

При известных остальных параметрах из данного теплового баланса была найдена доля $x = 0,5$ продуктов газификации (синтез-газ), которые поступали в энергетическую установку.

При известной доле продуктов газификации, поступающих в трубу газогенератора, находится полный расход продуктов газификации. Расход угля находится по следующей реакции газификации:



Так как из 1 моля исходного углевода получается по одному молю CO и H₂, а расход синтез газа и его состав известен при данной температуре газификации.

На данный момент технология получения синтез-газа газификацией угля значительно сложнее, чем путем конверсии природного газа. Энергетические установки на базе твердооксидного топливного элемента на угле могут применяться в области малой энергетики в отдаленных районах нашей страны, где нет возможности использовать газ. КПД ТОВЭ значительно выше, чем у дизель генераторов [2]. Принцип работы ТОВЭ предполагает прямое преобразования химической энергии реакций в электрическую. Уже были проведены испытания энергетических установок на природном газе мощностью 5 кВт.

Список использованных источников

1. Баскаков А. П., Волкова Ю. В. Физико-химические основы тепловых процессов. Учебное пособие для студентов, обучающихся в магистратуре по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника». М. : Теплотехник, 2013. 172 с.
2. Расчет коэффициента полезного действия гибридной электростанции с высокотемпературным топливным элементом / Н. В. Коровин, А. С. Седлов, Ю. А. Славнов, В. Д. Буров // Теплоэнергетика. 2007. Т. 2. С. 49-53.
3. Баскаков А. П., Волкова Ю. В., Плотников Н. С. Оптимальная степень химической регенерации в твердооксидных топливных элементах // Инженерно-физический журнал. 2013. № 4. Т. 78. С. 741-750.
4. Тепловой расчёт котлов. (Нормативный метод). 3-е изд., перераб. и доп.. СПб. : НПО ЦКТИ, 1998.

УДК 504.06+628.3

Панфилова Ю. О., Иванцова М. Н., Селезнева И. С.
Уральский федеральный университет
i.s.selezneva@urfu.ru

АНАЭРОБНАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация. Исследование направлено на поиск путей практического применения анаэробной очистки сточных вод на предприятиях молочного производства. Результатом исследования является разработка технологического процесса с использованием анаэробного реактора Biomar. В работе произведено масштабирование опытно-промышленной установки по очистке сточных вод молочного

производства анаэробным методом. На основе лабораторных исследований составлена принципиальная технологическая схема производства, выполнен расчет материального баланса, а также технологические расчеты основного оборудования. Технико-экономические расчеты показали, что использование получаемого при очистке сточных вод биогаза в качестве топлива для котельной установки позволяет сократить расход природного газа и снизить себестоимость процесса очистки сточных вод на предприятии Danone, г. Екатеринбург.

В настоящее время особое значение имеет развитие современных систем водоотведения хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, обеспечивающих высокую степень защиты окружающей природной среды от загрязнений. Наибольшее внимание при проектировании, строительстве и реконструкции канализационных очистных сооружений уделяется разработке новых технологических решений в вопросах улучшения качества очищенных сточных вод, а также обработки и утилизации осадков, образующихся на очистных сооружениях.

Целью данной работы являлось проведение лабораторных исследований и проектирование на основе их результатов технологического процесса очистки сточных вод предприятия Danone.

Сточные воды молокоперерабатывающих заводов содержат высокие концентрации органических загрязнений (жир, белок, лактоза), загрязнены также неорганическими соединениями и синтетическими поверхностно-активными веществами, бактериями. Их содержание может в тысячи раз превышать предельно допустимые значения.

Объектом лабораторных исследований в данной работе были сточные воды предприятия Danone, содержащие творожную сыворотку, суточный объем которых составляет 9,9 м³. Творожная сыворотка является разновидностью молочной сыворотки и представляет собой жидкость от бледно-желтого до зеленоватого цвета. Химический состав творожной сыворотки приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав и свойства творожной сыворотки

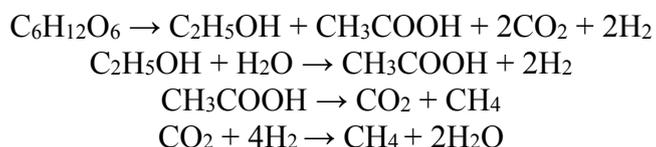
| | |
|------------------------------|-----------|
| Сухие вещества, в % | 4,2-7,4 |
| в том числе: | |
| лактоза (углеводы) | 3,5 |
| белок | 0,8-1,0 |
| молочный жир | 0,05-0,4 |
| минеральные вещества | 0,5-0,8 |
| кислотность, °Т | 50-85 |
| плотность, кг/м ³ | 1019-1026 |
| ХПК, мг/л | 57100 |

В состав сыворотки входят также витамины Е, С, группы В, причем достаточно редкие их формы – биотин (В₇, Н, кофермент Q) и холин (витамин В₄). Сыворотка содержит ценные минеральные соли фосфора, магния, кальция.

Методы очистки сточных вод делят на механические, физико-химические и биологические. Биологические методы очистки сточных вод основаны на жизнедеятельности микроорганизмов, которые минерализуют растворенные органические соединения, являющиеся для микроорганизмов источниками питания.

Анаэробное разложение органических веществ осуществляется сообществом микроорганизмов, составляющих трофическую цепь первичных и вторичных анаэробов. В отличие от трофических цепей микроорганизмов в аэробных процессах, где взаимоотношения между группами организмов характеризуются в основном отношениями «хищник – жертва», для трофических систем при метановом сбраживании характерно использование продуктов обмена одних групп бактерий другими. В процессе могут участвовать 5 основных групп метановых бактерий: *Methanococcus*, *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanotrix*, *Methanosarcina*. Метановые бактерии – строгие анаэробы; они весьма чувствительны к присутствию в среде растворенного кислорода и нитратов. Оптимальное значение pH = 7,0-7,5. Источниками углерода для метановых бактерий являются ацетат-ион и углекислый газ, источником энергии служит водород, главным источником азота – аммиак, а источником серы – сульфиды, хотя могут быть также цистеин и сульфаты. Метаногены испытывают также потребность в различных микроэлементах (K, Na, Mg, Co, Cu, B, Zn, Mo). Первичные анаэробы осуществляют стадии гидролиза и кислотообразования, вторичные – стадии ацетогенеза и метаногенеза. Для них питательные и энергетические субстраты образуются на предшествующих стадиях в результате деятельности первичных анаэробов. К вторичным анаэробам относятся сульфатредуцирующие бактерии.

Конверсию моносахаридов на примере глюкозы можно представить следующим образом:



При распаде белков некоторые из образующихся продуктов (NH_3 , CO_2) связываются между собой или с другими веществами и остаются в растворе, создавая щелочность среды. Жироподобные вещества при гидролизе распадаются на глицерин и высокомолекулярные жирные кислоты, которые в результате других последовательно протекающих реакций превращаются в уксусную кислоту и далее в CH_4 и CO_2 .

При сбраживании белков выделяется меньше газа за счет образования продуктов распада, не переходящих в газ; удельный выход газа при распаде жиров почти в 1,5 раза выше, чем при распаде углеводов и белков; при сбраживании белков и жиров в биогазе содержится больше метана, чем при сбраживании углеводов [1].

Пределы сбраживания не зависят от температуры, но скорости распада каждого компонента в термофильных условиях в 1,6-1,7 раза выше, чем в мезофильных. Максимальной скоростью распада обладают белки, минимальной – углеводы [2].

Таким образом, при метановом сбраживании необходимо всегда рассматривать не отдельные группы бактерий, а все сообщество в целом. Эффективность процесса сбраживания в таком сообществе зависит не только от деятельности организмов, участвующих в данной реакции, но и от жизнедеятельности бактерий, потребляющих продукты этой реакции. Накопление продуктов обмена одной из стадий процесса ведет к торможению других. Бактерии, работающие на разных стадиях, имеют свои морфологические и физиологические особенности, выражающиеся в разных скоростях роста, чувствительности к рН и O₂ и др. Все это играет большую роль в создании сбалансированной, хорошо работающей системы [1].

Интенсификацию процесса метанового брожения проводят для достижения следующих целей:

- сокращение продолжительности сбраживания при достижении заданной степени распада с целью уменьшения объемов сооружений и, следовательно, капитальных затрат;
- повышение количества биогаза, выделяющегося в процессе брожения, с целью его использования для сокращения затрат на обогрев самих метантенков и дополнительного получения других видов энергии;
- увеличение содержания метана в биогазе с целью повышения его теплоты сгорания и эффективности утилизации;
- достижение хорошего уплотнения и водоотдающих свойств сброженного осадка с целью сокращения затрат на сооружения для его обезвоживания.

К основным способам интенсификации технологии относят: повышение температуры сбраживания и эффективности перемешивания осадка в метантенке, переход на его непрерывную загрузку и выгрузку, двух- и многоступенчатое сбраживание, при котором вторая и последующие ступени используются для отделения иловой воды и уменьшения объема сброженного осадка, и, наконец, повышение концентрации осадков и биомассы микроорганизмов в метантенке [1].

Повышение концентрации осадка в метантенке можно обеспечить путем предварительного сгущения загружаемого осадка или рециркуляции сброженного осадка. В первом случае в метантенке увеличивается концентрация сбраживаемого субстрата, во втором - биомасс микроорганизмов, участвующих в процессе.

Для организации процесса биологической очистки сточных вод на предприятиях молочной промышленности предлагается использовать анаэробные очистные сооружения BIOMAR. Благодаря специально рассчитанному объему в смесителе происходит качественное усреднение сточной воды: естественным образом сглаживаются резкие колебания рН, предотвращается неравномерность поступления стоков на очистку. Еще одной важной функцией усреднителя является предварительное биологическое окисление органических веществ, находящихся в сточной воде. Продолжительность нахождения воды в усреднителе для предварительного окисления рассчитывали, исходя из степени ее загрязненности.

Прежде чем сточная вода попадет в анаэробный реактор Biomar, автоматически устанавливаются ее оптимальные параметры (рН = 7,2–7,4 и t = 37 °С) [3]. Следует отметить, что при использовании реактора Biomar увеличится производительность очистных сооружений, повысится качество очистки сточной воды,

уменьшится количество избыточного ила. Наряду с этим, за счет использования образующегося биогаза (рассчитано, что суточный объем образующегося метана – 70 м³) снизится потребление природного газа. Технико-экономические расчеты показали, что годовая экономия от использования биогазового метана в качестве топлива вместо природного газа составит 116 тыс. руб.

Еще одно немаловажное преимущество реактора Biomar – небольшая потребность в производственных площадях, что позволяет производить реконструкцию уже существующих предприятий.

В процессе очистки сточных вод образуются осадки, которые подвергаются обезвреживанию, обеззараживанию, обезвоживанию, сушке, возможна последующая утилизация осадков. Осадки содержат значительное количество удобрительных макро- и микроэлементов, в первую очередь азота, фосфора и калия. Кроме того, в состав осадков входят цинк, марганец, медь, молибден и др. Осадки, как правило, утилизируются после их обезвоживания.

Обезвоживание сброженных осадков осуществляется с помощью механических аппаратов – вакуум-фильтров, центрифуг, фильтр-прессов различного типа - и подсушки в естественных условиях на иловых площадках [4]. Сброженный осадок имеет высокую влажность (95–98 %), что затрудняет применение его в сельском хозяйстве. Влажность является основным фактором, определяющим объем осадка. Поэтому основной задачей обработки осадка является уменьшение его объема за счет отделения воды и получение транспортабельного продукта.

При проектировании очистных сооружений предприятия Danone на основании проведенных нами лабораторных исследований была составлена схема-граф процесса анаэробной очистки сточных вод и обеззараживания осадка (рис. 1).

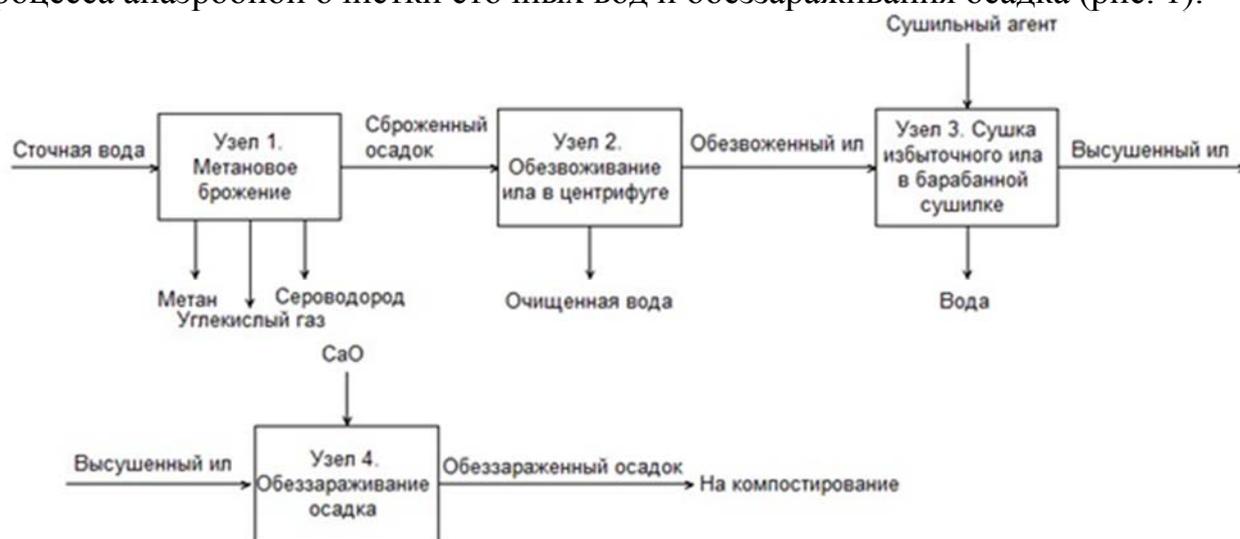


Рис. 1. Схема-граф процесса очистки сточных вод и обеззараживания осадка

Для решения перечисленных проблем нами предложена система сооружений и оборудования для анаэробной очистки сточных вод и обработки осадка, в которую входят:

- 1) метантенк для анаэробного сбраживания;
- 2) абсорбер для улавливания сероводорода;
- 3) газгольдер для сбора выделившегося биогаза;

- 4) центрифуга для обезвоживания сброженного осадка;
- 5) сушилка для приведения осадка в форму, пригодную для транспортировки и дальнейшего использования.

Для решения перечисленных проблем нами предложена система сооружений и оборудования для анаэробной очистки сточных вод и обработки осадка, в которую входят:

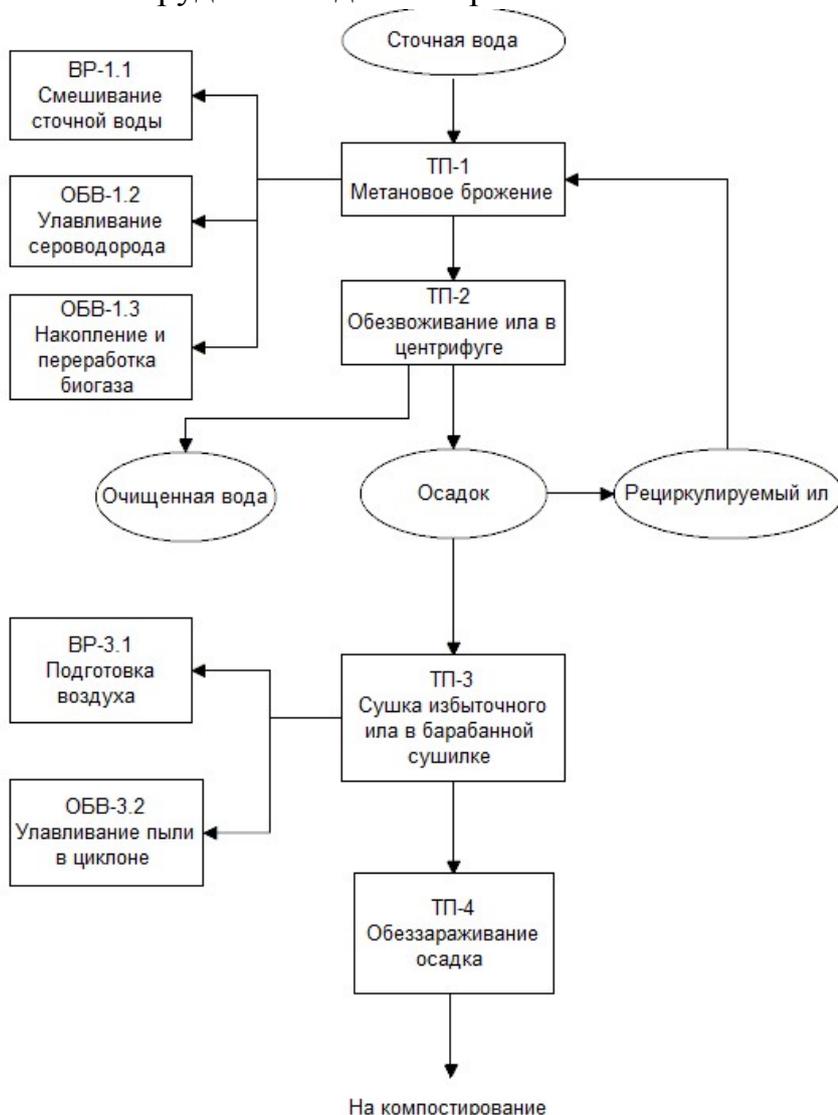


Рис. 2. Технологическая схема процесса очистки сточных вод и обеззараживания осадка

- 1) метантенк для анаэробного сбраживания;
- 2) абсорбер для улавливания сероводорода;
- 3) газгольдер для сбора выделившегося биогаза;
- 4) центрифуга для обезвоживания сброженного осадка;
- 5) сушилка для приведения осадка в форму, пригодную для транспортировки и дальнейшего использования.

На рис. 2 приведена разработанная технологическая схема.

Продуктом разработанного технологического процесса очистки сточных вод, является очищенная сточная вода. Основные показатели качества очищенной сточной воды приведены в табл. 2.

В результате применения спроектированной системы сооружений для очистки стоков молочного производства планируется достичь тех значений контролируемых параметров, которые не нанесут вреда окружающей среде и позволят отправить очищенную воду на городские очистные станции.

Таблица 2

| Показатели очищенной сточной воды | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Показатель | Содержание в очищенной сточной воде |
| Фосфаты, мг/л | 3,5 |
| Аммонийный азот, мг/л | 1,5 |
| рН | 7,3 |

Таким образом, можно сделать вывод, что биологическая анаэробная технология переработки сточных вод имеет более низкие эксплуатационные затраты, а использование биогаза позволит сократить потребление пара или электроэнергии на 10-15 %.

Список использованных источников

1. Гюнтер Л. И., Гольдфарб Л. Л. Метантенки. М. : Стройиздат, 1991. 128 с.
2. Гюнтер Л. И. Роль углеводов, жиров и белков в газообразовании при сбраживании канализационных осадков в метантенках // Городская канализация: сб. научн. тр. М.-Л. : ОНТИ АКХ им. К.Д. Памфилова, 1961. Вып. VI. С. 158-170.
3. Чеботаева М. Очистка сточных вод / пер. с нем. СПб. : Новый журнал, 2013. 496 с.
4. Прикладная эковиотехнология: учебное пособие: в 2 т., т. 1 / А. Е. Кузнецов. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 629 с.

УДК 621.311

Пожиганов А. Н., Ключев Р. В.
Северо-Кавказский горно-металлургический институт
kluev-roman@rambler.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ УСИЛЕНИЯ АРВ СИЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ НА ВЫВОДАХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ МАЛЫХ ГЭС

Аннотация. В работе изложено краткое описание методики расчета области устойчивых значений коэффициентов усиления по отклонению напряжения на выводах синхронных генераторов (СГ) малых ГЭС (МГЭС) для АРВ пропорционального действия (ПД) и по первой производной отклонения угла для АРВ сильного действия (СД) с использованием математической среды MathCad.

В условиях горных территорий для обеспечения промышленных и бытовых потребителей электроэнергией наиболее перспективным направлением развития электроэнергетики является использование возобновляемых источников, в первую очередь, гидроресурсов. РСО-Алания, субъект СКФО, обладает значительным потенциалом высокогорных рек, что обуславливает строительство малых ГЭС (МГЭС). Перед строительством МГЭС необходимо исследование ее водно-энергетических режимов и устойчивости работы СГ, которые должны быть оснащены автоматическими регуляторами напряжения (АРВ) пропорционального действия (ПД) или АРВ сильного действия (СД). Важнейшим параметром системы АРВ ПД является коэффициент усиления системы АРВ по напряжению k_U . При применении АРВ ПД отечественного производства значение k_U должно задаваться заказчиком, а, на практике, устанавливается по параметрам настройки АРВ на тест-модели СГ мощностью от 2000 до 100000 МВт, обычно в пределах: $k_U=15\div 50$. Для решения важной и актуальной задачи обеспечения