

Михайленко В. В.,
Капустин А. Е.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ

Изучены процессы анаэробного сбраживания фильтрата свалки твердых бытовых отходов г. Мариуполя. Определена зависимость процесса сбраживания от температуры. Установлено оптимальную температуру процесса — 54–55 °С. Доказано, что при данной температуре обеспечивается полная гибель микроорганизмов и яиц гельминтов. Определено, что изменение химического потребления кислорода (ХПК) в ходе процесса и газообразование прямопропорциональны.

Ключевые слова: *фильтрат, свалка твердых бытовых отходов, анаэробное сбраживание.*

1. Введение

Накопление и захоронение отходов ведет к значительным потерям природных, почвенных и водных ресурсов, возникновению необратимых процессов загрязнения окружающей среды и несет реальную угрозу здоровью населения [1]. Свалки ТБО загрязняют окружающую среду не только химическими веществами. Негативное влияние на окружающую среду и человека, в частности, оказывают микроорганизмы и яйца гельминтов, содержащиеся в мусоре и распространяющиеся на большие территории вокруг свалок [2, 3]. На свалке бытовых отходов также накапливаются инфицированные медицинские отходы больниц, поликлиник, лабораторий, такие как шприцы, бинты, салфетки и прочие.

При прохождении воды сквозь отходы образуется фильтрат, в котором содержатся не только химические загрязняющие вещества, но микроорганизмы и яйца гельминтов.

Различные способы очистки фильтрата свалок твердых бытовых отходов (ТБО) от химического загрязнения достаточно широко описаны в литературе [4–9], но они не эффективны при очистке от биологического загрязнения. Присутствие на свалке медицинских отходов приводит к распространению возбудителей серьезных заболеваний и является угрозой жизни и здоровью населения. Предварительные исследования показали превышение нормативов по содержанию микроорганизмов, яиц гельминтов [10]. В связи с этим актуальной является задача по разработке технологических решений по очистке фильтрата по микробиологическим и гельминтологическим показателям. При разработке технологических решений необходимо учитывать особенности расположения свалки относительно реки Кальмиус и Азовского моря. Эффективным способом очистки фильтрата является анаэробный процесс.

2. Объект исследования и его технологический аудит

Вследствие неконтролируемого стекания загрязненного фильтрата в реку и в грунтовые воды наносится ущерб водным объектам. Для устранения попадания в грунтовые воды неорганизованных стоков предлагаем

анаэробную переработку с предварительным сбором и смешиванием с организованными стоками. Поскольку стоки содержат большое количество взвешенных частиц, скорость осаждения которых очень низка, а содержание органики высоко, то в данной работе авторы статьи рассматривали анаэробное сбраживание именно такого ила.

Объектом данного исследования явились закономерности протекания процесса анаэробного сбраживания фильтрата для его очистки с целью улучшения экологического состояния окружающей природной среды.

Метод анаэробного сбраживания имеет ряд преимуществ, таких как:

- возможность осуществлять очистку непосредственно в месте образования фильтрата;
- очистка стоков от микроорганизмов и яиц гельминтов;
- возможность получения альтернативного источника энергии — биогаза, образующегося в процессе сбраживания;
- отсутствие негативного воздействия на окружающую среду.

Под анаэробным сбраживанием понимают микробиологические процессы ассимиляции загрязнений ассоциацией симбиотических микроорганизмов в анаэробных условиях, при этом одновременно со снижением концентрации загрязнителя выделяется так называемый биогаз, состоящий из метана и углекислоты.

Анаэробное сбраживание, как правило, используют для первичной очистки высококонцентрированных стоков с содержанием загрязнений от 3000 мг/л ХПК. Системы очистки могут работать в различных температурных режимах — психрофильном (при температуре менее 20 °С), мезофильном (при температуре 20–45 °С), термофильном (при температуре 50–65 °С). Скорость очистки существенно зависит от температуры и наиболее эффективными являются термофильные методы очистки. Однако, часто преимущество в скорости очистки не может компенсироваться тем количеством тепла, которое необходимо подводить к системе. При термофильном режиме сбраживания практически полностью погибают микроорганизмы семейства энтерогруппы (кишечные палочки) и яйца гельминтов.

Важным условием эффективного анаэробного сбраживания является необходимость контроля необходимой

температуры и, поскольку процесс зависит от микробиологических процессов. Кроме того, необходимо обеспечить отсутствие кислорода в реакционном метантенке.

3. Цель и задачи исследования

На основе вышеизложенного *цель исследования* — проанализировать закономерности протекания процесса анаэробного сбраживания фильтрата, определить оптимальные условия протекания процесса, при которых эффективность очистки максимальна.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- определить зависимость процесса сбраживания от концентрации ила в фильтрате;
- установить температурный оптимум процесса, при котором эффективность очистки максимальна;
- изучить закономерности протекания процесса по изменению содержания химического потребления кислорода, взятого в качестве показателя характеристики содержания органических веществ в фильтрате.

4. Анализ литературных данных

Метод очистки загрязненного фильтрата путем сбраживания в анаэробных условиях позволяет решить несколько важнейших задач: дезактивировать биологическое загрязнение, получить биогаз, а также позволяет контролировать сброс очищенных дренажных вод в поверхностные источники.

Фильтрат полигонов твердых бытовых отходов содержит ил, богатый органическими веществами [9, 10]. Содержание большого количества органических веществ в фильтрате свидетельствует о том, что процессы, происходящие в массиве отходов, еще не достигли стабильных условий образования метана, и они могут быть подвергнуты анаэробному сбраживанию.

Мезофильное анаэробное сбраживание — биологический процесс разложения органических веществ в жидких осадках, который протекает в течение примерно 20 суток в закрытых реакторах (метантенках). Жидкие осадки тщательно перемешиваются при температуре, близкой к 35 °С, в анаэробных условиях [11, 12].

Анаэробное сбраживание обеспечивает значительное снижение содержания органических веществ в осадках и получение стабилизированных и/или частично обеззараженных осадков после обезвоживания. Это способствует их долгому хранению и одновременному использованию в сельском хозяйстве биогаза, состоящего из метана (65–70 %) и углекислого газа (25–35 %). Удельное количество получаемого биогаза составляет примерно 0,9–1,1 м³/кг разложенных органических веществ [13].

Процесс метанового сбраживания (стабилизации) сырого осадка подразделяют на три, а иногда и четыре этапа. Однако так или иначе все сводится к двухфазной схеме процесса брожения, предложенной Баркером [10, 14]. В первой фазе кислотообразующие бактерии из сложных органических веществ — белков, углеводов и жиров — с участием воды образуют кислоты (уксусную, муравьиную, молочную и др.), спирты (этиловый, пропиловый и др.), газы (углекислый газ, водород, сероводород, аммиак), аминокислоты, глицерин и пр. Во второй фазе метанообразующие микроорганизмы используют промежуточные соединения кислотопродуцирующих бактерий и осуществляют их дальнейшее разложение. При этом

выделяется биогаз, состоящий из метана, углекислоты, азота и водорода [15].

Для организации необходимых условий и увеличения метаболической активности бактерий следует учитывать следующие факторы, определяющие эффективность процесса сбраживания [16–18]: анаэробные условия в реакторе; температуру сбраживания; состав исходного сырья (наличие питательных веществ); влажность исходного сырья; перемешивание сбраживаемого сырья; время сбраживания; величину загрузки; кислотно-щелочной баланс; соотношение содержания углерода и азота; отсутствие ингибиторов процесса. Определить точное влияние каждого отдельного фактора на количество образующегося биогаза аналитически не представляется возможным. Так как жизнедеятельность метанообразующих бактерий возможна только при отсутствии кислорода в реакторе биогазовой установки, важно обеспечить герметичность реактора [19, 20].

5. Материалы и методы исследования

Биологические исследования должны включать определение содержания микроорганизмов, гельминтов, вирусов, грибов и пр.

Проведение полного такого исследования — достаточно трудоемкий и дорогостоящий процесс. Поэтому в качестве показателя биологического загрязнения было выбрано общее микробное число, количество бактерий группы кишечной палочки (коли-индекс), а также наличие патогенных микроорганизмов и яиц гельминтов.

Также в качестве показателя эффективности протекания процесса сбраживания взято химическое потребление кислорода. Этот показатель косвенно характеризует содержание загрязняющих веществ и биологических компонентов в фильтрате и по его изменению можно судить об эффективности протекания процесса анаэробного сбраживания.

Описание методов определения содержания химических и биологических показателей описаны в работе [21]. Химическое потребление кислорода (ХПК) определяли титриметрическим методом. Общее микробное число определяли путем посевов исследуемых проб загрязненной воды на питательный агар с последующим термостатированием при 37 °С в течение суток. Определение микроорганизмов энтерогруппы проводили с использованием агаризированной среды Эндо методом разбавлений. Яйца гельминтов определяли микроскопированием по методу Н. А. Романенко.

Эксперименты по сбраживанию ила проводились в периодических условиях. Кинетические эксперименты проводили в термостатируемом реакторе.

Исследуемый фильтрат разбавляли в 2 раза и загружали в реактор в количестве 250 см³. Реактор помещали в термостат, задавали требуемую температуру и перемешивали. Во всех случаях, если не оговорено отдельно, интенсивность перемешивания составляла 100 оборотов в минуту, при амплитуде перемешивания 3 см.

После прогрева инкубационной смеси в течение 1 часа и ее дегазации азотом замерялось нулевое значение выделявшегося газа. Данная точка считалась началом эксперимента. В ходе эксперимента фиксировалось количество выделившегося газа, и анализировался его состав. При заполнении сборника газа газ отводился при

помощи водоструйного насоса. После того, как процесс брожения заканчивался, определяли ХПК, содержание гельминтов и микроорганизмов энтеро группы. В ходе эксперимента определяли кислотность среды по показанию рН-метра. Температуру сбраживания варьировали в интервале от 25 до 65 °С.

6. Результаты исследований

Были проведены лабораторные эксперименты по изучению кинетики процесса анаэробного сбраживания стоков. Периодическое сбраживание ила проводили в реакторе объемом 350 мл с обратным холодильником, при термостатировании. Перед началом эксперимента в суспензии ила определяли рН среды, начальное значение химического потребления кислорода (ХПК), общую обсемененность, содержание гельминтов. Температуру сбраживания варьировали в интервале от 25 до 65 °С.

При проведении процесса при 55 °С получили следующие результаты. В течение 24–25 часов образование биогаза практически не наблюдается, при этом происходит закисление среды культивирования с рН 6,4 до 4,6, далее начинается образование биогаза.

Количество биогаза возрастает экспоненциально и заканчивается через 47–49 часов. Общее количество биогаза, образовавшегося при этом равно 28–30 объемов от объема загружаемого ила.

Хроматографический анализ газа показал, что состав газа меняется в зависимости от фазы развития микроорганизмов.

На первых этапах в начальный момент газообразования состав газа 64 % метана, 35 % углекислого газа, а также примеси водорода и монооксида углерода (угарного газа СО). В середине фазы и в конце процесса процентное содержание метана возрастает до 70–73 %, а углекислого газа снижается соответственно до 26–29 %.

Изменение рН среды культивирования и низкое выделение газов свидетельствуют о двухступенчатом процессе разложения органических загрязнений: на первой стадии происходит разложение высокомолекулярных соединений до кислот — уксусной, пропиловой, масляной; и далее самотетановое брожение с выделением метана и углекислого газа.

Изменение значений химического потребления кислорода в ходе процесса и газообразования прямо пропорциональны. При начальных значениях ХПК 4200–4500 мг О₂/л в конце процесса очистки ХПК составило 900–110 мг О₂/л.

Во время периодического культивирования были определены титр энтеробактерий и концентрация гельминтов.

При проведении процесса по отъемно-доливной схеме варьировали долю оставляемого ила 10, 15 и 20 %. Данные по сбраживанию ила приведены в табл. 1.

С увеличением доли оставляемого сброженного ила, который служит инокулятом, продолжительность процесса очистки снижается. В каждом последующем цикле длительность фазы кислотного гидролиза также снижается, то есть происходит адаптация микрофлоры активного ила, развивающегося в метантенке.

Исследовались процессы сбраживания при температурах 35–37, 45–47 и 55–65 °С. Процессы сбраживания происходят при всех температурах, но скорость сбраживания резко отличается. Так, при проведении

сбраживания в условиях комнатной температуры (без термостатирования) процесс продолжался в течение 4 недель. При этом выход газа снижался с 28–30 до 5–8 объемов на один объем жидкости. Состав газа включал метан — 63 % и углекислый газ — 36 %. При низких температурах наблюдалось достаточно высокое значение остаточного ХПК (2800 мг О₂/дм³). Данные по влиянию температуры на параметры сбраживания приведены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты сбраживания ила

| № цикла | Время, час | Объем биогаза, л/л | ХПК конечн., мг О ₂ /л |
|------------------|------------|--------------------|-----------------------------------|
| 10 % остатка ила | | | |
| 1 | 24–25 | 28 | 980 |
| 2 | 18–19 | 24 | 965 |
| 3 | 15–16 | 25 | 925 |
| 4 | 12–13 | 25 | 920 |
| 15 % остатка ила | | | |
| 1 | 24–25 | 30 | 990 |
| 2 | 16–17 | 25 | 955 |
| 3 | 14–15 | 26 | 945 |
| 4 | 12–13 | 26 | 890 |
| 20 % остатка ила | | | |
| 1 | 24–25 | 29 | 965 |
| 2 | 15–16 | 23 | 860 |
| 3 | 13–14 | 24 | 845 |
| 4 | 11–12 | 24 | 830 |

Таблица 2

Зависимость эффективности сбраживания ила от температуры

| № | Температура, °С | Кислотная фаза, час | Фаза брожения, час | Объем биогаза, л/л | ХПК конечн., мг О ₂ /дм ³ |
|---|-----------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------------------|
| 1 | 20–22 | 4 сут. | 4 нед. | 5–8 | 2800 |
| 2 | 35–37 | 48–66 | 70–72 | 22–24 | 1250 |
| 3 | 55–56 | 24–25 | 25 | 28–30 | 900 |
| 4 | 63–66 | — | — | — | — |

При температуре 63–66 °С процесс обеззараживания не проходил в течение семи суток, что может свидетельствовать о полной гибели микрофлоры ила.

Для исследования поведения системы авторами статьи были проведены эксперименты, в которых во время процесса сбраживания ила реактор охлаждался до 8–10 °С на 1,5–24 часа соответственно. При этом изучали кинетику выделения газа, как во время охлаждения, так и после него.

Резкое снижение температуры приводит к остановке процесса сбраживания уже через 10–15 минут после начала охлаждения.

Повторный прогрев реактора и вывод температуры на заданный уровень через указанные интервалы времени приводили к возобновлению брожения, однако по мере увеличения времени охлаждения увеличивалось время, необходимое клеткам для выхода из температурного стресса.

Так, при продолжительности охлаждения 1 час выход клеток из температурного шока составил 1,5 часа,

при 5 часах — 6 часов, при 24 — 12–16 часов. Кратковременное охлаждение не привело к последующему изменению в качественных и количественных характеристиках процесса очистки.

Разбавление субстрата водой не только уменьшает концентрацию, но и приводит к более глубоким изменениям в процессе сбраживания. Были проведены исследования по изучению скорости сбраживания разбавленных стоков. Стоки разбавляли водой в соотношениях: вода/ил — 10/90, 20/80, 40/60. Результаты экспериментов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты сбраживания при разбавлении ила водой

| № | Соотношение вода/ил | Кислотная фаза, час | Фаза брожения, час | Объем биогаза, л/л | ХПК конечн., мг O ₂ /л |
|---|---------------------|-----------------------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|
| 1 | 10/90 | 28–29 | 24–25 | 26 | 740 |
| 2 | 20/80 | 40–42 | 30–32 | 20 | 720 |
| 3 | 40/60 | процесс брожения не начался в течение 7 суток | | | |

Резкое снижение скорости очистки при разбавлении стоков водой авторы статьи объясняют тем, что в воде присутствует в достаточном количестве кислорода.

Он полностью и необратимо ингибирует процессы брожения, так как микроорганизмы, развивающиеся в метантенках, являются строгими анаэробами — не переносят даже незначительных концентраций растворенного кислорода.

Необратимые изменения микрофлоры при контакте с кислородом воздуха подтверждены в экспериментах с принудительным аэрированием.

Аэрирование ила в течение пяти минут приводило к необратимым последствиям. Скорость сбраживания снижалась до нуля и не возобновлялась в течение 4 суток. Исследуемый ил можно сбраживать с образованием биогаза и существенным снижением загрязнений.

Пробы фильтрата отбирали каждые 12 часов и определяли общее микробное число, содержание бактерий группы кишечной палочки и яиц гельминтов.

Результаты исследований приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты очистки анаэробным сбраживанием

| Показатели | Норматив | Начальное содержание | Конечное содержание, °С | | |
|-------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------|
| | | | 22 | 37 | 55 |
| Общее микробное число, кл/дм ³ | Не нормируется | 7,0 · 10 ⁹ | 1,8 · 10 ⁴ | 3,7 · 10 ⁶ | Не выявлены |
| Коли-индекс | 1 · 10 ³ | 2,4 · 10 ⁵ | 8,1 · 10 ² | 2,2 · 10 ⁶ | Не выявлены |
| Патогенные микроорганизмы | Отсутствие | Присутствие | Присутствие | Присутствие | Не выявлены |
| Яйца гельминтов, шт/дм ³ | Отсутствие в 25 дм ³ | 63 | 22 | 14 | Не выявлены |

Как видно из табл. 4, при 22 °С содержание микроорганизмов снижается, но в фильтрате присутствуют яйца гельминтов. При температуре 37 °С все еще присутствуют яйца гельминтов, содержание микроорганизмов возрастает в сравнении с начальным значением. Это

оптимальные условия культивирования мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов. Проведение процесса анаэробного сбраживания при температуре 54–56 °С обеспечивается максимальная степень очистки стоков, поскольку гибнут микроорганизмы и яйца гельминтов.

Таким образом, исследование процесса анаэробного сбраживания показало возможность использования его для очистки фильтрата от микроорганизмов и яиц гельминтов, с последующим сбросом очищенного фильтрата в реку. Определены оптимальные условия процесса: при температуре 54–55 °С эффективность очистки максимальна. Установлено, что использование непрерывного способа организации процесса эффективно.

7. SWOT-анализ результатов исследований

Анаэробное сбраживание загрязненного фильтрата свалки твердых бытовых отходов позволяет устранить биологические компоненты. Предложенная схема очистки предусматривает сброс очищенной воды в реку Кальмиус. Важным преимуществом данного метода очистки является отсутствие негативного воздействия на окружающую природную среду и возможность получения альтернативного источника энергии — биогаза, который может осуществлять нагрев реакционной смеси метантенка.

Образование биогаза и возможность его использования в процессе решает одну из основных проблем — экономические затраты.

Перспективным является исследование возможности использования данного метода для очистки фильтрата от химических органических компонентов.

Строгое соблюдение температурных параметров, отсутствия доступа кислорода являются ограничивающими условиями протекания процесса.

8. Выводы

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Исследуемый фильтрат можно сбраживать с образованием биогаза и сбросом очищенной воды в реку Кальмиус.

2. С увеличением доли оставляемого сброженного ила продолжительность процесса очистки снижается. Разбавление субстрата водой уменьшает концентрацию и приводит к более глубоким изменениям в процессе сбраживания.

3. Процессы сбраживания происходят при всех температурах, но скорость сбраживания резко отличается. Оптимальной температурой процесса сбраживания можно считать 54–55 °С. При низких температурах наблюдалось достаточно высокое значение остаточного ХПК (2800 мгO₂/дм³).

Литература

- Кориневская, В. Ю. Отходы городских систем как потенциальный ресурс и источник загрязнения окружающей природной среды [Текст] / В. Ю. Кориневская, Т. П. Шанина // Вестник Одесского государственного экологического университета. — 2011. — № 11. — С. 20–28.
- Guerrero, L. A. Solid waste management challenges for cities in developing countries [Text] / L. A. Guerrero, G. Maas, W. Hogland // Waste Management. — 2013. — Vol. 33, № 1. — P. 220–232. doi:10.1016/j.wasman.2012.09.008

3. Porta, D. Systematic review of epidemiological studies on health effects associated with management of solid waste [Text] / D. Porta, S. Milani, A. I. Lazzarino, C. A. Perucci, F. Forastiere // Environmental Health. — 2009. — Vol. 8, № 1. — P. 60–66. doi:10.1186/1476-069x-8-60
4. Варнавская, И. В. Анализ условий образования и состава сточных вод полигонов твердых бытовых отходов [Текст] / И. В. Варнавская // Экология и промышленность. — 2008. — № 1. — С. 7–14.
5. Великанов, Н. Л. Очистка сточных вод свалок твердых бытовых отходов, отдельных зданий и сооружений [Текст] / Н. Л. Великанов, М. Н. Великанова, А. В. Колобов // Известия Калининградского государственного технического университета. — 2009. — № 15. — С. 60–64.
6. Майоров, С. А. Электрохимическая очистка хозяйственно-бытовых и промфекальных сточных вод [Текст] / С. А. Майоров, Ю. А. Седов, Ю. А. Парахин // Водоочистка. — 2009. — № 10. — С. 41–43.
7. Сталинский, Д. В. К вопросу об очистке сточных вод полигонов твердых бытовых отходов [Текст] / Д. В. Сталинский и др. // Науковий вісник будівництва. — 2009. — № 52. — С. 120–129.
8. Яцков, Н. В. Анализ методов очистки стоков мест захоронения твердых бытовых отходов [Текст] / Н. В. Яцков, И. В. Варнавская // Экологія довкілля та безпека життєдіяльності. — 2008. — № 4. — С. 69–73.
9. Olaleye, J. B. Environmental Protection and Management: The Surveyor's [Text] / J. B. Olaleye, J. O. Sangodina // Proceedings of the Technical Session of the 35th Annual General Meetings and Conference of the Nigerian Institution of Surveyors. — Benin City, Nigeria, 2000. — P. 51–57.
10. Катраева, И. В. Современные анаэробные аппараты для очистки концентрированных сточных вод [Текст] / И. В. Катраева // Известия КазГАСУ. — 2011. — № 2(16). — С. 179–184.
11. Poinapen, J. Biological sulphate reduction with primary sewage sludge in an upflow anaerobic sludge bed (UASB) reactor — Part 4: Bed settling characteristics [Text] / J. Poinapen, G. Ekama, M. Wentzel // Water SA. — 2009. — Vol. 35, № 5. — P. 553–560. doi:10.4314/wsa.v35i5.49181
12. Федянин, В. Я. Анализ кинетических уравнений для процесса анаэробного сбраживания в метантенках с периодической загрузкой [Текст] / В. Я. Федянин // Ползуновский вестник. — 2004. — № 2. — С. 244–248.
13. Poinapen, J. Biological sulphate reduction with primary sewage sludge in an upflow anaerobic sludge bed reactor — Part 6: Development of a kinetic model for BSR [Text] / J. Poinapen, G. A. Ekama // Water SA. — 2010. — Vol. 36, № 3. — P. 203–213.
14. Appels, L. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge [Text] / L. Appels, J. Baeyens, J. Degreève, R. Dewil // Progress in Energy and Combustion Science. — 2008. — Vol. 34, № 6. — P. 755–781. doi:10.1016/j.pecs.2008.06.002
15. Siegrist, H. Mathematical Model for Meso- and Thermophilic Anaerobic Sewage Sludge Digestion [Text] / H. Siegrist, D. Vogt, J. L. Garcia-Heras, W. Gujer // Environmental Science & Technology. — 2002. — Vol. 36, № 5. — P. 1113–1123. doi:10.1021/es010139p
16. Стабилизация осадков сточных вод и активного ила в анаэробных и аэробных условиях [Электронный ресурс] // Строй-Справка. — 2009. — Режим доступа: \www/URL: http://stroy-spravka.ru/article/stabilizatsiya-osadkov-stochnykh-vod-i-aktivnogo-ila-v-anaerobnykh-i-aerobnykh-usloviyakh
17. Куріс, Ю. В. Метаногенез і технологічні схеми отримання біогазу [Текст] / Ю. В. Куріс // Альтернативные источники энергии. — 2011. — № 10(92). — С. 41–47.
18. Садыхов, Г. Р. Исследование влияния ускорителя на закономерности процесса анаэробного сбраживания [Текст] / Г. Р. Садыхов // Вестник МГОУ. Серия: Естественные науки. — 2013. — № 4. — С. 27–31.
19. Tomei, M. Anaerobic degradation kinetics of particulate organic matter in untreated and sonicated sewage sludge: Role of the inoculum [Text] / M. Tomei, C. Braguglia, G. Mininni // Bioresource Technology. — 2008. — Vol. 99, № 14. — P. 6119–6126. doi:10.1016/j.biortech.2007.12.035
20. Kiely, G. Physical and mathematical modelling of anaerobic digestion of organic wastes [Text] / G. Kiely, G. Tayfur, C. Dolan, K. Tanji // Water Research. — 1997. — Vol. 31, № 3. — P. 534–540. doi:10.1016/s0043-1354(96)00175-3
21. Шавкун, В. В. Методы исследования полигона твердых бытовых отходов [Текст] / В. В. Шавкун, А. Е. Капустин // Вісник Приазовського державного технічного університету. Сер. Технічні науки. — 2012. — № 25. — С. 265–273.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД МЕТОДОМ АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ

Досліджені процеси анаэробного зброджування фільтрату звалища твердих побутових відходів м. Маріуполя. Визначена залежність процесу зброджування від температури. Встановлено оптимальну температуру процесу — 54–55 °С. Доведено, що за даної температури забезпечується повна загибель мікроорганізмів та яєць гельмінтів. Визначено, що зміна хімічного споживання кисню (ХСК) під час процесу та газоутворення прямопропорційні.

Ключові слова: фільтрат, звалище твердих побутових відходів, анаэробне зброджування.

Михайленко Валерія Валеріївна, асистент, кафедра хімічної технології та інженерії, Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», Мариуполь, Украина, e-mail: shavkun_v_v@mail.ru.

Капустин Алексей Евгеньевич, доктор хімічних наук, професор, заведуючий кафедрою хімічної технології та інженерії, Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», Мариуполь, Украина.

Михайленко Валерія Валеріївна, асистент, кафедра хімічної технології та інженерії, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», Мариуполь, Україна.

Капустин Олексій Євгенович, доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри хімічної технології та інженерії, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», Мариуполь, Україна.

Mykhailenko Valeriia, Pryazovskiy State Technical University, Mariupol, Ukraine, e-mail: shavkun_v_v@mail.ru.

Kapustin Alexey, Pryazovskiy State Technical University, Mariupol, Ukraine