

МРНТИ 50.03.03

**Б.И. Бийбосунов¹ (orcid-0000-0001-7082-6690),
М.А. Байжарикова² (orcid-0000-0003-1591-2697)**¹д-р. физ.-мат. наук, профессор, ²Аспирант
Кыргызский государственный университет им. И. Арабаева,
г. Бишкек, Республика Кыргызстанe-mail:¹bbolotbek@mail.ru, ²marina19882201@gmail.com

КИНЕТИКА И ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАНОВОГО СБРАЖИВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Аннотация. В статье проведен литературный обзор отечественных и зарубежных источников, описывающих кинетический процесс анаэробного сбраживания в биореакторах. Авторами, отмечается разнообразие подходов к описанию и определению процесса кинетики образования метана в биореакторе, а следовательно невозможности точного описания математической модели, в виду влияния на процесс многочисленных параметров.

В работе используются результаты: как эмпирических моделей используемые для описания кинетики метанового сбраживания в биореакторе, так и экспериментальных исследований для определения численных значений параметров. Анализируются критерии оценки параметров на возможность максимального воздействия на процесс метанового сбраживания биореакторе и систему контроля и управления на всех ступенях биогазовой установки.

На основе вышеизложенного, обоснован выбор основных параметров, влияющих на кинетический процесс и систему контроля и автоматизации усовершенствованной трехступенчатой биогазовой технологии.

Ключевые слова: КРС, Биогазовая установка, метан, термофильный, психрофильный, мезофильный, температурный режим, биоудобрения.

Введение. Животноводческие предприятия являются одним из основных источников выбросов парниковых газов в атмосферу. Метан образуется в результате разложения навоза КРС на животноводческих фермах при хранении или вывозе их на поля в виде удобрения. Переработка ежедневно возобновляемых отходов животноводства, а именно навоза КРС в биореакторе с получением биогаза и биоудобрения позволяют частично решить экологические и социальные задачи, а также и финансовые за счет используемого в быту биогаза (метана) для выработки электричества и биоудобрений для повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Имеющиеся единичные биогазовые установки отличаются: продолжительным сроком сбраживания; большими затратами для сбора ежедневного объема загружаемого сырья в биореакторы, примитивной автоматизацией управления и высокой стоимостью биогазовых установок, что неприемлемо для малых и средних фермерских хозяйств.

Поэтому в условиях рыночной экономики возникает необходимость дальнейшего совершенствования биогазовой технологии и нахождения оптимальных параметров процесса метанового сбраживания субстрата в биореакторах с автоматизированной системой управления, обеспечивающие

интенсификацию анаэробного процесса сбраживания в биореакторе с получением биоудобрения и биогаза (метана).

Разработка и моделирование процесса метанового сбраживания в биореакторах трех ступеней психрофильного, мезофильного и термофильного, позволило получить оптимальные режимные характеристики для системы контроля и оптимизации параметров метанового сбраживания в усовершенствованной трехступенчатой биогазовой установке.

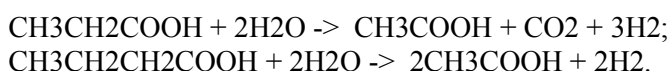
Условия и методы исследований. Кинетика анаэробного процесса.

Традиционно, кинетика процесса метанового сбраживания субстрата (СС) в биореакторах и получения биогаза проходит в четыре этапа.

На первом этапе ферментативного гидролиза участвуют бактерии, которые являются быстрорастущими, факультативными анаэробами с оптимумом pH = 6,7 – 7,6. Бактериями в среду выделяется биологический катализатор – экзоферменты. Благодаря этим ферментам осуществляется гидролиз и превращение твердых нерастворенных соединений в более простые вещества. Следует заметить, что анаэробное сбраживание (АС) не может продолжаться, пока не произойдет гидролиз.

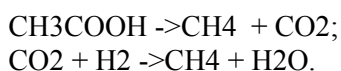
На втором этапе кислотогенной стадии, участвуют гетерогенные микроорганизмы, для которых углерод, преобразованный в более простое соединение является источником питания. В этом случае 20% органических веществ превращаются в уксусную кислоту, 15% - в пропионовую и 65% - другие промежуточные соединения. Бактерии кислотогенной стадии неприхотливы и растут с высокой скоростью. А общая продолжительность первых двух стадий составляет около 7 часов.

На третьем этапе ацетогенной стадии, одна группа бактерий, образует ацетат с выделением водорода и углекислого газа (формулы приведены ниже), благодаря этому образуются уксусная кислота из пропионовой и масляной кислот [1,2,3]:



При помощи второй группы бактерий образуется уксусная кислота.
 $4\text{H}_2 + 2\text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$.

Во многих изданиях третью и четвертую стадии объединяют в одну. Здесь метановые бактерии образуют метан двумя путями. Первый – расщепление ацетата, второй – восстановление углекислоты водородом.



Кислотообразующие и метанобразующие бактерии встречаются в природе повсеместно, в частности в экскрементах животных. В пищеварительной системе крупного рогатого скота содержится полный набор микроорганизмов, необходимых для сбраживания навоза.

Поэтому навоз КРС часто применяют в качестве сырья, загружаемого в новый биореактор.

Для оптимальной работы процесса АС достаточно обеспечить следующие условия:

Обоснование выбора основных параметров АС

1. Поддержка АС в реакторе.

Жизнедеятельность метанообразующих бактерий возможна только при отсутствии кислорода в реакторе биогазовой установки, поэтому нужно следить за герметичностью и отсутствием доступа кислорода.

2. Соблюдение температурного режима в биореакторах.

Одним из важнейших факторов АС является постоянство температуры процесса. Образование биогаза в природе происходит при температурах от 0°C до 97°C, но с учетом оптимизации выделяют три температурных режима:

- психрофильный режим определяется в интервале от 20 - до 25°C;
- мезофильный режим определяется в интервале от 25°C до 40°C;
- термофильный режим определяется в интервале свыше 40°C.

Биогазовые установки без подогрева реактора демонстрируют удовлетворительную производительность только при среднегодовой температуре около 20°C и выше, или когда средняя дневная температура достигает по меньшей мере 18°C. При средних температурах от 20- до 28°C производство газа непропорционально увеличивается. Если же температура биомассы менее 15°C, выход газа будет так низок, что биогазовая установка без теплоизоляции и подогрева перестает быть экономически выгодной.

Исследования проведенные в работах ученых показывают, что оптимальной температурой для мезофильного температурного режима следует искать в интервале от 34 - до 37°C, а для термофильного от 52 – до 54°C, а психрофильного от 21 - до 23°C.

Также следует учитывать, что процесс АС очень чувствителен к изменениям температуры. Наиболее допустимые изменения температуры определяются в пределах [1,4,5]:

- психрофильный режим: $\pm 2^\circ\text{C}$ в час;
- мезофильный режим: $\pm 1^\circ\text{C}$ в час;
- термофильный режим: $\pm 0,5^\circ\text{C}$ в час.

На практике наиболее распространенными являются: термофильный и мезофильный. У каждого из них есть свои достоинства и недостатки.

Преимущества термофильного АС - это повышенная скорость разложения сырья, а, следовательно, более высокий выход биогаза и практически полное уничтожение болезнетворных бактерий, содержащихся в сырье. К недостаткам термофильного режима можно отнести; большое количество энергии, требуемое на подогрев сырья в реакторе, чувствительность АС к минимальным изменениям температуры и более низкое качество получаемых биоудобрений.

При мезофильном АС сохраняется высокий аминокислотный состав биоудобрений, но обеззараживание сырья не такое полное, как при термофильном режиме.

3. Размеры частиц СС.

Кавитационный деспергатор используемый в процессе подготовки отходов животноводства для подачи ее на сбраживание путем воздействия направленной и управляемой кавитации, уменьшает частицы до размеров 0,1-8 мкм. Вследствие чего, всем штаммам бактерий, участвующих в процессе образования биогаза, на всех его этапах, становится легче разлагать биогенные материалы, т.к. их однородная структура разрушена и соответственно увеличивается площадь покрытия бактериями биологического сырья [6,7].

К тому же минимальный размер твердых частиц позволяет использовать и другой эффект - перемешивание субстрата, который разрушает не только корки, но и ускоряет жизнедеятельность бактерий в субстрате, что является немаловажным фактором для максимального выхода биогаза.

4. Уровень рНСС.

Из многочисленных исследований ученых было выявлено, что на скорость распространения бактерий влияет уровень рН. Участвующие в воспроизведении биогаза на первоначальном этапе метановые бактерии менее активны, чем кислотообразующие. Поэтому при образовании большого количества органических веществ можно получить избыточную массу летучей кислоты. Это ведет к снижению активности метановых бактерий, при уменьшении значения рН ниже 6,5, что выходит из интервала оптимального значения рН, который колеблется в зависимости от сырья от 6,5 да 8,5.

Поэтому для снижения образования большого количества кислот, мы отделяем двуокись углерода (CO₂) уже на первом этапе технологической схемы [8, 9].

Отбираемая на первой ступени CO₂, повторно подается на третью ступень СС, где является питательной средой для жизнедеятельности микроорганизмов метанового сбраживания, что ускоряет АС, способствуя повышению его производительности, и улучшает качественные показатели выделяющегося метана (СН₄).

5. Доступность питательных веществ для АС.

Для роста и жизнедеятельности метановых бактерий помимо углерода и водорода, необходимо наличие в сырье следующих минеральных питательных веществ: азота, серы, фосфора, калия, кальция и магния и некоторого количества микроэлементов - железа, марганца, молибдена, цинка, кобальта, селена, вольфрама, никеля и других. Обычное органическое сырье - навоз КРС содержит достаточное количество вышеупомянутых элементов.

6. Время АС в биореакторах.

Оптимальное время АС выбирают от дозы загрузки в биореактор и температуры процесса. При коротком времени АС бактерии из биореактора вымываются быстрее, чем могут размножиться, а при продолжительном процессе, не отвечают эффективному процессу получения максимального количества метана.

В системе с непрерывной загрузкой СС среднее время АС определяется отношением объема реактора к ежедневному объему дозы загрузки. Время оборота в биореакторе психрофильного режима СС будет составлять 11 суток, 9 суток в мезофильном режиме и 8 суток в термофильном режиме. Доля СС ежедневно вносимого в биореакторы и отводимого, составляет одно и то же количество для всех температурных режимов [5, 9,10]. Выбор времени АС также зависит и от типа перерабатываемого сырья.

7. Выбор влажности сырья АС.

Беспрепятственный обмен веществ в сырье является предпосылкой для высокой активности бактерий. Это возможно только в том случае, когда вязкость субстрата допускает свободное движение бактерий и газовых пузырьков между жидкостью и содержащимися в ней твердыми веществами.

Значения влажности навоза и экскрементов для КРС:

- среднесуточное количество навоза, кг/сутки -36;
- влажность навоза (%) – 65;

- среднесуточное количество экскрементов (кг/сутки) – 55;
- влажность экскрементов (%) – 86.

Влажность СС, загружаемого в реактор установки, должна быть не менее 85% в зимнее время и 92% в летнее время года.

Для достижения правильной влажности СС навоз обычно разбавляют горячей водой в количестве, определяемом по формуле: $OB = Hx((B_2 - B_1):(100 - B_2))$, где H-количество загружаемого навоза. B_1 - первоначальная влажность навоза, B_2 - необходимая влажность сырья, OB - количество воды в литрах [1,11].

8. Регулярное перемешивание СС.

Основой для эффективной работы биогазовой установки, является поддержания стабильности процесса СС внутри биореактора. Периодическое перемешивание позволяет предотвратить: формирования корки и осадка; устранить пустоты и скопления; обеспечить равномерную температуру и популяции бактерий внутри биореактора и высвобождение произведенного биогаза.

Необходимо учитывать, что АС представляет собой симбиоз между различными штаммами бактерий, то есть бактерии одного вида могут питать другой вид и слишком частое его разбивание приводит АС к непродуктивности. Поэтому частое перемешивание вредно, рекомендуется медленно перемешивать сырье через каждые 4-6 часов [12,13].

Обсуждение научных результатов. Было установлено, что жизнедеятельность всех типов бактерий, участвующих в трех ступенях метанообразования зависят от вышеназванных параметров. К тому же существует тесная взаимосвязь между параметрами (например, выбор времени АС зависит от температурного режима), поэтому очень сложно определить точное влияние каждого фактора на количество образующегося биогаза. Несмотря на это проведенные теоретические и экспериментальные исследования показывают:

1. Время оборота реактора выбирают в зависимости от температуры АС и состава сырья в следующих интервалах:

- психрофильный температурный режим: от 11 и более суток;
- мезофильный температурный режим: от 9 суток;
- термофильный температурный режим: от 8 суток.

2. Для биогазовых установок работающих на смешанном навозе КРС, оптимальным температурным интервалом: для мезофильного режима от 34 – до 37°C, термофильного от 52 – до 54°C. и психрофильного от 21 до 23°C.

Как было сказано АС очень чувствительна к изменениям температуры. Поэтому при переработке СС могут быть допустимы изменения температуры в пределах:

- психрофильный режим: $\pm 2^\circ\text{C}$ в час;
- мезофильный режим: $\pm 1^\circ\text{C}$ в час;
- термофильный режим: $\pm 0,5^\circ\text{C}$ в час.

3. Процесс дисперсности субстрата значительно уменьшает частицы в размерах до 0,1-8 мкм., что позволяет всем штаммам бактерий, участвующих в процессе АС на всех его ступенях легче разлагать биогенные материалы, т.к. их однородная структура разрушена и соответственно увеличивается площадь покрытия бактериями твердых частиц субстрата.

4. Оптимальное значение рН колеблется в зависимости от вида сырья от 6,5 да 8,5. При снижении активности метановых бактерий, т.е.

уменьшении значения рН ниже 6,5 рекомендуется отделять CO₂ уже на первом этапе технологической схемы.

5. Выявлено на необходимость медленного перемешивания сырья через каждые 4-6 часов.

6. Влажность сырья, загружаемого в реактор установки должна быть не менее 85% в зимнее время и 92% в летнее время года

Заключение. Таким образом, для получения максимального количества биогаза, необходимо было в статье обосновать выбор основных параметров метанового сбраживания, таких как: температура, влажность, уровень рН, продолжительность брожения, частота перемешивания и размеры частиц. При правильном подборе и расчете вышеназванных параметров зависящих друг от друга, легче поддерживать процесс АС в биореакторах и осуществлять их контроль и управлять работой биореакторов на трех ступенях АС, что позволяет получать максимальный выход биогаза и концентрации метана в трехступенчатой биогазовой установке.

Список литературы

1. Веденев, А.Г. Руководство по биогазовым технологиям [Текст]: учебник / А.Г. Веденев, Т.А. Веденева. – Бишкек: ДЭМИ, 2011. – 84 с.
2. Токмолдаев, А.Б. Обоснование технологической схемы и параметров установки для переработки и обеззараживания навоза в условиях малых сельхозформирований [Текст]: дисс... канд. тех. наук: 05.20.01/79/Токмолдаев Андрей Борисович. – Алматы, 2009. – 116 с.
3. Караева, Ю.В. Обзор биогазовых технологий и методов интенсификации процессов анаэробного сбраживания [Текст] / Ю.В. Караева, И.А. Трахунова // Труды Академэнерго. – 2010. – №3. – С.109-127.
4. Колосова, Н.В. Интенсификация процессов тепломассообмена в биогазовой установке для увеличения выхода горючих газов [Текст]: дисс... канд. тех. наук: 05.23.03 / Колосова Нелли Вадимовна. – Макеевка, 2019. – 117 с.
5. Tlebayev, M.B., Tazhiyeva R.N., Doumcharieva, Z.E., Aitbayeva, Z.K., Baijarikova, M.A. Mathematical Research of the Accelerated Three-Stage Process of Substrate Fermentation in Bioreactors // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 2017. Vol. 9(4), PP. 392-400.
6. Тлебаев, М.Б. Функциональная схема для кавитационной деструкции и анаэробного сбраживания [Текст] / М.Б. Тлебаев, З.К. Айтбаева, З.К. Айтбаева, Д.У. Маматаева // Материалы V Международной научно-практической конференции «Наука и образование в современном мире: Вызовы XXI века». - Нур-Султан, 2019. – С. 112 – 115.
7. Джунбаева, Г.Н. Математическое моделирование процесса кавитационной деструкции в устройстве обработки органического сырья [Текст] / Г.Н. Джунбаева, З.К. Айтбаева, А. Емекбаева // Сборник XXIII международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Научная молодежь в аграрной науке: достижения и перспективы» в рамках проведения года Молодежи Республики Казахстан, 26-27 апреля 2019. - Том. 4. – С. 8-12.
8. Способ переработки органических отходов [Текст] / М.А. Байжарикова, М.Б. Тлебаев, Р.Н. Тажиева, Ж.Е. Доумчариева, З.К. Айтбаева // Патент РК №103153. 2016.
9. Байжарикова, М.А., Тлебаев, М.Б., Тажиева Р.Н., Доумчариева Ж.Е., Айтбаева, З.К. «Компьютерный контроль параметров, автоматизация управления метанового сбраживания органических отходов в биореакторах» (заключительный) [Текст]: Отчет о научно-исследовательской работе. - МРНТИ 62.01.91, 62.01.77.
10. Байжарикова, М.А. Расчет скорости выхода метана технологического процесса метанового сбраживания органического субстрата [Текст] / М.А. Байжарикова, Ж.Е. Доумчариева, Ж.Н. Нуржигитова, Е.М. Бейшен // Молодой ученый, Международный научный журнал. - 2017. - №4.1(138.1). - С. [?].

11. Веденев, А.Г. Биогазовые технологии в Кыргызской Республике [Текст]: учебник / А.Г.Веденев, Т.А. Веденева. – Бишкек: Типография «Евро», 2006. – 90 с.

12. Трахунова, И.А. Повышение эффективности анаэробной переработки органических отходов в метантенке с гидравлическим перемешиванием на основе численного эксперимента [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.20.01 / Трахунова Ирина Александровна. – Казань, 2014. – 115 с.

13. Сидыганов, Ю.Н. Результаты математического моделирования процессов теплового перемешивания при анаэробном сбраживании органических отходов [Текст] / Ю.Н.Сидыганов, Е.М. Онучин, Д.В.Костромин, А.А. Медяков // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2011. - № 24. – С. 332-338.

Материал поступил в редакцию 18.03.21

Б.И. Бийбосунуов, М.А. Байжарикова

*И.Арабаев атындағы Кыргыз мемлекеттік университеті, Бишкек қ.,
Қырғызстан Республикасы*

МЕТАНДЫ ҚОРЫТУДЫҢ КИНЕТИКАЛЫҚ БАСҚАРУ ЖӘНЕ АВТОМАТТАНДЫРУ ЖҮЙЕЛЕРІ ҮШІН НЕГІЗГІ ПАРАМЕТРЛЕРІН ТАҢДАУ

Аннотация. Мақалада биореакторлардағы анаэробты ашыту кинетикасын сипаттайтын көптеген елдердің әдебиеттері қарастырылған. Барлық дереккөздерде биометанның қалыптасу кинетикасын әртүрлі көзқараспен сипаттайды. Көптеген параметрлердің әсерінен әмбебап математикалық модельді дәл сипаттау және дамыту мүмкін емес. Бұл жұмыста биореакторлардағы метанды ашыту кинетикасын сипаттау үшін эмпирикалық модельдер қолданылады. Эксперименттік зерттеулер кинетикалық параметрлерді сандық шешу үшін қолданылады, коэффициенттердің шектері көрсетілген, биометрияның түзілуінің математикалық моделінің сәйкестігін бағалау критерийлері талданады.

Жоғарыда айтылғандардың негізінде кинетикалық процеске әсер ететін негізгі параметрлерді және жетілдірілген биогаз технологиясының басқару және автоматтандыру жүйесін таңдау негізделген. Аппараттық-бағдарламалық кешенде алынған есептеу нәтижелері мен эксперименттік мәліметтер барлық шарттарда және бүкіл жүйеде анаэробты ашытуды ұсынуға мүмкіндік берді.

Тірек сөздер: ірі қара мал, биогаз қондырғысы, метан, термофильді, психрофилді, мезофильді, температуралық режим, био-тыңайтқыштар.

B.I. Biybosunov, M.A. Baizharikova

Kyrgyz State University named after I. Arabaev, Bishkek, Kyrgyzstan

KINETICS AND SELECTION OF THE MAIN PARAMETERS OF METHANE DIGESTION FOR CONTROL AND AUTOMATION SYSTEMS

Annotation. The article reviews the literature of many countries describing the kinetics of anaerobic digestion in bioreactors. All sources have different approaches to the description of the kinetics of biomethane formation. An accurate description and development of a universal mathematical model is impossible due to the influence of numerous parameters. In this work, empirical models are used to describe the kinetics of methane digestion in bioreactors. Experimental studies are used for the numerical solution of the kinetic parameters, the limits for the coefficients are specified, the criteria

for assessing the compliance of the mathematical model of biomethane formation are analyzed.

Based on the above, the choice of the main parameters influencing the kinetic process and the control and automation system of the improved biogas technology is substantiated. The calculation results and experimental data obtained on the hardware and software complex made it possible to recommend anaerobic digestion at all three stages and the entire system as a whole.

Keywords: cattle, biogas plant, methane, thermophilic, psychrophilic, mesophilic, temperature regime, biofertilizers.

References

1. Vedenev, A.G., Vedeneva T.A. Rukovodstvo po biogazovym tekhnologiyam [Biogas Technology Guide]. – Bishkek: DEMI, 2011. P.84 [in Russian].

2. Tokmoldaev, A.B. Obosnovanie tekhnologicheskoi skhemy i parametrov ustanovki dlya pererabotki i obezrazzhivaniya navoza v usloviyakh malykh selkhozformirovaniy [Justification of the technological scheme and parameters of the installation for processing and disinfecting manure in the conditions of small agricultural formations]: diss... Cand. tech. science: 05.20.01/79 Tokmoldaev Andrei Borisovich. – Almaty, 2009. – P.116 [in Russian].

3. Karaeva, Yu.V., Trakhunova I.A. Obzor biogazovykh tekhnologii i metodov intensivatsii protsessov anaerobnogo sbrzhivaniya [Review of biogas technologies and methods of intensification of anaerobic digestion processes] // Proceedings of Akademenergo – 2010. – №3. – PP.109-127. [in Russian].

4. Kolosova, N.V. Intensifikatsiya protsessov teplomassoobmena v biogazovoi ustanovke dlya uvelichenie vykhoda goryuchikh gazov [Intensification of heat and mass transfer processes in a biogas plant to increase the yield of combustible gases]: dis... Cand. tech. science: 05.23.03 / Kolosova Nelli Vadimovna. – Makeevka, 2019. – 117 p. [in Russian].

5. Tlebayev, M.B., Tazhiyeva, R.N., Doumcharieva, Z.E., Aitbayeva, Z.K., Baijarikova, M.A. Mathematical Research of the Accelerated Three-Stage Process of Substrate Fermentation in Bioreactors // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 2017. Vol. 9(4), PP. 392-400.

6. Tlebaev, M.B., Aitbaeva Z.K., Aitbaeva Z. K., Mamataeva D.U. Funktsionalnaya skhema dlya kavitatsionnoi destruktсии i anaerobnogo sbrzhivaniya [Functional diagram for cavitation destruction and anaerobic digestion] // Materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Nauka i obrazovanie v sovremennom mire: Vyzovy XXI veka» [Materials of the V International Scientific and Practical Conference "Science and Education in the Modern World: Challenges of the XXI century"].- Nur-Sultan, 2019. PP.112 – 115. [in Russian].

7. Dzhunbaeva, G.N., Aitbaeva Z.K., Emekbaeva A. Matematicheskoe modelirovanie protsessa kavitatsionnoi destruktсии v ustroisve obrabotki organicheskogo syrya [Mathematical modeling of the process of cavitation destruction in a device for processing organic raw materials] // Materialy XXIII mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh i studentov «Nauchnaya molodezh v agrarnoi nauke: dostizheniya i perspektivy» v ramkakh provedeniya goda Molodezhi Respubliki Kazakhstan [Proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference of young scientists and students "Scientific youth in agricultural science: achievements and prospects" within the framework of the Year of Youth of the Republic of Kazakhstan] 26-27 April 2019. V. 4, PP. 8-12. [in Russian].

8. Baizharikova, M.A., Tlebaev, M.B., Tazhiyeva, R.N., Doumcharieva, Zh.E., Aitbaeva, Z.K. Sposob pererabotki organicheskikh otkhodov [Method of processing organic waste] / Patent RK №103153.- 2016. [in Russian].

9. Baizharikova, M.A., Tlebaev, M.B., Tazhieva, R.N., Doumcharieva, Zh.E., Aitbaeva, Z.K. Kompyuternyi kontrol parametrov, avtomatizatsiya upravleniya metanovogo sbrazhivaniya organicheskikh otkhodov v bioreaktorakh [Computer control of parameters, automation of management of methane fermentation of organic waste in bioreactors] Final Report of research work. MRNTI 62.01.91,62.01.77. [in Russian].

10. Baizharikova, M.A. Doumcharieva Zh.E., Nurzhigitova Zh.N., Beishen E.M. Raschet skorosti vykhoda metana tekhnologicheskogo protsessa metanovogo sbrazhivaniya organicheskogo substrata [Calculation of the methane yield rate of the technological process of methane fermentation of an organic substrate] // Molodoi uchenyi, Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal [Young Scientist, International scientific journal], 2017. №4.1 (138.1) [in Russian].

11. Vedenev, A.G. Vedeneva, T.A. Biogazovye tekhnologii v Kyrgyzskoi Respublike [Biogas technologies in the Kyrgyz Republic]. – Bishkek: Tipografiya «Evro», 2006. – 90 p. [in Russian].

12. Trakhunova, I.A. Povyshenie effektivnosti anaerobnoi pererabotki organicheskikh otkhodov v metantenke s gidravlicheskim peremeshivaniem na osnove chislennogo eksperimenta [Increasing the efficiency of anaerobic processing of organic waste in a digester with hydraulic stirring based on a numerical experiment]: diss... Cand. tech. science: 05.20.01 / Trakhunova Irina Aleksandrovna. – Kazan, 2014. – 115 p. [in Russian].

13. Sidyganov, Yu.N., Onuchin, E.M., Kostromin, D.V., Medyakov, A.A. Rezultaty matematicheskogo modelirovaniya protsessov teplovogo peremeshivaniya pri anaerobnom sbrazhivaniy organicheskikh otkhodov [Results of mathematical modeling of thermal mixing processes during anaerobic digestion of organic waste] // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University]. – 2011. - № 24. – PP. 332-338 [in Russian].