

Д.Қ. Есенжол¹, Б.Т. Бахтияр², К.Е. Сакипов¹, Г.У. Турсумбаева²

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²ТОО «Zerttey.kz», Алматы, Казахстан

E-mail: sanat_95_01@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА В БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКЕ

Аннотация. В статье отражены результаты исследования биогазовых установок с устройством перемешивания в области малого животноводческого хозяйства.

Представлен анализ систем перемешивания биомассы в биогазовых установках.

В рамках исследования биогазовых установок малого объема был произведен патентный поиск, по результатам которого определена оптимальная ее конструкция. Рассмотрены конструктивные особенности и область применения систем перемешивания различных видов. Данная статья заслуживает внимания специалистов, исследующих в области зеленых технологий.

Ключевые слова. Биогаз, биореактор, биомасса, перемешивание.

Введение.

Для обеспечения энергетической безопасности в Республике Казахстан основное внимание уделяется возобновляемым источникам энергии (ВИЭ). В настоящее время Казахстан обратился к развитию возобновляемых и альтернативных источников энергии. По поручению Президента Республики Казахстан доля ВИЭ в общем объеме производства электроэнергии в стране к 2030 году должна составить не менее 15%. С этой целью Правительство Республики Казахстан разработало энергетический баланс до 2035 года, а также разрабатывает Стратегию Казахстана по достижению углеродной нейтральности к 2060 году [1].

Наименее развитая сфера энергетики ВИЭ в Казахстане – биогазовая энергетика. 18 млн кВт/ч или 0,75% всей электроэнергии ВИЭ было выработано в 2019 году тремя биогазовыми станциями (БГС) общей мощностью 2,42 МВт, за которыми Минэнерго РК ежеквартально осуществляет мониторинг [2].

Экономика Казахстана является одной из крупнейших агропромышленных экономик в Центральной Азии с развитым выращиванием сельскохозяйственных культур, в результате которого образуются значительные объемы сельскохозяйственных отходов. Большая часть сельскохозяйственных отходов используется для мульчирования почвы, в качестве удобрения, корма для животных и подстилок для скота. Однако, все еще довольно большая доля отходов остается неиспользованной. Одним из перспективных вариантов для этих оставшихся и неиспользованных объемов отходов является преобразование их в биоэнергию в целях теплоснабжения, приготовления пищи и производства электроэнергии [3].

В республике последние два года было реализовано несколько проектов, работающие на биотопливе, переработанного из сельскохозяйственных отходов, связи чем можно сказать, что отсутствуют рынок выработки тепловой энергии из биомассы. Несмотря на это, внедрение альтернативной энергии в энергетический комплекс является основным аспектом, осуществляющий выполнению политики экономике возобновляемых ресурсов Казахстана.

Верное решение в применении сельскохозяйственных отходов в электроресурс имеет возможность важную позицию в приумножении доли в альтернативной энергии. В связи с чем можно предполагать, что предстоящее время высок потенциал альтернативной энергии из сельскохозяйственных отходов.

Зеленые инновации становятся ключевыми элементами в звене баланса противостояния вышеописанными трудностями и выполнению перспективы биоэнергетики.

Опираясь на то, что часть скота в Казахстане содержится в малых хозяйствах, где поголовье в среднем составляет по 10-15 гол., возникает необходимость применения биогазовых установок малой мощности. Краткая информация о сельскохозяйственных отходах в Казахстане представлена на рисунке 1.

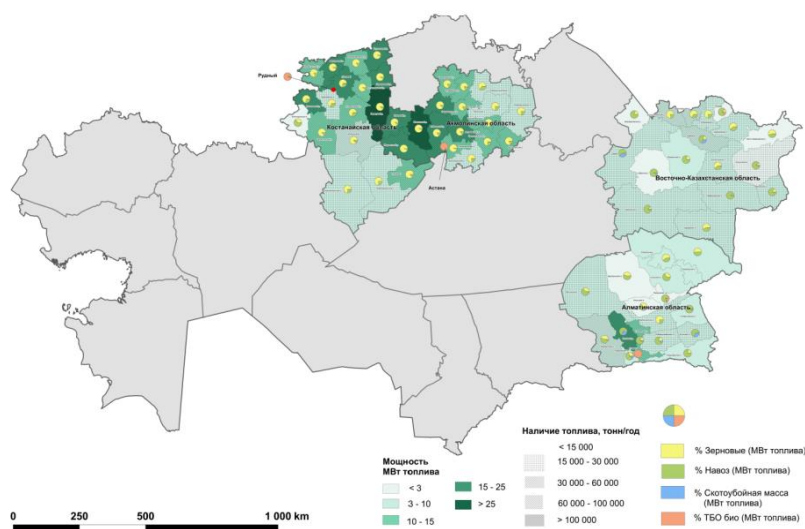


Рисунок 1- Данные по отходам в сельскохозяйственной отрасли в Казахстане

При этом следует учитывать разность климатических условий различных округов в виду выбора оптимального температурного режима сбраживания, простоту конструкции и эксплуатации в виду того, что сельское население не сможет оказать высококвалифицированное обслуживание сложного оборудования.

Материалы и методы.

В процессе исследования были применены общенаучные методы сравнения и анализа, и синтеза, математический и системный анализ, экспертные оценки и прогнозирование, а также патентный поиск.

Результаты.

Важным условием активного анаэробного сбраживания органического субстрата в биореакторе является перемешивание, обеспечивающее постоянный контакт микрофлоры с питательной средой [6, 7]. При этом выравнивание распределений взвешенных органических частиц, концентрации питательных веществ и температуры способствует интенсификации биохимических процессов образования биогаза.

Выбор механизма перемешивания будет зависеть от таких переменных, как размер реактора, тип перерабатываемого органического материала и бюджет [8]. Потребность в электроэнергии системы перемешивания составляет значительную часть общего потребления электроэнергии биогазовой установкой, измеряемого потреблением

электроэнергии биогазовой установкой. На крупномасштабных биогазовых установках на систему перемешивания приходится значительная часть общего потребления электроэнергии [9]. В зависимости от конструкции, исходного сырья и в зависимости от размера реактора используются механизмы перемешивания, такие как механические, гидравлические, пневматические и пассивные. Некоторые биогазовые реакторы могут также использовать комбинацию этих механизмов перемешивания для улучшения перемешивания и увеличения производства биогаза [8,9].

Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о очевидном влиянии смешивания сырья на работу реактора [10]. Предыдущие обзорные исследования предлагается несколько причин для рассмотрения механизмов перемешивания или мешалок при проектировании биогазовых реакторов, некоторые из которых заключаются в предотвращении расслоения сырья, обеспечении равномерного распределения микроорганизмов, предотвращении образования накипи и поддержании оптимальных условий эксплуатации, таких как температура, pH, содержание влаги во всех частях варочного котла [11,12].

Кроме того, что большая часть работы, проделанной в этой области, заключалась в моделировании вычислительной гидродинамики (CFD) с использованием различных высот пропеллера/крыльчатки, углов вращения и ориентации. Моделирование, проведенное с использованием реологии жидкости, о котором сообщалось в других исследованиях, показало соответствие неньютоновскому обобщенному степенному закону Оствальда-де Ваэля [10], [13], [14].

Был произведен патентный поиск биогазовых установок с системой перемешивания. По результатам исследования конструкции биогазовых установок, выявлено что большая часть выполнена в виде одноступенчатого реактора в вертикальном исполнении цилиндрической фигуры. Конструкция приводится в действие механическим перемешиванием на непрерывном режиме, подогрев которого выполняется через нагревательные секции.

Средняя расчетная мощность теплообменника-мешалки метантенка биогазовой установки [15]:

$$Q_{\text{раб}} = \frac{Q_3}{\tau}, \text{ кВт.} \quad (1.1)$$

Коэффициент теплопередачи теплообменника-мешалки метантенка биогазовой установки:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \quad (1.2)$$

где α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи от внутренней и наружной поверхностей теплообменника, Вт/(м² · К); λ – коэффициент теплопроводности теплообменника, Вт/(м · К); δ – толщина стенки теплообменника, м.

Площадь поверхности теплообменника – мешалки:

$$F = \frac{Q}{k \cdot (t_{\text{ср}} - t_{\text{р}})}, \text{ м}^2. \quad (1.3)$$

На рисунке 2 показаны главные устройства, применяемые в процессе механического перемешивания. Механическое, а также барботажное перемешивание в биогазовых установках применяется в перемешивании исходного вещества.

Процессы перемешивания в жидких средах при помощи механических мешалок широко распространены

Перемешивание с использованием механических мешалок гомогенизирует гетерогенные системы и интенсифицирует технологию получения двухфазных сред [17]. Результаты исследований по изучению влияния процесса перемешивания на количество выделяемого биогаза приведены на рисунке 3. Можно заметить, что выход метана увеличивается почти в 1,5 раза.

Эффективное применение данных устройств могут быть применены в компактных биогазовых установках, так как необходимо жесткие требования к форме реактора, в случае обеспечения уменьшения появления осадков и плавающих остатков, а также нуждающаяся в турбулентности целиком в пространстве реактора

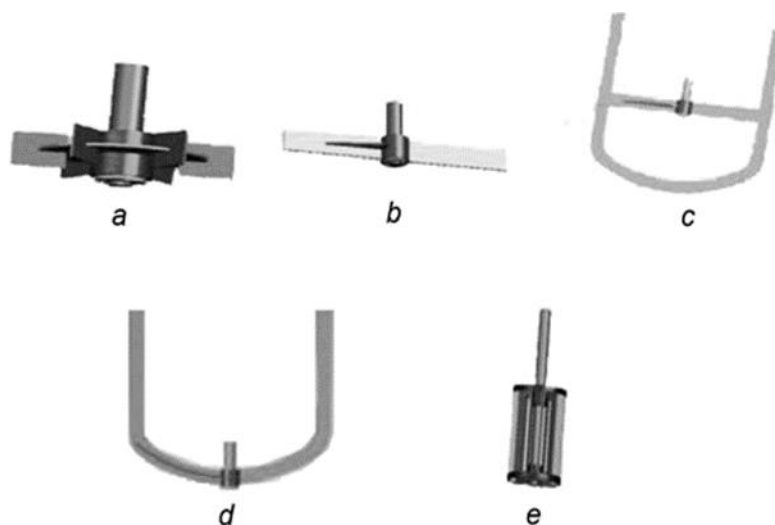


Рисунок 2 - Устройства механического перемешивания: *a* – турбинная; *b* – лопастная; *c* – рамная; *d* – якорная; *e* – специальная

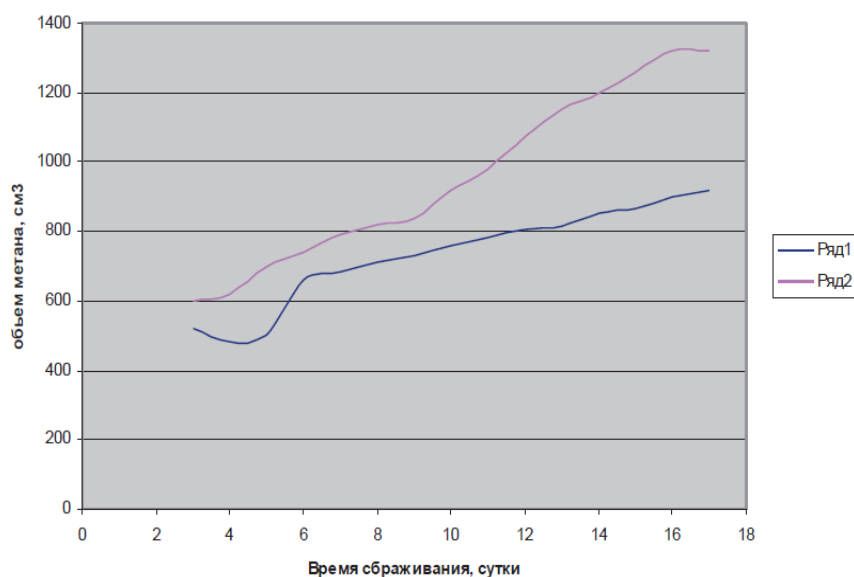


Рисунок 3 - Динамика выхода метана при анаэробном сбраживании навоза крупного рогатого скота: Ряд 1 – в стационарном режиме; Ряд 2 – при перемешивании

На рисунке 4 предоставлена чертеж метода барботажного перемешивания, которая выполняется в процессе подбора из верхушки биореактора вырабатывающего биогаза и пропуская его через слой исходного продукта.

При барботажном перемешивании происходит отделение мелких пузырьков газа от метаногенных микроорганизмов, что облегчает их контакт с питательным субстратом [18].

По завершению процесса барботажного перемешивания увеличивается объем производимого метана, так при выполнении данного процесса в биореакторе возрастает скопление растворенного углекислого газа, что в свою очередь является реципиентом водорода. Концентрация растворенного углекислого газа уменьшает парциальное давление водорода, что в свою очередь улучшает процесс жизнедеятельности ацетат разлагающих метаногенов.

Гидравлические и пассивные механизмы перемешивания, по-видимому, недостаточно изучены в литературе. Большинство исследований посвящено механическим механизмам, основным недостатком которых является высокое энергопотребление, что делает их неэкономичными и непривлекательными для небольших биогазовых установок.

Комбинированные системы перемешивания содержат два и более способа перемешивания, которые работают одновременно, что ведет к повышению энергетических затрат. Однако применение комбинированных систем перемешивания позволяет добиться более равномерного распределения частиц биомассы и температуры по всему объему биореактора и значительно повысить эффективность удельный выход биогаза.

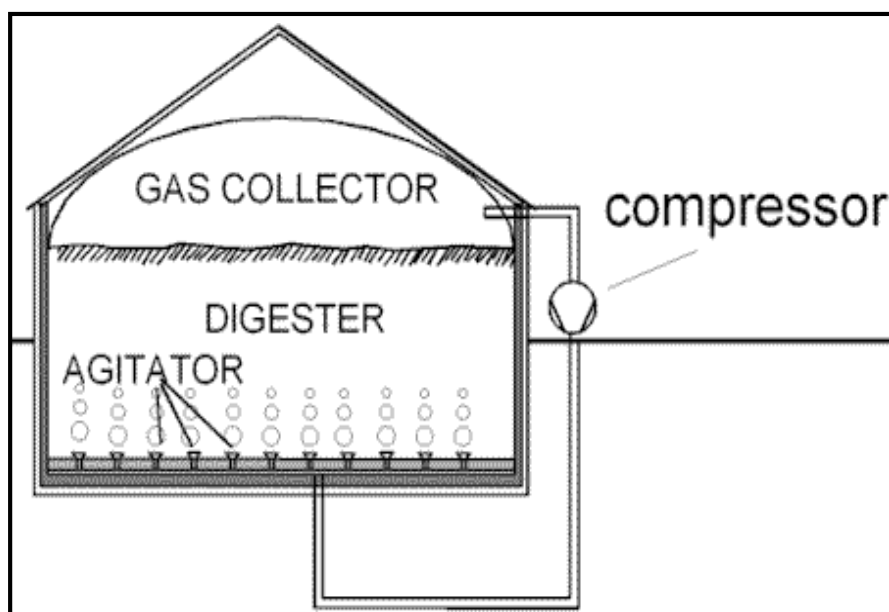


Рисунок 4 - Схема процесса барботажного перемешивания

Однако результаты нескольких исследований по моделированию и перемешиванию показали положительный вклад в работу реактора. Андреас и др. оценили эффективность погружного миксера и наклонной мешалки в распределении питательных веществ на практических исследовательских биогазовых установках Университета Хоэнхайма [19]. Исследование показало, что прямое измерение распределения питательных веществ в реакторе для оптимизации производительности мешалки является многообещающей

стратегией. Тип мешалки и режим перемешивания существенно влияют на концентрацию органических кислот, не связанную с количеством сухого вещества.

Также интересно отметить, что исследования в этой области в последнее время сократились. Сокращение числа опубликованных работ в последнее время еще больше ухудшило бы приемлемость технологии из-за постоянных сбоев. Этот вывод согласуется с более ранними исследованиями о влиянии механизмов перемешивания на маломасштабные биогазовые реакторы [20-22].

Заключение.

Эффективные методы смешивания играют решающую роль в успехе производства биогаза. Содействуя оптимальному разложению, предотвращая образование накипи и расслоение, контролируя температуру и устраняя мертвые зоны внутри варочного котла, правильное смешивание позволяет производителям биогаза оптимизировать свою деятельность и максимизировать выход газа. Внедрение стратегий механического или барботажного смешивания и соответствующей конструкции реактора обеспечивает устойчивый и продуктивный процесс производства биогаза.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Polymetal будет развивать в Казахстане возобновляемые источники энергии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://qazaqgreen.com/journal-qazaqgreen/industry-news/599> /// QazaqGreen, 2022. – № 3 (07). –С. 12-13.
- [2] Как развивается казахстанская биогазовая энергетика? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://eenergy.media/news/14054>
- [3] Обзор перехода Казахстана к сценарию «зеленой» экономики путем увеличения доли возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе- Преобразование сельскохозяйственных отходов в биотепловую энергию. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.unescap.org/sites/default/files/ReviewoftheKazakhstantransitiontotheGreenEconomyscenario-Convertinaggriculturalresiduestobio-heatRus.pdf> Дата доступа: 04.12.2019.
- [4] Д.Н. Есенжол, М. Абдирова, Б.Т. Бахтияр. Применение биогаза в энергетических отраслях// ҚазККА Хабаршысы № 1 (124), 2023.
- [5] Шиловой Е.П. Биогазовые установки. Производство биогаза. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://mcx-consult.ru/biogazovye-ustanovki.-proizvodstvo>
- [6] Костромин, Д.В. Анаэробная переработка органических отходов животноводства в биореакторе с барботажным перемешиванием: дис... канд. техн. наук:05.20.01/ Костромин Денис Владимирович. – Йошкар-Ола, 2010. - 183 с.
- [7] Веденеев, А.Г., Веденева, Т.А. – Б.: Руководство по биогазовым технологиям. - «ДЭМИ», 2011. – 84 с.
- [8] A.O. Jegede, G. Zeeman, H. Bruning, A review of mixing, design and loading conditions in household anaerobic digesters, Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 49 (22) (2019) 2117–2153, <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1607441>.
- [9] D. Deubelin, A. Steinhauser, Biorefineries – Industrial Biological Wastewater Artificial Photosynthesis Renewables - Based beyond Oil and Gas, 2008.
- [10] F. Conti, A. Saidi, M. Goldbrunner, CFD modelling of biomass mixing in anaerobic digesters of biogas plants, Environ. Clim. Technol. 23 (3) (2019) 57–69, <https://doi.org/10.2478/rtuect-2019-0079>.
- [11] A. Babaei, J. Shayegan, Effects of temperature and mixing modes on the performance of municipal solid waste anaerobic slurry digester 09 Engineering 0907

Environmental Engineering 09 Engineering 0904 Chemical Engineering, J. Environ. Heal. Sci. Eng. 17 (2) (2019) 1077–1084, <https://doi.org/10.1007/s40201-019-00422-6>.

[12] M. Carlsson, A. Lagerkvist, F. Morgan-Sagastume, The effects of substrate pre-treatment on anaerobic digestion systems: a review, Waste Manag. 32 (9) (2012) 1634–1650, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.04.016>.

[13] G.M. Wiedemann L, F. Conti, T. Janus, M. Sonnleitner, W. Zörner. Mixing in biogas digesters and development of an artificial substrate for laboratory-scale mixing optimization Chem. Eng. Technol., 40 (2) (2017), pp. 238-247

[14] G.M. Conti F, A. Saidi. Modeling mixing in anaerobic digesters with computational fluid dynamics validated by experiments Environ. Clim. Technol., 23 (3) (2019), pp. 57-69

[15] Кильчукова О. Х., Фиашев А. Г., Хамоков М. М., Темукуев Б. Б. Расчет теплообменного устройства биогазовой установки. Вестник АПК Ставрополя. 2015.

[16] Е.М. Онучин, А.А. Медяков, Р.В. Яблонский. Биогазовая установка с устройством для перемешивания и каталитического обогрева субстрата. -Журнал Альтернативная энергетика и экология, 2010.

[17] Ю. Г. Качан, Ю. В. Курис, И. Н. Левицкая. Процессы перемешивания субстрата в реакторе биогазовой установки. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2009.

[18] Суслов Д.Ю. Перемешивание биомассы в биореакторе получения биогаза. Журнал Эпоха науки, 2015.

[19] A. Lemmer, H.J. Naegele, J. Sondermann. How efficient are agitators in biogas digesters? Determination of the efficiency of submersible motor mixers and incline agitators by measuring nutrient distribution in full-scale agricultural biogas digesters Energies, 6 (12) (2013), pp. 6255-6273

[20] M.M. Uddin, M.M. Wright. Anaerobic digestion fundamentals, challenges, and technological advances Phys. Sci. Rev. (2022),

[21] T. Nevzorova, V. Kutcherov. Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: a state-of-the-art review. Energy Strategy Rev., 26 (2019),

[22] C. Rojas, S. Fang, F. Uhlenhut, A. Borchert, I. Stein, M. Schlaak. Stirring and biomass starter influences the anaerobic digestion of different substrates for biogas production. Eng. Life Sci., 10 (4) (2010), pp. 339-347.

REFERENCES*

[1] Polymetal budet razvivat' v Kazahstane vozobnovljaemye istochniki jenerгии. [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <https://qazaqgreen.com/journal-qazaqgreen/industry-news/599> /// QazaqGreen, 2022. – № 3 (07). –S. 12-13.

[2] Kak razvivaetsja kazahstanskaja biogazovaja jenergetika? [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <https://eenergy.media/news/14054>

[3] Obzor perehoda Kazahstana k scenariju «zelenoj» jekonomiki putem uvelichenija doli vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии v jenergeticheskom balanse- Preobrazovanie sel'skohozjajstvennyh othodov v bioteplovuju jenerгiju. [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <https://www.unescap.org/sites/default/files/ReviewoftheKazakhstantransitiontotheGreenEconomyscenario-Convertingsagriculturalresiduestobio-heatRus.pdf> Data dostupa: 04.12.2019.

[4] D.N. Esenzhol, M. Abdirova, B.T. Bahtijar. Primenenie biogaza v jenergeticheskikh otrasljah// ҚазККА Хабаршысы № 1 (124), 2023.

[5] Shilovoj E.P. Biogazovye ustanovki. Proizvodstvo biogaza. [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: URL: <http://mcx-consult.ru/biogazovye-ustanovki.-proizvodstvo>

[6] Kostromin, D.V. Anajerobnaja pererabotka organicheskikh othodov zhivtnovodstva v bioreaktore s barbotazhnym peremeshivaniem: dis... kand. tehn. nauk:05.20.01/ Kostromin Denis Vladimirovich. – Jashkar-Ola, 2010. - 183 s.

[7] Vedeneev, A.G., Vedeneva, T.A. – B.: Rukovodstvo po biogazovym tehnologijam. - «DJeMI», 2011. – 84 s.

[8] A.O. Jegede, G. Zeeman, H. Bruning, A review of mixing, design and loading conditions in household anaerobic digesters, Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 49 (22) (2019) 2117–2153, <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1607441>.

[9] D. Deubelin, A. Steinhauser, Biorefineries – Industrial Biological Wastewater Artificial Photosynthesis Renewables - Based beyond Oil and Gas, 2008.

[10] F. Conti, A. Saidi, M. Goldbrunner, CFD modelling of biomass mixing in anaerobic digesters of biogas plants, Environ. Clim. Technol. 23 (3) (2019) 57–69, <https://doi.org/10.2478/rtuect-2019-0079>.

[11] A. Babaei, J. Shayegan, Effects of temperature and mixing modes on the performance of municipal solid waste anaerobic slurry digester 09 Engineering 0907 Environmental Engineering 09 Engineering 0904 Chemical Engineering, J. Environ. Heal. Sci. Eng. 17 (2) (2019) 1077–1084, <https://doi.org/10.1007/s40201-019-00422-6>.

[12] M. Carlsson, A. Lagerkvist, F. Morgan-Sagastume, The effects of substrate pre-treatment on anaerobic digestion systems: a review, Waste Manag. 32 (9) (2012) 1634–1650, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.04.016>.

[13] G.M. Wiedemann L, F. Conti, T. Janus, M. Sonnleitner, W. Zörner. Mixing in biogas digesters and development of an artificial substrate for laboratory-scale mixing optimization Chem. Eng. Technol., 40 (2) (2017), pp. 238-247

[14] G.M. Conti F, A. Saidi. Modeling mixing in anaerobic digesters with computational fluid dynamics validated by experiments Environ. Clim. Technol., 23 (3) (2019), pp. 57-69

[15] Kil'chukova O. H., Fiapshev A. G., Hamokov M. M., Temukuev B. B. Raschet teploobmennogo ustrojstva biogazovoj ustanovki. Vestnik APK Stavropol'ja. 2015.

[16] E.M. Onuchin, A.A. Medjakov, R.V. Jablonskij. Biogazovaja ustanovka s ustrojstvom dlja peremeshivaniya i kataliticheskogo obogreva substrata.-Zhurnal Al'ternativnaja jenergetika i jekologija, 2010.

[17] Ju. G.Kachan, Ju. V. Kuris, I. N. Levickaja. Processy peremeshivaniya substrata v reaktore biogazovoj ustanovki. Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij, 2009.

[18] Suslov D.Ju. Peremeshivanie biomassy v bioreaktore poluchenija biogaza. Zhurnal Jepoha nauki, 2015.

[19] A. Lemmer, H.J. Naegele, J. Sondermann. How efficient are agitators in biogas digesters? Determination of the efficiency of submersible motor mixers and incline agitators by measuring nutrient distribution in full-scale agricultural biogas digesters Energies, 6 (12) (2013), pp. 6255-6273

[20] M.M. Uddin, M.M. Wright. Anaerobic digestion fundamentals, challenges, and technological advances Phys. Sci. Rev. (2022),

[21] T. Nevzorova, V. Kutcherov. Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: a state-of-the-art review. Energy Strategy Rev., 26 (2019),

[22] C. Rojas, S. Fang, F. Uhlenhut, A. Borchert, I. Stein, M. Schlaak. Stirring and biomass starter influences the anaerobic digestion of different substrates for biogas production. Eng. Life Sci., 10 (4) (2010), pp. 339-347.

Дина Есенжол, докторант, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, sanat_95_01@mail.ru

Бахтияр Балжан, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, «Zerttey.kz» ЖШС, Алматы, Қазақстан, bahtyar.baljan@mail.ru

Камалхан Сакипов, т.ғ.к., доцент м. а., Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, ksakipov@mail.ru

Гүлжамал Тұрсымбаева, магистр, аға оқытушысы, Қазақ агротехникалық университеті. С.Сейфуллина, Астана, Қазақстан, t.gulazhamal@outlook.com

БИОГАЗ ҚОНДЫРҒЫСЫНДА АРАЛАСТЫРҒЫШ ҚҰРЫЛҒЫНЫ ҚОЛДАНУ

Аңдатпа. Мақалада шағын мал шаруашылықтары үшін биогаз қондырғысында араластырғыш құрылғыны қолдану негіздемесі қарастырылған. Биогаз қондырғыларында биомассаны араластыру жүйелерін талдау ұсынылған. Шағын көлемді биогаз қондырғыларын патенттік іздеу жүргізілді және оңтайлы дизайнды таңдау негізделді, әртүрлі типтегі араластыру жүйелерінің құрылымдық ерекшеліктері мен қолдану аясы қарастырылды. Бұл мақала жасыл технологиялар саласында зерттеу жүргізетін мамандардың назарына лайық.

Түйінді сөздер. Биогаз, биореактор, биомасса, араластыру.

Dina Yessenzhol, doctoral studies, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, sanat_95_01@mail.ru

Bakhtiyar Balzhan, candidate of technical sciences, associate professor, "Zerttey.kz" LLP, Almaty, Kazakhstan, bahtyar.baljan@mail.ru

Kamalkhan Sakipov, candidate of technical sciences, acting associate docent, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, ksakipov@mail.ru

Gulzhamal Tursumbaeva, master, senior lecturer, S. Seifullina Kazakh agrotechnical University, Astana, Kazakhstan, t.gulazhamal@outlook.com

APPLICATIONS OF THE MIXING DEVICE IN A BIOGAS PLANT

Abstract. The article discusses the rationale for the use of a mixing device in a biogas plant for small livestock farms. The analysis of biomass mixing systems in biogas plants is presented. A patent search for small-volume biogas plants was carried out, and the choice of the optimal design was justified. The design features and scope of mixing systems of various types were considered. This article deserves the attention of specialists researching in the field of green technologies.

Keywords. Biogas, bioreactor, biomass, mixing.
