
АНАЭРОБНОЕ СБРАЖИВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ МАССЫ ВЕЩЕСТВ ОРГАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА

Осинцев Константин Владимирович,
заведующий кафедрой ПТЭ,

Карелин Александр Михайлович,
студент,

Кончаков Владимир Олегович,
студент,

Антонова Ксения Федоровна,
студент,

Зими́на Ю́лия Константи́новна,
студент,

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск
454080, РФ, г. Челябинск пр. Ленина, 76 E-mail:
pte2017pte@mail.ru

Аннотация

В статье описан способ получения биогаза для сельскохозяйственных предприятий бескислородным методом. Описан процесс анаэробного сбраживания и его влияние на состав брожения биологических масс. Для получения биогаза используется растительное сырье, навозная масса и различные органические отходы. Произведен анализ проблемы использования установок, работающих на биогазе. Рассмотрено влияние переработки биологической массы в термической плазме на экологию.

Ключевые слова: органические отходы, термическая плазма, бескислородный метод, анаэробное сбраживание, биологические массы.

ANAEROBIC DIGESTION OF BIOLOGICAL MASS OF ORGANIC SUBSTANCES TO PRODUCE BIOGAS

Konstantin V. Osintsev,
Head of the Heat and power engineering department,

Alexander M. Karelin,
student,

Vladimir O, Konchakov,
student,

Kseniya F. Antonova,
student,

Yulya K. Zimina,
student

South Ural State University, Chelyabinsk 454080, Russian Federation, Chelyabinsk ave. Lenin, 76
E-mail: pte2017pte@mail.ru

ABSTRACT

The article describes a method for obtaining biogas for agricultural enterprises using the oxygen-free method. The process of anaerobic digestion and its influence on the composition of fermentation of biological masses is described. To obtain biogas, vegetable raw materials, manure and various organic wastes are used. An analysis of the problem of using plants operating on biogas was made. The influence of biological mass processing in thermal plasma on ecology is considered.

Keywords: organic waste, thermal plasma, oxygen-free method, anaerobic digestion, biological masses.

Введение

Метод анаэробного сбраживания используют для реутилизации, снижения количества биологической массы различного происхождения, отходов сельскохозяйственного происхождения, материалов с большим содержанием органических веществ. В процессе сбраживания микроорганизмы расщепляют биологический материал. Данный метод необходим для утилизации отходов сельскохозяйственной промышленности, так же для получения топлива. Биогаз, который получается в процессе бескислородного сбраживания, может быть утилизирован на энергетические и тепловые нужды [1].

Содержание метана в биогазе достигает 50-60% [2]. Данное процентное содержание достигается с помощью сбраживания без доступа кислорода. В связи с тем, что анаэробное сбраживание происходит под давлением необходимо использовать датчики высокого давления и реакторы. Это вызывает дополнительные капиталовложения. В данной статье описан процесс получения биогаза из органической массы. Биогаз производится с помощью специальных установок. Биогазовые установки также вырабатывают удобрения. Такую установку возможно установить в частном доме. Биогаз после биогазовой установки поступает в газгольдер, в котором высокое давление. С помощью газгольдера возможно получить тепловую и электрическую энергию и направить ее на хозяйственные нужды. Удобрения, производимые биогазовой установкой, разделяются в сепараторе на два типа: жидкие и твердые. Удобрения можно использовать для сельскохозяйственных нужд. Биогазовая установка полезна, если в доме есть крупный рогатый скот. Можно использовать навозные массы в качестве органических отходов [3].

Переработка навозной массы в биогазовой установке помогает правильно утилизировать органические отходы. Происходит снижение дисбактериальных веществ, которые попадают в окружающую среду. С помощью переработки возможно получить готовый бесплатный продукт – биогаз. Использование биогазовых установок является экономически выгодным альтернативным вариантом магистральному природному газу и централизованному электроснабжению [4].

В этой статье рассматривается анаэробный метод сбраживания органических отходов.

Материалы и методы

Существует несколько видов сбраживания органических отходов. В зависимости от технологических особенностей биогазовые установки подразделяются на следующие типы:

1. Биогазовая установка непрерывного сбраживания. Данная установка имеет одну камеру сбраживания с непрерывной загрузкой субстрата. Это позволяет получить значительный объем биогаза, но установка данного типа требует больших материальных затрат. Данная установка представлена на рисунке 1.

2. Биогазовая установка периодического сбраживания. Это установка с двумя камерами сбраживания с поочередной загрузкой органического материала. Данная установка представлена на рисунке 2.

3. Биогазовая установка аккумулятивного сбраживания. Особенность данной установки в том, что камера сбраживания служит еще и камерой хранения готового удобрения. Данная установка представлена на рисунке 3.

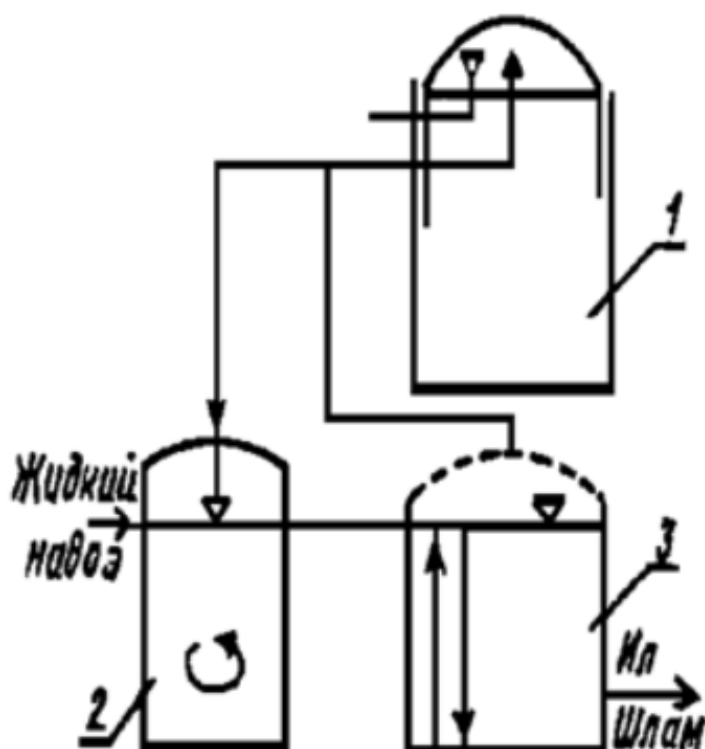


Рисунок 1 – Схема биогазовой установки непрерывного сбраживания:
1 – газгольдер; 2 – реактор; 3 – хранилище ила (шлама)

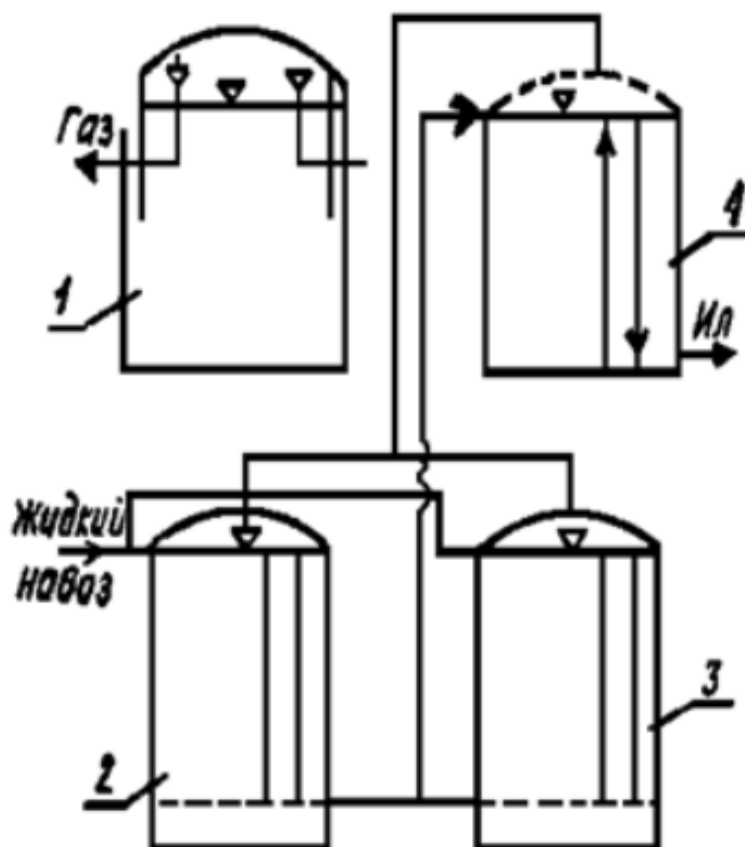


Рисунок 2 – Схема периодического сбразивания:

1 - газгольдер; 2 - первый реактор; 3 - второй реактор; 4- хранилище ила (шлама)

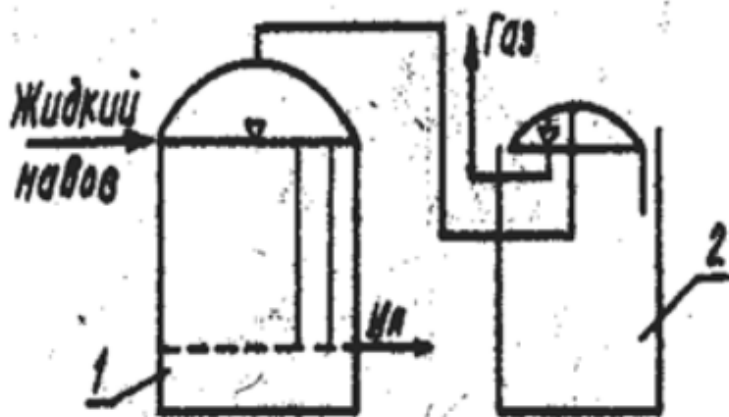


Рисунок 3 – Схема аккумулятивного сбразивания:

1 - реактор и хранилище; 2 - газгольдер

Сбразивание без доступа кислорода включает в себя различные реакции. Они происходят под воздействием анаэробных микроорганизмов. Анаэробное сбразивание делится на две стадии. Первая стадия разжижение. Вторая стадия газификация. В процессе

сбраживания бактерии, находящиеся в органической массе активно размножаются. Для эффективности процесса вводятся вспомогательные анаэробные бактерии [5].

Стадия газификация зависит от стадии разжижения. Продукты, получившиеся на стадии разжижения делятся на диоксид углерода, метан и инертные органические вещества. Инертные органические вещества выпадают в сброженный осадок [6].

Стадия разжижения происходит, когда энзиматические вещества интенсифицируют процесс гидролиза: гидрокарбонатов – на сахара и алкалоиды, белка – на пептиды и аминокислоты, жиров – на жирные кислоты.

Температура сбраживания под воздействием бактерий от 0 до 70 °С. Наиболее активно процесс анаэробного сбраживания происходит на двух температурных интервалах. Данные интервалы вызваны различными группами бактерий. Первый температурный интервал имеет значения от 30 до 40 °С. В первом температурном интервале живут мезофильные бактерии. Второй температурный интервал имеет температурные значения от 50 до 60 °С. Во втором температурном интервале живут термофильные бактерии. Они более чувствительны к изменениям условий среды, чем мезофильные бактерии [7].

Критическим фактором, определяющим продолжительность жизнедеятельности бактерий, является отношение количества углерода к азоту. Отношение углерода к азоту в исходном материале приведено в следующей формуле:

$$\frac{C}{N} = \frac{30}{1}$$

где C – углерод, N – азот.

Анаэробное сбраживание заключается в преобразовании имеющегося в биомассе углерода в метан при минимальных потерях азота. Биомасса, помимо углерода и азота, имеет в составе следующие вещества, способствующие сбраживанию: кальций, магний, углекислый калий, цинк, железо. Однако к основным питательным веществам относятся углерод, азот, фосфор и сера [8].

Результаты эксперимента

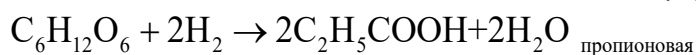
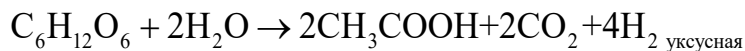
Основная проблема анаэробного сбраживания – поддержание необходимого температурного режима. Подогрев жидкой органической массы происходит перед загрузкой в камеру сбраживания, или непосредственно в ней. При неправильной тепловой изоляции камер сбраживания и трубопроводов могут возникнуть теплопотери до 30%. Органическое вещество может подогреваться с помощью пара. Для перемешивания субстрата применяют механические, гидравлические и газовые устройства [9].

Масса и состав газа, выделяющегося при анаэробном сбраживании углеводов жиров и белков представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические данные

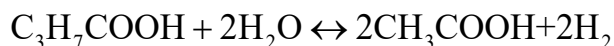
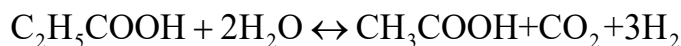
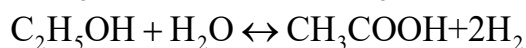
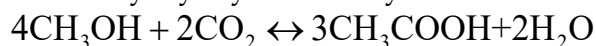
Компоненты осадка	Удельный выход газа, мл/г	Состав газа, %		Плотность газа, г/м ³ , при нормальных условиях	Масса газа, Г, получаемого с 1 г распавшегося вещества
		CH ₄	CO ₂		
Углеводы	790	50	50	1,25 · 10 ³	0,985
Жиры	1250	68	32	1,05 · 10 ³	1,31
Белки	704	71	29	1,01 · 10 ³	0,71

При ацидогенной стадии протекают различные виды брожения: спиртовое, маслянокислое, ацетоно-бутиловое, пропионовое и другие, в ходе которых, бактерии-ацедогены сбрасывают образующиеся продукты гидролиза, например глюкозу, до органических кислот:



В результате расщепления на первых двух стадиях 70–80% из образующихся органических продуктов составляют жирные кислоты, до 20% – ацетат (соли и эфиры уксусной кислоты) и 3–5% – водород.

На оцетогенной стадии брожения гетероацетогенные бактерии (ацетогены) переводят органические кислоты, например пропионовую и масляную, прочие продукты ацидогенеза в уксусную кислоту:

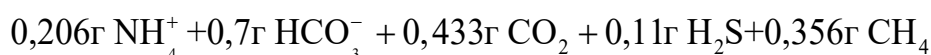
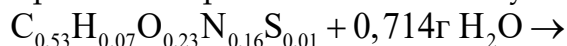


Конечными продуктами ацетогенной стадии являются ацетат (50–55%), H_2 (23–25%) и CO_2 .

При разложении глюкозы: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CO_2 + 3CH_4$ на 1 г выделится 0,733 г CO_2 и 0,267 г CH_4 .

При разложении жиров: $C_{18}H_{36}O_2 + 8H_2O \rightarrow 5CO_2 + 13CH_4$ на 1 г выделится 0,775 г CO_2 и 0,732 г CH_4 .

При полном разложении белка с условной формулой (в долях от массы белка):



на 1 г выделится 0,433 г CO_2 и 0,365 г CH_4 [10].

Рассмотрим таблицу 2, в которой указано количество биогаза, которое можно получить из различного вида сырья:

Таблица 2 – Количество биогаза

Субстрат	Выход, м ³ /т	Субстрат	Выход, м ³ /т
Навоз КРС (природный 85-88% вл.)	54	Меласса	633
Навоз самосплавный (95% вл.)	22	Барда (зерновая 93% вл.)	40
Навоз свиной природный (85% вл.)	62	Барда (меласная 90% вл.)	50

Продолжение таблицы 2

Субстрат	Выход, м ³ /т	Субстрат	Выход, м ³ /т
Навоз свиной самосплавный (95% вл.)	25	Пивная дробина (82% вл.)	99
Птичий помёт клеточный (75% вл.)	103	Мезга кукурузная (80% вл.)	85
Птичий помёт подстилочный (60% вл.)	90	Мезга картофельная (91% вл.)	32
Силос кукурузный	180	Жир (чистый, 0% вл.)	1300
Свежая трава	200	Жир из жироловок (жировая пульпа)	250
Молочная сыворотка	50	Отходы бойни (только кровь, каныга, мягкие ткани)	300
Зерно, мука, хлеб	538	Корнеплодные овощи	100
Фруктовый и овощной жом (80% вл.)	108	Технический глицерин	500
Свекольный жом (78% вл.)	119	Рыбный отходы	300

Выбираем значения из строки «Навоз КРС природный» и рассчитываем биогаз который можно получить из 50 кг свиного навоза в день с помощью биогазовой установки, изображённой на рисунке 4.

$$B_{\text{д}} = H_{\text{дн}} \cdot H_{\text{вых}}$$

где $B_{\text{д}}$ – выход биогаза который можно получить за день с помощью биогазовой установки, м³;

$H_{\text{дн}}$ – количество навоза, производимого за 1 день 10 свиньями (рассмотрим небольшой частный дом), м³/т;

$H_{\text{вых}}$ – количество биогаза, которое на выходе можно получить при идеальных условиях, м³/т.

Идеальные условия в данном случае это влажность субстрата 85-90%, уровень рН в пределах 6,7 -7,6.

$$B_{\text{д}} = 0,05 \cdot 54 = 2,7 \text{ м}^3$$

Из 1 куб.м биогаза при сжигании в когенерационной установке, можно получить до 2 кВт·ч электроэнергии.

Рассчитаем сколько электроэнергии возможно получить за один день с учетом полученного нами выхода биогаза.

$$\mathcal{E}_{\text{д}} = B_{\text{д}} \cdot 2$$

где $\mathcal{E}_{\text{д}}$ – электроэнергия, которую возможно получить из выхода биогаза за день, м³;
2 – количество электроэнергии, которое можно получить при сжигании 1 м³ биогаза в когенерационной установке, кВт·ч.

$$\mathcal{E}_{\text{д}} = 2,7 \cdot 2 = 5,4 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

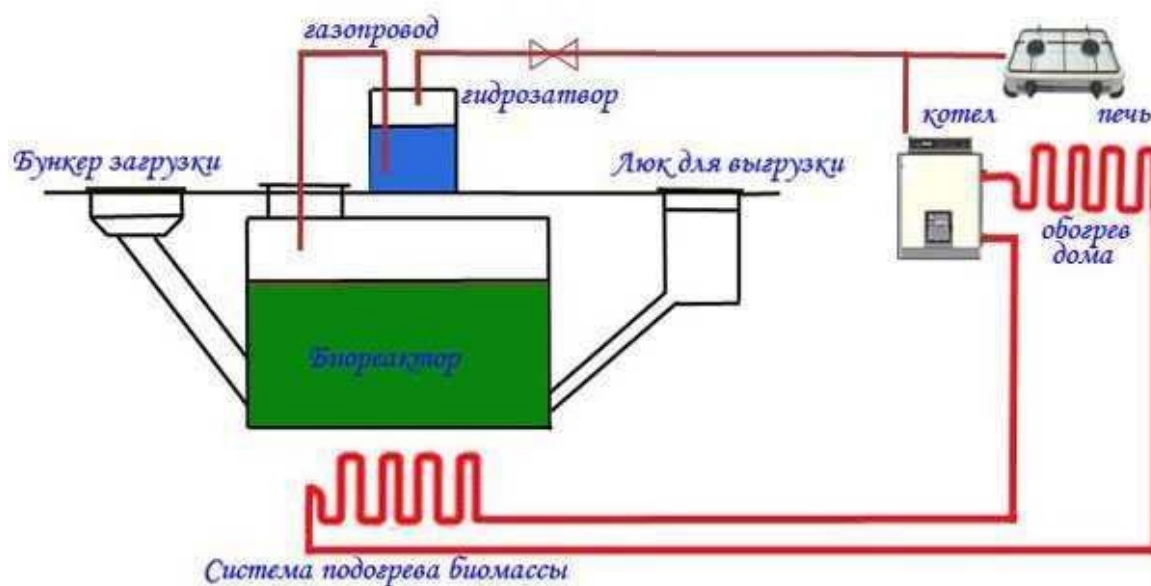


Рисунок 4 – Простейшая схема биогазовой установки

Биогазовая установка позволит сэкономить значительное количество потребления электроэнергии в частном доме с сельским хозяйством.

Обсуждение

Биогаз является возобновляемым источником энергии. Биогазовая установка может работать без зависимости от природных факторов. Это явное преимущество перед другими возобновляемыми источниками энергии. Например, солнечные батареи зависимы от солнечного света, ветровые генераторы от ветра, гидроэлектростанции от воды. Анаэробное сбраживание является экологически безопасным процессом [11]. В процессе сбраживания возбудители инфекций, которые изначально находились в органической массе уничтожаются. Удобрение, полученное с помощью биогаза, не может заразить почву и нанести вред окружающей среде [12].

Минусом использования биогазовой установки является капиталовложение. В качестве примера рассмотрим пример средних затрат и доходов при установке биогазового оборудования, представленный в виде таблицы 3.

Таблица 3 – Средние затраты и доходы

Затраты:					Евро
Обслуживание реактора					32000
Амортизационные расходы					27800
Обслуживание электрогенератора					4000
Электроэнергия (для случая, если производится только газ)					6500
Оплата труда (с запасом берём 2 человека низкой квалификации)					7000
Всего затрат за год					77300
Доходы: 1. Продажа/использование газа (или электроэнергии как производной от газа)					Евро
2. Продажа/использование удобрений					
3. Продажа квот CO_2					
	Ед.изм.	Выход в час	Выход за год	Стоимость евро	Общая сумма евро
Биогаз	м^3	575	5037000	0,08	402960
Гумуз	тонн	0,616	5400	80	432000

Жидкие биодобрения	м ³	3,221	28200	4	113000
Квоты CO ₂	тонн		22000	8	176000
Общая прибыль					1123960
Чистая прибыль					1046660

Заключение

Переработка органических веществ в удобрения путем анаэробного сбраживания является экологичным методом. Данный способ помогает избавиться от бактерий, находящихся в навозной массе, тем самым предотвращает заражение почвы. Биогазовая установка позволяет экономить на тепловой и электрической энергии. Установка помогает организовать правильное хранение органических масс. Анаэробное сбраживание – экологичный вариант переработки органических отходов.

Список литературы:

1. Повышение эффективности анаэробного сбраживания жидких биоразлагаемых отходов, Оковитая К.О., Ракульцева М.А., Суржко О.А., (2021).
2. Ковалев Д.А. Повышение энергетической эффективности процесса предварительного нагрева жидких органических отходов перед анаэробной обработкой бесподстилочного навоза КРС / Д.А. Ковалев, А.А. Ковалев.
3. Федотов А.В. Перспективный носитель биомассы для систем анаэробной переработки органических отходов АПК / А.В. Федотов, В.С. Григорьев, Д.А. Ковалев и др. // Электротехнологии и электрооборудование АПК.-2020. Т.67.№1 (38). С.148-155.
4. Ковалев Д.А. Интенсификация процесса анаэробной обработки органических отходов животноводства в биогазовых установках блочно-модульного типа / Д.А. Ковалев // Инновации в сельском хозяйстве. 2016 (5). С.369-374.
5. Протер Я. Биологическое удаление азота из жидких остатков ферментации / Я. Протер., Р. Плат, М. Хилле //Международная научная конференция по случаю 120-летия инженерной подготовки: «Возобновляемые источники энергии как технологии будущего», Кетен, 2011 г.
6. Ножевникова А.Н. Состав микробного сообщества на разных стадиях компостирования, перспектива получения компоста из муниципальных органических отходов / А.Н. Ножевникова и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2019, т.55. №3, С.211-221.Остроумов Г. А. Свободная тепловая конвекция в условиях внутренней задачи. Москва – Ленинград. Гостехиздат. – 1952.
7. Зиганшина Е.Е. Влияние гранулированного активированного угля на анаэробное совместное сбраживание жомом сахарной свёклы и зерна дистилляторов с растворимыми веществами / Е.Е. Зиганшина, Д.Е. Белостоцкий и др.// Процессы-2020. Т.8. –С.1-16.
8. Ковалев Д.А. Предварительное исследование анаэробной биоконверсии органических отходов в реакторе при повышенном давлении / Д.А. Ковалев, Ю.В. Караева // Труды Академэнерго. 2018. №2. С.98-103.

9. Ковалев Д.А. Предварительное исследование анаэробной биоконверсии органических отходов в реакторе при повышенном давлении / Д.А. Ковалев, Ю.В. Караева // Труды Академэнерго. 2018. №2. С.98-103.
10. В.В. Зыбин, О.С. Пташкина-Гирина, Ж.И. Телюбаев Б. Анализ эффективности использования биогазовых установок в условиях Южного Урала. С. 520-523 (2019).
11. А.М. Бондаренко и Л.С. Качанова, Теоретические и технологические подходы к переработке жидких органических отходов 6 (68), стр. 114-117 (2017).
12. В.В. Зыбин, О.С. Пташкина-Гирина, Ж.И. Телюбаев Б. Анализ эффективности использования биогазовых установок в условиях Южного Урала. С. 520-523 (2019).

References:

1. Increasing the efficiency of anaerobic digestion of liquid biodegradable waste, Okovitaya K.O., Rakultseva M.A., Surzhko O.A., (2021).
2. Kovalev D.A. Improving the energy efficiency of the pre-heating process of liquid organic waste before anaerobic treatment of bedless cattle manure / D.A. Kovalev, A.A. Kovalev.
3. Fedotov A.V. Perspective carrier of biomass for systems of anaerobic processing of organic waste of the agro-industrial complex / A.V. Fedotov, V.S. Grigoriev, D.A. Kovalev et al. // Electrotechnologies and electrical equipment APK.-2020. T.67. No. 1 (38). pp.148-155.
4. Kovalev D.A. Intensification of the process of anaerobic treatment of organic animal waste in biogas plants of block-modular type / D.A. Kovalev // Innovations in agriculture. 2016(5). pp.369-374.
5. Proter J. Biological removal of nitrogen from liquid fermentation residues / J. Proter., R. Plath, M. Hille // International scientific conference on the occasion of the 120th anniversary of engineering training: "Renewable energy sources as technologies of the future", Keten, 2011 G.
6. Nozhevnikova A.N. The composition of the microbial community at different stages of composting, the prospect of obtaining compost from municipal organic waste / A.N. Nozhevnikova et al. // Applied Biochemistry and Microbiology. 2019, v.55. №3, P.211-221.
7. Ostroumov G. A. Free thermal convection under conditions of an internal problem. Moscow - Leningrad. Gostekhizdat. - 1952.
8. Ziganshina E.E. Influence of granular activated carbon on anaerobic co-fermentation of sugar beet pulp and grains of distillers with soluble substances / E.E. Ziganshina, D.E. Belostotsky and others // Processes-2020. T.8. -S.1-16.
9. Kovalev D.A. Preliminary study of anaerobic bioconversion of organic waste in a pressurized reactor / D.A. Kovalev, Yu.V. Karaeva // Truda Academenergo. 2018. №2. S.98-103.
10. Kovalev D.A. Preliminary study of anaerobic bioconversion of organic waste in a pressurized reactor / D.A. Kovalev, Yu.V. Karaeva // Truda Academenergo. 2018. №2. S.98-103.
11. V.V. Zybin, O.S. Ptashkina-Girina, Zh.I. Telyubaev B. Analysis of the effectiveness of the use of biogas plants in the conditions of the Southern Urals. pp. 520-523 (2019).
12. A.M. Bondarenko and L.S. Kachanova, Theoretical and technological approaches to the processing of liquid organic waste 6 (68), pp. 114-117 (2017).

12. V.V. Zybin, O.S. Ptashkina-Girina, Zh.I. Telyubaev B. Analysis of the effectiveness of the use of biogas plants in the conditions of the Southern Urals. pp. 520-523 (2019).