

УДК 628.385

Н. С. Ручай, доц.; М. В. Рымовская, доц.; Я. Ф. Суй, магистрант  
[rymovskaya\\_mv@belstu.by](mailto:rymovskaya_mv@belstu.by) (БГТУ, г. Минск)

## **ОБРАБОТКА ФУГАТА ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ В АНАЭРОБНОМ БИОРЕАКТОРЕ С ГРАНУЛИРОВАННЫМ ИЛОМ**

В современных условиях для человечества очень важны две проблемы: дефицит энергоносителей и охрана окружающей среды, что стимулирует развитие технологий получения топливной энергии из сельскохозяйственных и промышленных отходов. Одним из наиболее эффективных методов переработки органических отходов является обработка их в анаэробных условиях, в результате которой органические вещества отходов трансформируются в биогаз. Энергетический потенциал биогаза, содержащего 55-80 % об. метана, составляет 20–27 МДж/н. м<sup>3</sup>, что по теплотворной способности эквивалентно в среднем 0,6 дм<sup>3</sup> керосина и обеспечивает выработку 2 квт·ч электроэнергии [1]. Для обработки отходов с влажностью 60-90 % традиционно используются метантенки различных конструкций, однако удельная нагрузка по удаляемым органическим веществам для них составляет всего 0,5–2 кг ХПК/(м<sup>3</sup>·сут). Для повышения нагрузки по органическим веществам требуется увеличение количества биомассы в объеме анаэробного биореактора и возможность более тщательного усреднения содержимого для стабилизации среды биореактора.

Среди различных методов удержания биомассы особый интерес представляет использование биореакторов типа UASB, в которых используется прохождение восходящего потока сточных вод через слой плотных, легко оседающих гранул анаэробного ила. В гранулах активного ила расстояния между бактериями минимальны и наиболее благоприятны для транспорта промежуточных продуктов разложения органического вещества, что увеличивает скорость анаэробной деструкции загрязнений. Гранулы анаэробного активного ила формируются в объеме биореактора самопроизвольно, этому явлению способствуют наличие центров, инициирующих гранулообразование (частиц органических и неорганических материалов и мелких, но плотных бактериальных агрегатов), состав сточных вод (наличие катионов кальция, углеводов и летучих органических кислот), и другие, отрицательно влияют взвешенные частицы с волокнистой структурой, которые ухудшают седиментационные свойства ила и вызывают его всплывание. Использование биореакторов такого типа открывает широкие возможности для очистки даже разбавленных сточных вод.

К 2013 году в Республике Беларусь успешно функционировал только один анаэробный биореактор с расширенным слоем гранули-

рованного ила, эксплуатирующийся на ОАО «Туровский молочный комбинат» (г. Туров, Гомельская обл., РБ). В настоящее время на ОСП ГГЦ «Березинский спиртовой завод» РУП «Минск-Кристалл» (г. Березино, Минская обл., РБ) производится вывод на стабильный режим работы второго в РБ анаэробного биореактора с гранулированным илом типа UASB для обработки жидкой фракции послеспиртовой барды (фугата), который и являлся объектом нашего исследования.

Для запуска анаэробного биореактора на ОСП ГГЦ «Березинский спиртовой завод» на первом этапе планировалось использовать инокулят, полученный анаэробным сбраживанием фугата послеспиртовой барды в аппаратах-сателлитах с общим объемом 170 м<sup>3</sup>. Инокулят накапливался самопроизвольно с естественным развитием микробиоты. Такой шаг уменьшает время пуска биореактора за счет повышения концентрации адаптированных к данному стоку микроорганизмов. На втором этапе, перед выходом на проточный режим, предполагалось ввести избыточный гранулированный активный ил из анаэробного биореактора ОАО «Туровский молочный комбинат». Этот активный ил получен на сточной воде другого состава, но хорошо сформирован. Однако из-за нарушений работы Туровского анаэробного биореактора не было возможности отобрать избыточный активный ил, поэтому он все же не вносился.

В ходе пуска в соответствии с программой сначала вносился подготовленный инокулят, затем порционно вносился осветленный фугат барды, периодически вносилась меласса в виде раствора в количестве 50 л. После заполнения биореактора жидкостью до перелива (объем содержимого сравнялся с объемом биореактора) в начале мая 2015 года биореактор перевели на проточный режим подпитки со скоростью 1 м<sup>3</sup>/ч.

Для обеспечения стабильной работы анаэробного биореактора специалистами БГТУ были сформулированы требования к осветленному фугату: концентрация взвешенных веществ не более 3000 мг/л, рН содержимого биореактора после внесения подпитки не менее 6,0, температура не выше 38°C. В период пуска повышенное содержание взвешенных веществ может оказать и положительное влияние из-за формирования центров гранул ила. рН фугата в период пуска изменялся в широких пределах – от 4,1 (обычного для бражки в процессе производства спирта из крахмалсодержащего сырья) до 7,1 – в результате нейтрализации фугата барды известковым молоком, которое используется в технологии в качестве коагулянта. Увеличение температуры при введении подпитки более чем на 2 градуса по сравнению с температурой в биореакторе (32°C) отрицательно влияет на жизнедеятельность метаногенных бактерий, введение подпитки в период ста-

бильной работы биореактора требует обязательного охлаждения подогретого фугата барды. Однако ХПК в биореакторе и содержание метана в биогазе довольно быстро стабилизировались на уровне 1500-2000 мг/л и 65-75 % об. соответственно, что говорит об адекватном уровне органического питания для ила.

Определявшиеся работниками ОСП ГГЦ «Березинский спиртовой завод» в период пуска параметры (содержание взвешенных веществ, ХПК, температура) характеризуют только начало и конец цепочки биохимических процессов, протекающих в биореакторе, и нарушения в работе биореактора могут протекать совершенно незаметно для технологов. Для ответа на вопрос о протекающих в биореакторе процессах нами определялись щелочность, концентрация аммонийного азота и органических кислот, концентрация взвешенных и растворенных веществ на входе в биореактор и в его содержимом – анаэробном активном иле, отобранном с высоты 0,3 м от дна, и жидкости, отобранной с высот 1,5 и 4 м от дна, а также окислительно-восстановительный потенциал (ОВП). Перечень выбранных методов анализа составлен с использованием [2].

Заметно нарастание щелочности в пересчете на карбонат кальция на протяжении пуска биореактора с 10,9 до 90,2 ммоль·экв/дм<sup>3</sup>. В нижней части биореактора большая буферность может быть объяснена большей концентрацией микробных клеток, эмитирующих в среду биореактора ионы. При микроскопировании иловой жидкости нами были замечены прозрачные кубические кристаллы, наиболее вероятно – кристаллы сульфида кальция [3], тогда как кристаллы известкового молока при микроскопировании в проходящем цвете выглядят черными. Нарастание щелочности в биореакторе, в том числе за счет ионов аммония с 10,7 до 67,6 ммоль·экв/дм<sup>3</sup> является положительным, поскольку замедляет изменение рН любых изменениях в среде биореактора и поэтому обеспечивает постоянство рН для стабильной работы метаногенных бактерий. Значительное количество ионов аммония в осветленном фугате (70-150 мг/дм<sup>3</sup>) объясняется частичным распадом белков дрожжей и зернового сырья при производстве спирта, повышение концентрации ионов аммония в биореакторе до 1000 мг/л связано с распадом белков в осветленном фугате и играет положительную роль в формировании буферности системы анаэробного биореактора.

Концентрация органических кислот, прежде всего муравьиной и уксусной, которые являются основным питанием для метаногенных бактерий, в сточной воде на входе в биореактор была небольшой, а к середине биореактора они уже не обнаруживались.

Увеличение концентрации растворенных веществ в жидкости биореактора с 5 до 8 г/дм<sup>3</sup> с сопоставимым снижением содержания взвешенных веществ (с 2,1 до 0,7 г/дм<sup>3</sup>) по данным за март связано с еще недостаточной метаногенной активностью. В дальнейшем метаногенез в биореакторе активизировался, что было заметно по количеству и качеству биогаза, поэтому в данных за май количество растворенных веществ в биореакторе заметно снижается по мере прохождения жидкости по высоте аппарата (с 14,2 г/дм<sup>3</sup> в фугате барды до 7,4, 6,2 и 5,1 г/дм<sup>3</sup> на высоте 0,3, 1,5 и 4 м от дна биореактора соответственно). Количество взвешенных веществ также снижается, что связано с гравитационным отстаиванием.

Измерение ОВП жидкости из биореактора показало, что даже незначительный контакт с воздухом влиял на показания мультивольтметра, показания сильно колебались от -150 до +50 мВт при небольшом перемешивании жидкости. Такие измерения будет корректно проводить по месту.

В качестве основных параметров, необходимых для контроля работы биореактора, нами были выбраны параметры, характеризующие: суммарную нагрузку на биореактор по удаляемым загрязнениям (концентрация растворенных и взвешенных сухих веществ на входе и на выходе из биореактора, ХПК на входе и на выходе из биореактора); преимущественный биохимический процесс в биореакторе (ОВП); характеристику кислотно-щелочного равновесия в биореакторе (щелочность и рН, концентрация ионов аммония и органических кислот); уровень питания метаногенных бактерий (концентрация органических кислот); оценку адекватных условий для работы метаногенных бактерий (температура, щелочность и рН, концентрация ионов аммония и органических кислот, количество и состав биогаза).

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Ручай, Н. С. Экологическая биотехнология: учебное пособие для студентов специальности «Биоэкология» / Ручай Н.С., Маркевич Р.М. – Минск: БГТУ, 2006. – 312 с.

2 Gerardi, M. H. The Microbiology of Anaerobic Digesters / M. H. Gerardi. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003. – 188 p.

3 Сульфиды [Электронный ресурс] / Химик: сайт о химии. – Режим доступа: <http://www.xumuk.ru/bse/2604.html>. – Дата доступа: 15.10.2015 г.