Таких условий требует и гидролиз. Поэтому целесообразным является отделение стадии гидролиза в пространстве от других стадий брожения и создание оптимальных условий для его интенсификации.

В процессе анаэробной ферментации принимает участие сообщество различных микроорганизмов, которые последовательно осуществляют стадии гидролиза, кислотогенеза, ацетогенеза и метаногенеза. При создании технологий осуществления этого процесса стадии гидролиза уделяется недостаточно внимания. В последнее время появились научные исследования, которые позволяют лучше объяснить влияние отдельных факторов на интенсивность протекания этой стадии. Однако для того, чтобы сделать возможным их практическое применение, эти исследования нуждаются в обобщении и систематизации.

Можно выделить гидролиз ферментативный и бактериальный. Скорость ферментативного гидролиза зависит от природы твердых органических соединений, которые гидролизуют. Эта скорость пропорциональна площади

поверхности, доступной для молекул ферментов. Скорость бактериального гидролиза зависит от степени проницаемости клеток органических веществ. Она существенно снижается, когда волокна полисахаридов запечатываются лигнином, что сокращает доступную поверхность.

Бактерии, которые принимают участие в расщеплении органических веществ на стадии гидролиза, можно разделить на такие группы: целлюлозолитические и сахаролитические (*Clostridium Bacteroides*, *Butyrivibrio*, *Ruminococcus*, *Acetivibrio*, *Lactobacillus* и др.); протеолитические (*Clostridium Peptococcus*, *Bifidobacterium*, *Staphylococcus* и др.); липолитические (*Clostridium Micrococcus*, *Ruminococcus*, *Butyrivibrio* и др.).

По данным [8], оптимальное значение pH на этой стадии составляет 6,5–7,6. Однако этот оптимум является актуальным только при применении технологий без отделения ее в пространстве от последующих стадий процесса. Исследования показали, что при пространственном распределении на стадии гидролиза можно существенно изменять pH в ту или другую сторону, тем самым регулируя скорость его прохождения [10].

Беззольная часть сырого осадка первичных отстойников содержит больше растворимых органических веществ и меньше живой микрофлоры, поэтому гидролизует сравнительно легко. В отличие от сырого осадка беззольная часть активного ила состоит преимущественно из сгустков органических веществ, которые трудно разлагаются и заселены сообществом микроорганизмов. Часть растворимого органического вещества невелика, из-за этого гидролиз активного ила проходит значительно медленнее. Следовательно, его можно рассматривать как лимитирующий фактор первой стадии. Для ускорения процесса брожения важна интенсификация гидролиза прежде всего активного ила.

Предложения по интенсификации гидролиза

Для интенсификации гидролиза можно использовать предварительную обработку осадков. Она должна быть направлена на разрушение клеток микроорганизмов и превращение органических веществ из связанного (нерастворимого) состояния в растворимое.

Для предварительной обработки можно использовать такие методы: механическое измельчение; обработка кислотой (кислотный гидролиз); обработка щелочью (щелочной гидролиз); нагревание до высоких температур 100–180 °C

(термический гидролиз); обработка щелочью и нагревание (термощелочной гидролиз); облучение ультразвуком (ультразвуковой гидролиз).

Для активного ила, по данным [10], при использовании для механического измельчения механического гомогенизатора, для кислотного гидролиза — раствора соляной кислоты, для щелочного гидролиза — раствора едкого натра, для термического гидролиза — нагревания и выдерживания при температуре 100 °С, для ультразвукового гидролиза — ультразвукового диспергатора УЗД 1-0.063/22 с частотой излучения 22 кГц и дозой облучения до 100 Вт·ч/л можно достигать такого увеличения распада беззольного вещества:

- механическое измельчение — 2,2 %;
- кислотный гидролиз — 5,7 %;
- щелочной гидролиз — 8,7 %;
- термический гидролиз — 10,2 %;
- термощелочной гидролиз — 13,3 %;
- ультразвуковой гидролиз — 20 %.

Исходя из этих результатов, для дальнейшего использования перспективным можно считать интенсификацию гидролиза методами щелочной, термической, термощелочной и ультразвуковой предварительной обработки осадков.

Щелочной гидролиз основывается на разрушении клеток органических веществ щелочью, которая добавляется к осадку. Метод достаточно простой в осуществлении.

Недостатком термического и термощелочного гидролиза является то, что в самом начале гидролиза возникает необходимость быстрого нагревания осадков до высоких температур, потом быстрого их охлаждения до температуры психрофильного, мезофильного, термофильного или экстратермофильного режимов, в зависимости от последующей технологии. Это требует больших затрат тепловой энергии. Температура на этой стадии не нуждается в стабилизации, поэтому, не применяя термического гидролиза, осадок можно постепенно нагревать до температуры, необходимой на последующей стадии.

Принцип интенсификации гидролиза ультразвуком заключается в том, что под действием ультразвукового облучения в осадке возникает кавитация. Газовые пузырьки, которые при этом образуются, захлопываясь, приводят к локальному многократному увеличению давления, разрушая при этом сгустки и сами органические вещества, тем самым увеличивая их биодоступность для прохождения последующих стадий процесса. Скорость разрушения при равенстве других факторов зависит от интенсивности возникающей кавитации, которая, в свою очередь, зависит от интенсивности ультразвукового об-

лучения. Эта скорость может быть оценена скоростью прироста растворимого химического потребления кислорода (ХПК). По данным [10], прирост растворимого ХПК активного ила прямо пропорционально зависит от дозы облучения ультразвуком. При этом наблюдается разрушение сгустков и изменение структуры активного ила.

Недостатком этого метода является то, что облучение осадков ультразвуком требует значительных затрат энергии. С увеличением дозы облучения эти затраты увеличиваются. В связи с этим при использовании ультразвуковой кавитации актуальным является поиск других методов интенсификации кавитационных процессов, без увеличения дозы облучения.

В этой работе предлагается интенсификация ультразвуковой кавитации посредством обработки осадков ультразвуком и одновременно барботажа их газом [11, 12]. При барботаже пузырьки газа, которые проходят через осадки, ослабляют межмолекулярные связи в них, способствуют нарушению целостности среды, образованию микронадрывов и становятся центрами зарождения кавитации. Эти процессы снижают необходимые энергетические затраты ультразвуковых колебаний на переходные процессы с образованием микропузырьков. По данным [13], при обеззараживании методом ультразвуковой кавитации модельных растворов, загрязненных производственными сточными водами, барботирование разными газами позволяло увеличить константу скорости разрушения органических соединений в 2,6 раза, а биологических составляющих в 4,3 раза (по сравнению с аналогичной ультразвуковой обработкой без барботирования).

Ввиду того, что на последующих стадиях работают анаэробные бактерии, барботирование воздухом является нецелесообразным, поскольку осадок будет насыщаться кислородом. При аэробных условиях гидролиз может проходить, однако, по данным [8, 14], при анаэробном гидролизе, при отсутствии процессов окисления, в субстрате сохраняется большее количество органических веществ. В результате выход биогаза на последующих стадиях увеличивается. В работе [13] предлагается использовать для барботирования инертные газы, в частности, гелий и азот, что обеспечит анаэробные условия в реакторе, но такой процесс является дорогостоящим, поскольку нуждается в источниках получения этих газов.

Для гидролиза осадков сточных вод авиапредприятий можно предложить использование для барботажа получаемый на последующих

стадиях биогаз, поскольку он не содержит кислорода, а содержит углекислый газ, который на последующих стадиях брожения может использоваться ацетатобразующими бактериями на стадии ацетогенеза в соответствии с формулой



а также метанобразующими бактериями для продуцирования метана на стадии метаногенеза в соответствии с формулой



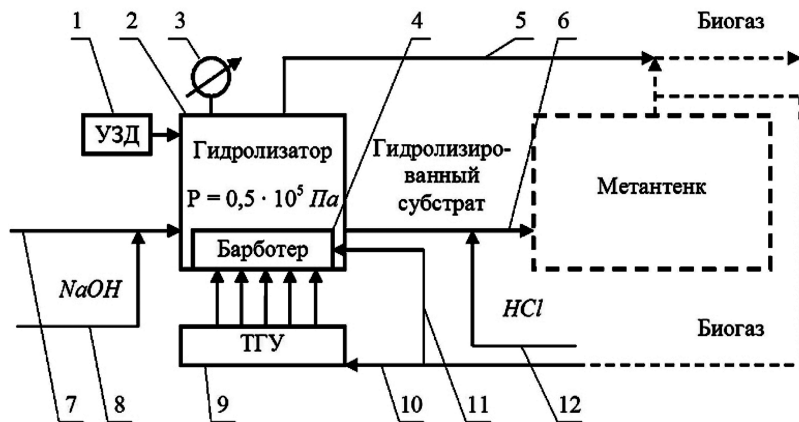
Во время осуществления ультразвуковой кавитации большое значение имеет давление среды, поскольку его повышение, с одной стороны, приводит к осложнению появления кавитационных пузырьков и повышению кавитационного порога, а с другой — способствует более интенсивному их захлопыванию и, следовательно, большему локальному давлению и лучшему разрушению органических веществ. По данным [13], максимумы констант скорости разрушения достигаются при избыточном давлении $P_{\text{изб}} = 0,5 \cdot 10^5$ Па. При этом при остальных равных условиях константа скорости разрушения органических веществ увеличивается в 1,2 раза, а биологических составляющих в 1,5 раза (по сравнению с осуществлением процесса при атмосферном давлении).

Технологические требования к процессу гидролиза

На основании изложенного для практического применения можно предложить интенсификацию процесса гидролиза посредством комбинации щелочного гидролиза с ультразвуковой кавитацией и барботированием биогазом. Для реализации этого можно предложить технологическую схему гидролиза, показанную на рисунке, которая включает такие основные элементы, как гидролизатор с барботером, теплогенерирующую установку и ультразвуковой диспергатор.

Технологическая схема должна работать следующим образом. К гидролизатору (2) подается свежий осадок (7) с добавлением рециркуляционного сброженного осадка из метантенка. Перед подачей в гидролизатор осадок смешивается со щелочью, в качестве которой можно использовать раствор NaOH (8). После загрузки осадка в гидролизатор в барботер (4) подается рециркуляционный биогаз (11) из метантенка. Барботируя через осадок, биогаз собирается в верхней части гидролизатора. Последний должен иметь клапан, через который выпускается биогаз на утилизацию в отводящий трубопровод (5), поддерживая внутри избыточное давление $P_{\text{изб}} = 0,5 \cdot 10^5$ Па. Для контроля давления схема содержит манометр (3).

Одновременно с началом барботажа включается ультразвуковой диспергатор (1), облучая осадок. Начинает работать теплогенерирующая установка (9), которая постепенно нагревает осадок. Скорость нагревания следует рассчитывать таким образом, чтобы к окончанию гидролиза температура осадка достигала значения, необходимого на последующей стадии брожения. Время, необходимое для окончания гидролиза, следует определять экспериментально при пробном сбраживании для конкретного осадка, контролируя при этом величину растворимого ХПК. По завершении в гидролизированный осадок добавляется кислота (можно использовать раствор HCl) для доведения pH среды до значений 6,5–7,6. После этого осадок подается в метантенк на дальнейшее брожение.



Технологическая схема термощелочного гидролиза с ультразвуковой кавитацией и биогазовым барботажем: 1 — ультразвуковой диспергатор; 2 — гидролизатор; 3 — манометр для контроля давления в гидролизаторе; 4 — барботер; 5 — отведение биогаза после барботажа на утилизацию; 6 — отведение гидролизованного субстрата на последующее сбраживание; 7 — подача свежего осадка на гидролиз; 8 — подача щелочи в осадок перед гидролизом; 9 — теплогенерирующая установка для нагревания осадка; 10 — подача биогаза к теплогенерирующей установке; 11 — подача биогаза к барботеру для барботажа; 12 — подача кислоты в метантенк для восстановления pH.

Выводы

Существующие технологии анаэробного сбраживания из-за присущих им недостатков не позволяют эффективно их использовать на очистных сооружениях авиапредприятий для переработки осадков сточных вод. Это приводит к наличию проблем с утилизацией этих осадков. Предложенные технологические требования к осуществлению гидролизной стадии брожения позволят интенсифицировать этот процесс, сократить длительность этой стадии и, следовательно, длительность всего процесса [15, 16]. Создание установок (метантенков), которые смогут реализовывать предложенную технологию, позволит открыть новые перспективы переработки осадков сточных вод авиапредприятий, получения дополнительных источников энергии и экологически безопасных удобрений.

Список литературы

1. Караева Ю.В., Трахунова И.А. Обзор биогазовых технологий и методов интенсификации процессов анаэробного сбраживания // Труды Академэнерго. — 2010. — № 3. — С. 109–127.
2. Ковалев В.В., Унгурияну Д.В., Ковалева О.В. Теоретические и практические аспекты совершенствования процессов биогазовой технологии // Проблемы региональной энергетики. — 2012. — № 1. — С. 102–114.
3. Гелетуха Г.Г., Кобзарь С.Г. Современные технологии анаэробного сбраживания биомассы (Обзор) // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2002. — № 4. — С. 3–9.
4. Добрынина О.М., Калинина Е.В. Технологические аспекты получения биогаза // Вестник Пермского государственного технического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. — 2010. — № 2. — С. 33–40.
5. Ковалев В.В. Теоретические и практические аспекты совершенствования процессов биогазовой технологии // Проблемы региональной энергетики. — 2012. — № 1. — С. 102–114.
6. Обоснование и разработка средств повышения энергоэффективности работы трехстадийного метантенка : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Ижевск, 2011. — 19 с.
7. Трахунова И.А. Повышение эффективности анаэробной переработки органических отходов в метантенке с гидравлическим перемешиванием на основе численного эксперимента : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Казань, 2014. — 19 с.
8. Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. Метантенки. — М. : Стройиздат, 1991. — 280 с.
9. Седнин В.А., Седнин А.В., Прокопеня И.Н., Шимукович А.А. Анализ факторов, влияющих на производство биогаза при сбраживании осадка сточных вод // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ-ЭНЕРГЕТИКА : Теплотехника. — 2009. — № 5. — С. 49–58.
10. Данилович Д.А., Козлов М.Н., Кевбрина М.В., Гусев Д.В. Влияние предварительной обработки осадков сточных вод на полноту протекания процесса метанового сбраживания // Вода : Технологии, материалы, оборудование, экология. — 2009. — № 2. — С. 24–26.
11. Шаптала В.Г., Шаптала В.В., Суслов Д.Ю. Вопросы моделирования и расчета барботажных реакторов // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та. — 2013. — № 5. — С. 189–192.
12. Куцев Л.А., Суслов Д.Ю. Расчет экономической эффективности использования биогазовой установки с барботажным реактором // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та. — 2014. — № 5. — С. 183–186.
13. Предзимірська Л.М. Кавітаційне очищення природних і стічних вод від органічних та біологічних забруднень : Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Івано-Франківськ, 2015. — 21 с.
14. Куцев Л.А., Суслов Д.Ю., Алифанова А.И. Теоретические аспекты процесса получения биогаза при анаэробной ферментации органических отходов // Science Time. — 2014. — № 10. — С. 258–262.
15. Волова Т. Г. Биотехнология. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1999. — 252 с.
16. Ungureanu D. Biological wastewater treatment using fixed film // Papers of Conference of the young scientists and researches «Innovations in the field of water supply, sanitation and water», Bucharest, 15–17 June 2005. — P. 97–102.

Поступила в редакцию 01.12.15

Шаманський С.Й., канд. техн. наук,
Бойченко С.В., докт. техн. наук, проф.
Національний авіаційний університет, Київ
просп. Комарова, 1, 03058 Київ, Україна, e-mail: shamanskiy_s_i@mail.ru

Формування технологічних вимог до процесу гідролізу органічних сполук при зброджуванні осадів стічних вод авіапідприємств

Ефективним методом стабілізації осадів стічних вод, що утворюються на очисних спорудах авіапідприємств, може бути анаеробне зброджування. Недоліки існуючих технологій, які призводять до значної тривалості процесу, стримують його широке застосування. За сучасними уявленнями, бродиння проходить у декілька стадій, першою з яких є гідроліз органічних сполук, до завершення якого подальші стадії розпочатися не можуть. Проаналізовано переваги та недоліки відомих методів прискорення гідролізу органічних сполук. Запропоновано відокремлення процесу гідролізу у просторі від решти стадій бродиння, проведення його в окремій ємності-гідролізаторі та утворення в ньому оптимальних умов для цієї стадії. Запропоновано інтенсифікацію процесу завдяки комбінації лужного гідролізу та ультразвукової кавітації. Для підвищення інтенсивності кавітаційних явищ запропоновано проведення процесу при невеликому надлишковому тиску з одночасним барботажем осаду біогазом, який отримують на подальших стадіях бродиння. Показано, що запропоновані методи дають змогу інтенсифікувати весь процес бродиння та зменшити об'єми необхідних для цього споруд. *Бібл. 16, рис. 1.*

Ключові слова: гідроліз органічних сполук, інтенсифікація гідролізу, осад стічних вод авіапідприємств, зброджування.

Shamanskiy S.I., Candidate of Technical Sciences,
Boichenko S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor
National Aviation University, Kiev
1, Komarov Ave., 03058 Kiev, Ukraine, e-mail: shamanskiy_s_i@mail.ru

Determining of Technological Requirements to the Process of Hydrolysis of Organic Compounds During Airline's Sewage Sludge Fermentation

Anaerobic fermentation can be an effective method of stabilizing of sewage sludge that is obtained at airline's sewage water treatment plants. Shortcomings of conventional technologies, which cause long duration of the process, considerably restrain its wide application. According to modern points of view the fermentation consists of several stages. The first of them is hydrolysis of organic compounds. Without accomplishment of hydrolysis there are no possibilities of other stages beginning. There are analyzed highs and lows of known methods of organic compound hydrolysis' acceleration. There is proposed to separate hydrolysis from other fermentation stages in space and to conduct it in a separate capacity, which can be called a hydrolyser. There is also proposed to create in the hydrolyser optimal conditions for this stage of fermentation. There is proposed intensification of the process by combination of alkaline hydrolysis and ultrasound cavitation. There is proposed to conduct the process under excessive pressure for intensification of cavitation attack and to bubble the sludge with biogas, which is obtained at the subsequent stages of the fermentation. There is shown, that the proposed methods can allow to intensify whole fermentation process and to make installations, necessary for fermentation, smaller in size. *Bibl. 16, Fig. 1.*

Key words: hydrolysis of organic compounds, intensification of hydrolysis, sewage sludge of airline enterprises, fermentation.

References

1. Karaeva U.V., Trachunova U.A. [Review of Biogas Technologies and Methods of Intensification of Anaerobic Fermentation Processes], *Proceedings of Academenergo*, 2010, (3), pp. 109–127. (Rus.)
2. Kovalev V.V., Ungureanu D.V., Kovaleva O.V. [Theoretical and Practical Aspects of Improving of Biogas Technology Processes], *Problemy regionalnoj energetiki*, 2012, (1), pp. 102–114. (Rus.)
3. Geletucha G.G., Kobzar S.G. Modern Technologies of Anaerobic Fermentation of Biomass (Review), *Ecotechnologii i Resursoberezenije [Ecotechnology and Resource Saving]*, 2002, (4), pp. 3–9. (Rus.)
4. Dobrynina O.M., Kalinina E.V. [Technological Aspects of Biogas Production], *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo technicheskogo universiteta. Ochrana okruzhajushchej sredy, transport, bezopasnost zhiznedejatelnosti*, 2010, (2), pp. 33–40. (Rus.)
5. Kovalev V.V. [Theoretical and Practical Aspects of improving of Biogas Technology Processes], *Problemy regionalnoj energetiki*, 2012, (1), pp. 102–114. (Rus.)
6. Kudrjashova A.G. [Substantiation and Means Development of Increasing of Energy Efficient Operating of Threestage Methanetank : Author's Abstract of Thesis Candidate of Technical Science], Izhevsk, 2011, 19 p. (Rus.)
7. Trachunova I.A. [Increasing of Efficiency of Anaerobic Processing of Organic Wastes in a Methanetank with Hydraulic Mixing on the Basis of Numeral Experiment : Author's Abstract of Thesis Candidate of Technical Science], Kazan, 2014, 19 p. (Rus.)
8. Gjunter L.I., Goldfarb L.L. [Methanetanks], Moscow : Strojizdat, 1991, 280 p. (Rus.)
9. Sednin V.A., Sednin A.V., Prokopenya I.N., Shymukovich A.A. [Analysis of Factors, which Influence on Biogas Production during sewage sludge fermentation], *Izvestija Vysshich Uchebnych Zavedenij i Energeticheskich Objedinenij SNG-ENERGETIKA : Teplotechnika*, 2009, (5), pp. 49–58. (Rus.)
10. Danilovich D.A., Kozlov M.N., Kevbrina M.V., Gusev D.V. [Influence of preliminary processing of sewages sludge on completeness of methane fermentation process], *Voda: Technologii, Materialy, Oborudovaniye, Ecologija*, 2009, (2), pp. 24–26. (Rus.)
11. Shaptala V.G., Shaptala V.V., Suslov D.U. [Questions of Design and Calculation of Bubble-type Reactors], *Vestnik Belgorodskogo Technologicheskogo Universiteta*, 2013, (5), pp. 189–192. (Rus.)
12. Kushchev L.A., Suslov D.U. [Calculation of Economic Efficiency of Using a Biogas Installation with a Bubble-type Reactor], *Vestnik Belgorodskogo Technologicheskogo Universiteta*, 2014, (5), pp. 183–186. (Rus.)
13. Predzymirska L.M. [Cavitation purification of Natural and Sewage Waters from Organic and Biological Contaminations : Author's Abstract of Thesis Candidate of Technical Sciences], Ivano-Frankivsk, 2015, 21 p. (Ukr.)
14. Kushchev L.A., Suslov D.U., Alifanova A.I. [Theoretical Aspects of a Process of Biogas Production During Anaerobic Fermentation of Organic Wastes], *Science Time*, 2014, (10), pp. 258–262. (Rus.)
15. Volova T.G. [Biotechnology], Novosibirsk : Publishing House of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 1999, 252 p. (Rus.)
16. Ungureanu D. Biological wastewater treatment using fixed film. *Papers of Conference of the young scientists and researches, «Innovations in the field of water supply, sanitation and water»*, Bucharest, 15–17 June 2005, pp. 97–102.

Received December 1, 2015