Тип статьи: научная
УДК 631.862
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-65-73

РАЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗНЫХ СТОКОВ СВИНОКОМПЛЕКСОВ НА ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЕ С ВЫРАБОТКОЙ БИОГАЗА

***Юрий Александрович Киров*[1], *Владимир Александрович Киров*[2], *Юлия Зиновьевна Кирова*[3], *Александр Владимирович Петушков*[4]**
[1,2,3,4]*Самарский государственный аграрный университет,*
Самарская область, г.Кинель, Россия
[1]kirov.62@mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-6736-1263
[2]kirovv@mail.ru, http://orcid.org/0000-0003-4824-2343
[3]kirovauz@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3958-7617
[4]3945688@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Юрий Александрович Киров, kirov.62@mail.ru
Corresponding author: Yuri Kirov, kirov.62@mail.ru

Реферат. *Проведен анализ способов и инженерно-технического обеспечения утилизации навозных стоков (НС) свинокомплексов. Наиболее эффективным при утилизации является метод разделения НС на твердую и жидкую фракции и использование каждой в отдельности в качестве ценных органических удобрений. В работе сделан акцент на утилизацию отделенной твердой фракции путем переработки ее в биогаз, который также может использоваться для нужд хозяйств. Обоснована общая система утилизации НС свинокомплексов, как побочных продуктов животноводства и представлена, как их фазовое превращение, от исходного сырья и до конечного продукта. Она содержит последовательность подсистем, определяющих получение дисперсной среды при усреднении навозных стоков, 3 этапа разделение на твердую и жидкую фазы с обеззараживанием, хранение продуктов разделения. получение органических удобрений и биогаза, внесение жидких и твердых органических удобрений в почву. Повышение эффективности процесса утилизации свиноводческих стоков на органические удобрения и биогаз, предусмотрено за счет добавления пивной дробины в обезвоженную массу навоза, что позволяет увеличить интенсивность процесса метаногенеза в метантенке биогазовой установки. Объем выделяемого биогаза при термофильном режиме увеличивается на 9-12%. Проведенные экспериментальные исследования позволили получить графические зависимости влияния времени обработки субстратов двух видов: «навоз» и «навоз+пивная дробина» на объем выхода биогаза.*

Ключевые слова: *навозные стоки, утилизация, разделение на фракции, органические удобрения, биогаз, пивная дробина.*

RATIONAL TECHNOLOGY OF UTILIZATION OF PIG FARM MANURE EFFLUENTS FOR ORGANIC FERTILIZER WITH BIOGAS PRODUCTION

***Yuri Kirov*[1], *Vladimir Kirov*[2], *Yulia Kirova*[3], *Alexander Petushkov*[4]**
[1,2,3,4] *Samara State Agrarian University, Samara region, Kinel, Russia*
[1]kirov.62@mail.ru, http://orcid.org/0000-0001-6736-1263
[2]kirovv@mail.ru, http://orcid.org/0000-0003-4824-2343
[3]kirovauz@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-3958-7617
[4]3945688@mail.ru

Abstract. *An analysis of the methods and engineering and technical support for the disposal of manure waste (NW) of pig farms was carried out. The most effective for disposal is the method of separating NW into solid and liquid fractions and using each separately as valuable organic fertilizers. The emphasis on the utilization of the separated solid fraction by processing it into biogas, which can*

also be used for the needs of farms, is made in the work. The general system of utilization of the NW of pig complexes, as by-products of animal husbandry, is substantiated and presented as their phase transformation, from the feedstock to the final product.. It contains a sequence of subsystems that determine the production of a dispersed medium by averaging manure, 3 stages of separation into solid and liquid phases with disinfection, and storage of separation products. obtaining organic fertilizers and biogas, applying liquid and solid organic fertilizers to the soil. Improving the efficiency of the process of recycling pig waste into organic fertilizers and biogas is provided by adding brewer's grains to the dehydrated manure mass, which makes it possible to increase the intensity of the methanogenesis process in the digester of the biogas plant. The volume of released biogas in thermophilic mode increases by 9-12%. The conducted experimental studies made it possible to obtain graphic dependences of the influence of the processing time of two types of substrates: "manure" and "manure + brewer's grains" on the volume of biogas output.

Keywords: *manure waste, utilization, separation into fractions, organic fertilizers, biogas, beer shot.*

Для цитирования: Киров Ю.А., Киров В.А., Кирова Ю.З., Петушков А.В. Рациональная технология утилизации навозных стоков свинокомплексов на органические удобрения с выработкой биогаза // Наука в Центральной России. 2023. Т. 62, № 2. С. 65-73. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-65-73.

For citation: Kirov Yu, Kirov V., Kirova Yu., Petushkov A. Results of exploration studies of the triere with auto-regulating speed mode. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 62(2): 65-73. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-2-65-73.

Введение. Увеличение производства продукции животноводства, в частности свиного мяса, невозможно без крупных комплексов, предусматривающих промышленные методы выращивания свинины. Содержание животных в подобных свинокомплексах обычно бесподстилочное и предусматривает гидравлические системы навозоудаления. Бесподстилочный навоз с крупных свинокомплексов представляет собой навозные стоки высокой влажности (до 98%). Бесподстилочное содержание животных выгодно в технологическом плане, но навозные стоки (НС), получаемые на выходе со свинокомплекса представляют собой серьезную угрозу для заражения почвы, воды и воздуха. Объем навозных стоков со свинокомплексов промышленного типа велик и может достигать, например, до 2000 м^3/сут с типового свинокомплекса на 108 тыс. голов. Поэтому, утилизация НС свинокомплексов является важной проблемой для аграрного производства [1,2].

Существует большое количество способов утилизации навозных стоков свинокомплексов. Но наиболее эффективным, как показано в работах [3,4] является метод разделения НС на твердую и жидкую фракции и использование каждой в отдельности в качестве ценных органических удобрений. Разработка технологии утилизации навоза свинокомплексов, обладающей большой производительностью и высокой эффективностью, с соблюдением санитарно-гигиенических и зоотехнических требований, является приоритетной задачей для производства продукции животноводства [5]. Пофракционное использование НС включает их переработку и подготовку к утилизации в качестве органических удобрений, но поскольку отделенная твердая фракция обладает еще и хорошими свойствами к метаногенезу, важным при её переработке является выработка биогаза и использование его для нужд хозяйства [6].

Общую систему утилизации Нс свинокомплексов (рисунок 1), как побочных продуктов животноводства, можно представить, как их фазовое превращение, от исходного сырья и до конечного продукта, содержащую последовательность подсистем:

- подсистема №1 - удаление с помощью гидравлических систем, одновременное смешивание и усреднение навозных стоков, путем барботажа, получение дисперсной среды, состоящей из взвешенных твердых частиц навоза и жидкой фазы;
- подсистема №2 - первичное разделение дисперсной среды (навозных стоков влажностью 98%) на твердую и жидкую фракции, или предварительное сгущение исходной массы навозных стоков;

- подсистема №3 - вторичное разделение на твердую и жидкую фракции предварительно сгущенной массы НС, и получение твердой фракции пригодной для дальнейшего биотермического обеззараживания (для свиного навоза – 65…70% влажности);
- подсистема №4 - окончательное разделение на твердую и жидкую фракции отделенной жидкой фракции НС, с использованием процессов обеззараживания осветленной фазы;
- подсистема №5 - хранение полученных продуктов разделения;
- подсистема №6 - приготовление из полученных твердых фракций НС органического удобрения путем анаэробного сбраживания в метантенке с добавлением пивной дробины, как усиливающей интенсивность процесса метаногенеза, а также приготовление жидких органических удобрений, путем гомогенизации отделенной жидкой фракции навозных стоков в лагуне-новозохранилище;
- подсистема №7 - внесение твердых и жидких органических удобрений в почву.

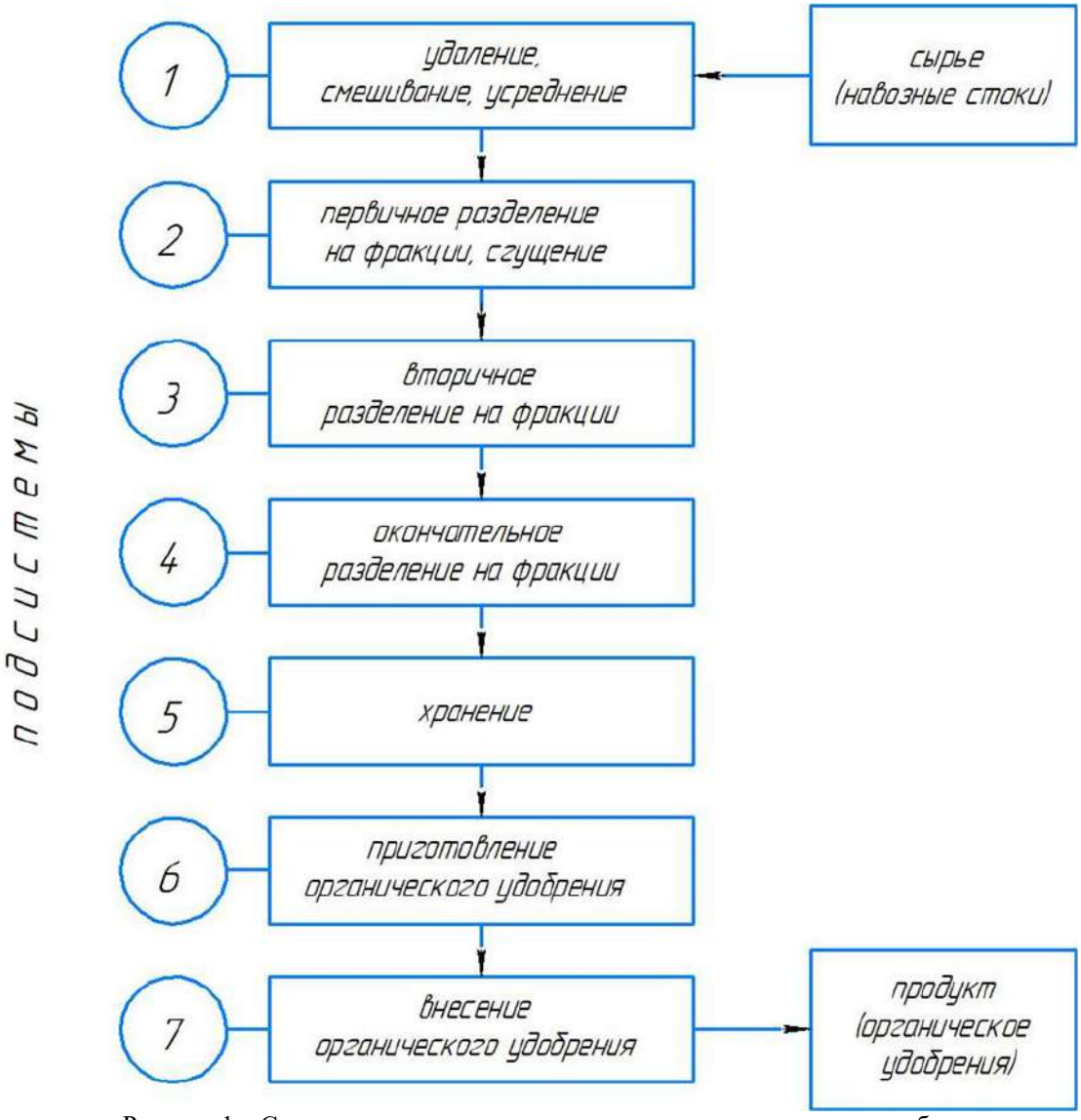

Рисунок 1 – Система утилизации навозных стоков на органические удобрения

Анализ научно-технической и специальной литературы, а также патентные исследования позволили выявить ряд способов утилизации НС животноводческих комплексов, которые обладают эффективностью, качеством получаемых твердых и жидких органических удобрений и небольшими трудовыми и эксплуатационными затратами [7].

Известные технологические схемы обработки сточных вод свиноводческих комплексов с бесподстилочным содержанием животных включают по крайней мере три стадии очистки [8,9]:

1. Механическая очистка;
2. Разделение на твердую и жидкую фракции;
3. Биологическая очистка.

Выбор оптимального технологического оборудования позволяет повысить эффективность процесса очистки животноводческих стоков, существенно снизить трудовые и эксплуатационные затраты на утилизацию стоков, а также улучшить экологическую обстановку вокруг свиноводческого комплекса.

Для первой стадии очистки животноводческих стоков рекомендуется применять решетки, сита, гидроциклоны, сгустители, которые имеют цель предварительного снижения влажности исходных навозных стоков.

Для второй стадии применяется большое многообразие технологического оборудования, причем разделение навозных стоков на фракции определяется двумя основными принципами – осаждением и фильтрованием. Наиболее эффективно показали себя в работе фильтрующие и осадительные центрифуги, гравитационные и динамические фильтры, сепараторы.

Биологическая очистка, в основном, заключается в обработке жидкой фракции НС путем насыщения воздухом в аэротенке с добавлением активного ила.

Недостатками способов и технологий для утилизации навозных стоков является несогласованность операций по этапам между различными требованиями (санитарно-гигиеническими, зоотехническими, экологическими) к процессу получения из них органических удобрений и существующими способами и техническими средствами для обеспечения этих требований.

Основным недостатком существующих способов является то, что отделенная на фильтрующей центрифуге твердая фаза навоза, осадок тонкослойного отстаивания и флотационный шлам, представляющие собой твердую биомассу не могут вноситься в почву в качестве органического удобрения, а требуют длительного выдерживания [10].

Результаты и их обсуждение. Проведенный анализ способов и инженерно-технического обеспечения утилизации НС свинокомплексов позволил определить научные предпосылки для повышения эффективности процесса обработки и утилизации навозных стоков, пути совершенствования инженерно-технических средств и, тем самым, разработать рациональную технологию приготовления органических удобрений с выработкой биогаза на свинокомплексе.

Рациональная технология утилизации НС на органические удобрения с выработкой биогаза свинокомплексов по новому способу отражена на рисунке 2.

Поступающие со свиноводческого комплекса НС собираются в приемном резервуаре 1 и подаются в сгуститель 2 для удаления избыточной влаги. Обезвоженные НС с влажностью 88-89% далее поступают на вторичное разделение в цилиндрическую горизонтальную непрерывно действующую фильтрующую центрифугу 3, где их влажность снижается до 65-70%. После сгустителя 2 жидкая фракция НС и жидкая фаза, полученная после фильтрования в центрифуге 3, пропускается через ферровихревой слой электромагнитного аппарата 4, и далее поступает в зону тонкослойного осаждения отстойника 5, где за счет седиментационных сил из жидкой навозной массы осаждаются взвешенные твердые частицы навоза, а осветленная фракция по напорному трубопроводу поступает во флотатор 6, в котором происходит электролиз тонкодисперсной фракции НС и, благодаря которому на поверхность электрофлотатора выделяются агрегатные комплексы «пузырек газа+твердая частица навоза», тем самым образуя пену с частицами навозных стоков - флотационный шлам [11].

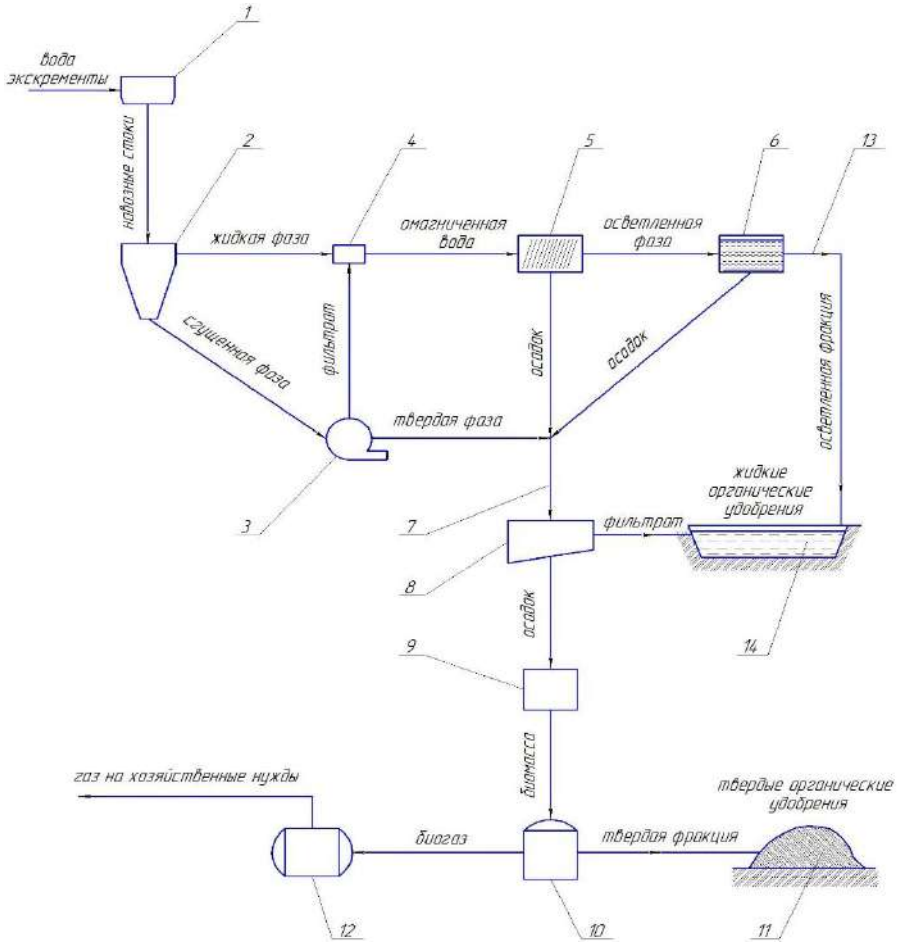

Рисунок 2 – Схема технологии приготовления органических удобрений с выработкой биогаза на свинокомплексе (патент РФ № 2787785)

Твердая фракция НС, образованная после сгущения в центробежном поле сгустителя и обезвоженная на фильтровальной поверхности непрерывной горизонтальной цилиндрической центрифуги 3, осадок твердых взвешенных части навоза, осажденный в тонком слое отстойника 5 и флотационный шлам после флотации путем электролиза во флотаторе 6 по транспортеру 7 собираются в накопителе бункерного типа 8.

В накопителе бункерного типа 8 собирались: твердая фракция НС, образованная после сгущения в центробежном поле сгустителя и обезвоженная на фильтровальной поверхности непрерывной горизонтальной цилиндрической центрифуги 3; осадок твердых взвешенных части навоза, осажденный в тонком слое отстойника 5; флотационный шлам после электролиза во флотаторе 6 по транспортеру 7

Затем накопленный в бункере твердый навоз обезвоженный на стадиях обработки новой технологической линии подается в питатель пивной дробины 9, где смешивается с последней в соотношении 15% от объема навоза и в виде подготовленного субстрата подается в метантенк биогазовой установки 10, где протекает процесс метаногенеза, из которого периодично выгружаются и складируются на специальной площадке 11 для хранения твердых органических удобрений, соответствующих санитарно-гигиеническим требованиям и пригодных для внесения в почву в качестве ценного органического удобрения. Образованный в метантенке биогазовой установки 10 биогаз перекачивается в газгольдер 12 для хранения и использования на хозяйственные нужды. Очищенная после электрофлотатора 6 сточная вода, содержащая

количество взвешенных твердых частиц, соответствующих санитарно-гигиеническим требованиям, сливается по трубопроводу 13 в лагуну-навозохранилище 14, где хранится до полного обеззараживания, а затем готовое жидкое органическое удобрение путем гомогенизации и перекачки вноситься на поля [11].

Подсистема №6 - Приготовление органических удобрений включает в себя накопитель-бункер, биогазовую установку (рисунок 3), где происходит процесс анаэробного сбраживания, газгольдер для накопления и хранения образованного в результате метаногенеза биогаза и транспортирующий механизм для удаления переработанного субстрата твердого навоза на площадку для хранения.

Рисунок 3 – Экспериментальная биогазовая установка

Повышение эффективности процесса утилизации свиноводческих НС на органические удобрения и биогаз, предусмотрено за счет того, что объем навоза в накопителе-бункере, содержащий твердую фазу из фильтрующей центрифуги, осадок взвешенных твердых частиц из тонкослойного отстойника и флотационный шлам из электрофлотатора, поступает в питатель пивной дробины, где смешивается с последней в соотношении 15% от объема навоза и в виде общего субстрата подается в метантенк биогазовой установки для анаэробного сбраживания. За счет добавления пивной дробины в обезвоженную биомассу навоза при термофильном режиме повышается интенсивность процесса метаногенеза в метантенке и на 9-12% увеличивается объем выделяемого биогаза.

Проведенные экспериментальные исследования позволили получить графические зависимости влияния времени обработки субстратов двух видов: «навоз» и «навоз+пивная дробина» на объем выхода биогаза (рисунок 4).

Анализируя полученные зависимости, можно увидеть, что объем выхода биогаза у субстрата и «навоз+пивная дробина» выше, чем у субстрата «навоз», причем существенная разница в получаемых объема биогаза наблюдалась на пятые сутки обработки в метантенке биогазовой установки.

Для определения количественного состава исследуемого субстрата «навоз+пивная дробина» проводились экспериментальные исследования, условиями которых определялись качественные

показатели получения биогаза у субстрата «навоз+пивная дробина» при различных вариантах процентного добавления пивной дробины в навоз обрабатываемый в метантенке биогазовой установки (рисунок 5).

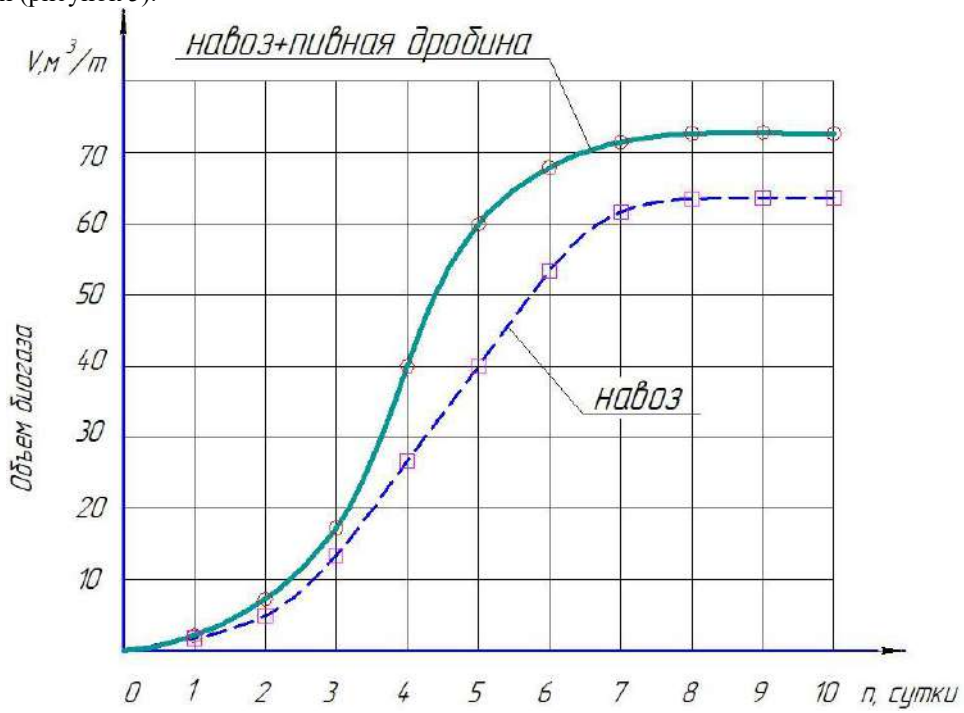

Рисунок 4 – Зависимости объема выхода биогаза (V, м^3/т) от времени обработки в метантенке (n,сут) при вариантах субстрата: «навоз» и «навоз+пивная дробина»

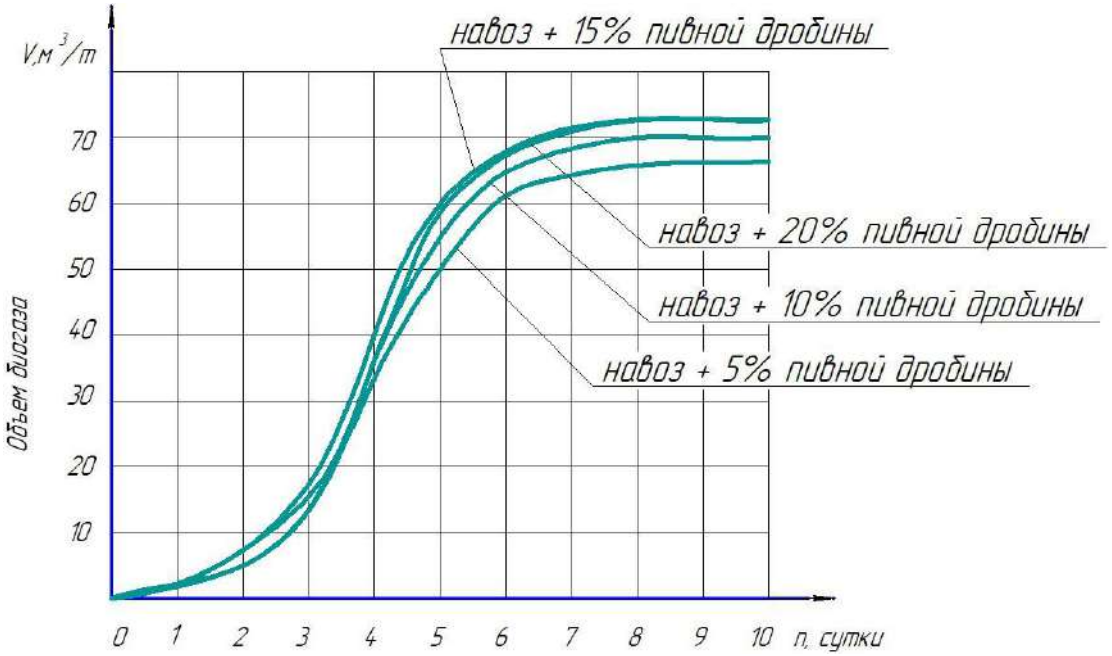

Рисунок 5 – Зависимости объема выхода биогаза (V, м3/т) от времени обработки в метантенке (n,сут) при варианте субстрата «навоз+пивная дробина»
различной концентрации пивной дробины: 5%, 10%, 15% и 20%.

Анализируя полученные графические зависимости видно, что оптимальным значением процентного содержания пивной дробины, добавляемой через питатель в метантенк биогазовой установки, можно считать 15%. При дальнейшем увеличении пивной дробины в субстрате существенных повышений значений выделяемого биогаза не происходит.

Заключение. Обоснованная общая система утилизации навозных стоков свинокомплексов, как побочных продуктов животноводства, представляет совокупность взаимосвязанных подсистем фазового превращения. Обоснована новая рациональная технология приготовления органических удобрений с выработкой биогаза из навозных стоков, на которую получен патент РФ. Использование подсистемы №6 позволяет увеличить интенсивность процесса метаногенеза в метантенке биогазовой установки, что при термофильном режиме сокращает на сутки процесс выработки биогаза, и на 9-12% увеличивает объем выделяемого биогаза. Тем самым, сокращается время приготовления твердых органических удобрений из навозных стоков и увеличивается объем вырабатываемого биогаза. Определены графические зависимости влияния на эффективность выхода биогаза из субстрата «навоз+пивная дробина» и её оптимальные значения.

Список источников

1. Тиво П.Ф., Анженков А.С., Саскевич Л.А., Бут Е.А. Анализ современных технологий использования животноводческих стоков // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017. № 3(81). С. 54-63.
2. Гриднев П.И., Гриднева Т.Т. Влияние технологических и технических решений на функционирование систем утилизации навоза // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019. № 4(36). С. 24-32.
3. Универсальная безотходная технология и средства переработки птичьего помета в органическое удобрение и добавки в корм животным / В. А. Мыскин, В. П. Капустин, Ю. В. Родионов, И. В. Иванова // Наука в центральной России. 2018. № 3(33). С. 57-64.
4. Технология глубокой переработки жидкого навоза и навозных стоков свиноводческих предприятий / А. М. Бондаренко, Б. Н. Строгий, Л. С. Качанова, С. Г. Иващенко // Вестник АПК Ставрополья. 2015. № 1(17). С. 11-16.
5. Яковлева Е. В., Набокина О. Я., Куракина В. Н. Биогазовая установка как способ решения проблемы утилизации отходов промышленного животноводства // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017. № 5(67). С. 231-233.
6. Житков В. В., Ермолаев С. В. Энергоэффективная переработка пивной дробины в биогаз // Пиво и напитки. 2020. № 4. С. 25-28.
7. Технология и технические средства для обеспечения экологической и технической безопасности на животноводческих комплексах (теория и расчет): / Ю. А. Киров, В. А. Мухин, Ю. А. Савельев [и др.]. – Кинель: Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2018. – 156 с.
8. Патент № 2474102 C1 Российская Федерация, МПК A01C 3/00. Способ переработки животноводческих стоков: № 2011130105/13: заявл. 19.07.2011: опубл. 10.02.2013 / Ю. А. Киров, Д. Р. Костерин, Т. Ю. Козлова [и др.].
9. Патент № 2688410 C1 Российская Федерация, МПК A01C 3/00. Способ переработки животноводческих стоков: № 2018105235: заявл. 12.02.2018: опубл. 21.05.2019 / Ю. А. Киров, В. А. Киров, Ю. З. Кирова [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Самарская государственная сельскохозяйственная академия".
10. Утилизация отходов животноводства с получением биогаза / А. К. Апажев, Б. А. Фиапшев, А. А. Кумахов [и др.] // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65, № 5.

Патент № 2787785 C1 Российская Федерация, МПК A01C 3/00, C05F 3/00. Способ утилизации животноводческих стоков на органические удобрения и биогаз: № 2022110781: заявл. 21.04.2022: опубл. 12.01.2023 / Ю. А. Киров, В. А. Милюткин, Д. Н. Котов [и др.]; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Самарский государственный аграрный университет".

References

1. Tivo P.F., Anzhenkov A.S., Saskevich L.A., But E.A. Analysis of modern technologies for the use of livestock waste // Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Mechanization of Livestock Breeding. 2017. No. 3(81). pp. 54-63.

2. Gridnev P.I., Gridneva T.T. Influence of technological and technical solutions on the functioning of manure utilization systems // Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Livestock Mechanization. 2019. No. 4(36). pp. 24-32.

3. Myskin V. A., Kapustin V. P., Rodionov Yu. V., Ivanova I. V. Universal non-waste technology and means of processing bird droppings into organic fertilizer and animal feed additives // Science in Central Russia. 2018. No. 3(33). pp. 57-64.

4. Bondarenko A. M., Strogiy B. N., Kachanova L. S., Ivashchenko S. G. Technology of deep processing of liquid manure and manure from pig-breeding enterprises // Bulletin of the APK of Stavropol. 2015. No. 1(17). pp. 11-16.

5. Yakovleva E. V., Nabokina O. Ya., Kurakina V. N. Biogas plant as a way to solve the problem of industrial livestock waste disposal // Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. 2017. No. 5(67). pp. 231-233.

6. Zhitkov VV, Ermolaev SV Energy-efficient processing of brewer's grains into biogas // Beer and drinks. 2020. No. 4. S. 25-28.

7. Technology and technical means for ensuring environmental and technical safety at livestock complexes (theory and calculation): / Yu. A. Kirov, V. A. Mukhin, Yu. A. Savelyev [and others]. - Kinel: Samara State Agricultural Academy, 2018. - 156 p.

8. Patent No. 2474102 C1 Russian Federation, IPC A01C 3/00. Method for processing livestock waste: No. 2011130105/13: Appl. 07/19/2011: publ. February 10, 2013 / Yu. A. Kirov, D. R. Kosterin, T. Yu. Kozlova [and others].

9. Patent No. 2688410 C1 Russian Federation, IPC A01C 3/00. Method for processing livestock waste: No. 2018105235: Appl. 02/12/2018: publ. May 21, 2019 / Yu. A. Kirov, V. A. Kirov, Yu. Z. Kirova [and others]; the applicant is a federal state budgetary educational institution of higher education "Samara State Agricultural Academy".

10. Apazhev A. K., Fiapshev B. A., Kumakhov A. A. Utilization of animal waste with biogas production // International Agricultural Journal. 2022. V. 65, No. 5.

11. Patent No. 2787785 C1 Russian Federation, IPC A01C 3/00, C05F 3/00. The method of utilization of livestock effluents for organic fertilizers and biogas: No. 2022110781: Appl. 04/21/2022: publ. January 12, 2023 / Yu. A. Kirov, V. A. Milyutkin, D. N. Kotov [et al.]; the applicant is a federal state budgetary educational institution of higher education "Samara State Agrarian University".

Информация об авторах

Ю.А. Киров – доктор технических наук, доцент; В.А. Киров – кандидат технических наук, доцент; Ю.З. Кирова – кандидат педагогических наук; А.В. Петушков – аспирант.

Information about the authors

Yu. Kirov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; V. Kirov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Yu. Kirova – Candidate of Pedagogical Sciences; A. Petushkov – postgraduate student.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication*.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 15.03.2023 Принята к публикации (Accepted): 26.04.2023