

риала в исследуемом объёме вследствие приведения последнего к одинаковой плотности. При дальнейшем увеличении статического момента дебаланса, значение насыпной плотности исследуемых кормов продолжает увеличиваться, однако данный процесс происходит более замедленно, постепенно приближаясь к асимптотическому значению.

Таким образом, экспериментально, методом единственного различия установлены рациональные параметры исследуемых факторов, при которых обеспечивается более близкое к оптимальному значению уплотнения силосной массы: $p = 3200 - 4800 \text{ кг/м}^2$, $M_{ст.} = 9,4 - 11,4 \text{ кг}\cdot\text{см}$, $n = 1200 - 3000 \text{ мин}^{-1}$). При таких параметрах вынуждающая сила вибратора (формула 1) составит $F_{ви.} = 1,5 - 11,2 \text{ кН}$, а плотность силосной массы будет находиться в пределах от 640,0 до 680 кг/м³.

Заключение

Экспериментальными исследованиями доказана эффективность статических и переменных динамических нагрузок на процесс уплотнения кормов. Установлено, что роль переменных динамических нагрузок, создаваемых вибрацией, сводятся не только к тому, чтобы облегчить процесс уплотнения кормовой массы, но и обеспечить дозаполнение их свободных зон, приводя общий объём последних к одинаковой плотности. Это позволило ускорить процесс уплотнения силосной массы в 3–6 раза, повысить их плотность на 14–24% и, соответственно, снизить потери кормов.

Список использованных источников

1. Привалов, Ф. И. Стратегия развития кормопроизводства до 2020 года / Ф. И. Привалов // Земледелие и защита растений. – 2017. – № 1. – С. 68.
2. Силос из кормовых растений. Общие технические условия: ГОСТ 55986–2014. – Введ. 01.07.2015. – Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2014. – 10 с.
3. Протокол № 020 Б1/4–2016 приемочных испытаний агрегата для распределения и уплотнения кормов в хранилищах АРУК-5 / ГУ «Белорусская МИС». – Привольный, 2016. – 73 с.
4. Промышленные вибраторы. Виброоборудование: Ярославский завод «Красный маяк» / каталог продукции, 2012 – 33 с.

УДК 63:(620.95:631.86)

Поступила в редакцию 11.06.2019
Received 11.06.2019

В. А. Тарас, Н. Ф. Капустин, В. В. Величко

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: belagromech@tut.by*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫХОДА МЕТАНА ПРИ АНАЭРОБНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ РАПСОВОЙ СОЛОМЫ В СМЕСЯХ С НАВОЗОМ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА (КРС) ПРИ РАЗЛИЧНОМ ЕЁ СООТНОШЕНИИ

В результате выполненных исследований определен выход метана при анаэробном разложении соломы рапса яровой и озимой форм вегетации сортов белорусской селекции в смеси с навозом КРС в различных соотношениях, проведен сравнительный анализ энергопотенциала исследованных субстратов и скорости извлечения метана из них. Установлено, что рапсовая солома в смеси с навозом КРС может быть использована в качестве субстрата для выработки биогаза, но, для реализации максимального энергетического потенциала, её содержание в смеси не должно превышать 40% по органическому сухому веществу. При более высоком содержании ее в смеси – отмечено снижение скорости извлечения метана и его удельного выхода.

Ключевые слова: рапсовая солома, выход метана, биогазовые установки, навоз КРС, энергопотенциал.

V. A. Taras, N. F. Kapustin, V. V. Velichko

RUE «SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: belagromech@tut.by

RESEARCH OF METHANE YIELD FROM RAPE STRAW AND CATTLE MANURE MIXTURE IN VARIOUS PROPORTIONS UNDER CONDITIONS OF ANAEROBIC DIGESTION

The methane yield from spring and winter rape straw in mixture with cattle manure in various proportions during anaerobic decomposition was determined as result of the research. Also energy potential comparative analysis and methane yield speed analysis of this various mixtures was made.

It was established that rape straw mixed with cattle manure can be used as a substrate for biogas production but to realize the maximum energy potential its content in the mixture should not exceed 40% of organic dry matter. With a higher content of rape straw in the mixture a decrease of methane yield and its production speed was observed.

Keywords: rape straw, methane yield, biogas plants, cattle manure, energy potential.

Введение

Основным сырьем для биогазовых установок на сельхозпредприятиях Республики Беларусь являются животноводческие отходы, в частности навоз крупного рогатого скота (КРС), отличающийся высоким содержанием азотистых веществ. Однако, для эффективной биоферментации требуется соблюдать определенное соотношение содержания в исходной смеси органического сырья углерода к азоту (C:N). Если соотношение C:N мало, то при анаэробной биоконверсии образуется большое количество аммиака, которое становится токсичным для микрофлоры процесса ферментации. Если соотношение C:N велико, то недостаток азота ограничивает процесс метанового брожения. Разные авторы называют различные цифры оптимального соотношения C:N – от 15 до 30. При этом следует иметь в виду, что в процессе метанового брожения соотношение C:N меняется, так как углерод (до 40% и более) выделяется с биогазом, а азот остается в сброженной биомассе и удаляется только при выгрузке сброженного субстрата. Критерием оптимального соотношения C:N служит выход биогаза (метана) [1]. Для регулирования соотношения C:N и повышения энергоэффективности биогазовой установки к животноводческим отходам требуется добавлять растительное сырье, отличающееся повышенным содержанием углерода.

Перспективным растительным сырьем для биогазовых установок может быть рапсовая солома, не очень эффективно используемая в сельскохозяйственном производстве по ряду объективных причин, при условии ее должной подготовки. Солома является побочным продуктом при выращивании зерновых культур, которые можно использовать в качестве энергоисточника в биогазовых установках. В среднем 1 т рапсовой соломы содержит около 5 кг азота, 1,5 кг фосфорного ангидрида, 9 кг окиси калия, 780 кг органических соединений (преимущественно целлюлозы) [2]. Солома представляет собой сравнительно однородный субстрат с высоким содержанием углерода (соотношение углерода к азоту в рапсовой соломе составляет 55:1) и по этому показателю весьма привлекательна как источник энергии [3]. Недостатком при этом является содержание в ней большого количества тяжело разлагаемого лигнина.

В связи с этим, исследование процесса анаэробной ферментации и отработка её соотношения в смеси с животноводческими отходами для использования в качестве сырья для биогазовой установки, является актуальной задачей по повышению эффективности применения рапсовой соломы в сельскохозяйственном производстве и будут способствовать развитию биогазовых технологий в республике и использованию в сельскохозяйственном производстве местных и возобновляемых энергоисточников.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования являлись смеси соломы ярового и озимого рапса сортов белорусской селекции (Гедимин и Империял соответственно) с навозом КРС в различных соотношениях. Варьирование соотношений рапсовой соломы и навоза КРС осуществляли по органическому

сухому веществу (ОСВ). Выбранные соотношения по содержанию сухих веществ, массовые соотношения рапсовой соломы и навоза КРС, а также содержание сухих и органических сухих веществ в исследуемых смесях приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. – Исследуемые соотношения рапсовой соломы и навоза КРС

Соотношение по содержанию ОСВ: % навоза КРС/% рапсовой соломы	Соотношение по массе в смеси: % навоза КРС/% рапсовой соломы	Содержание СВ в смеси, %	Содержание ОСВ в смеси, %
Навоз КРС + яровая рапсовая солома			
75/25	97,39/2,61	10,55	9,22
60/40	94,96/5,04	12,62	11,23
50/50	92,55/7,45	14,59	13,14
40/60	89,23/10,77	17,36	15,84
Навоз КРС + озимая рапсовая солома			
75/25	97,43/2,57	10,51	9,22
60/40	95,00/5,00	12,54	11,24
50/50	92,67/7,33	14,47	13,16
40/60	89,39/10,60	17,20	15,86

Выход метана при анаэробном ферментировании исследуемых смесей рапсовой соломы и навоза КРС определяли с помощью лабораторного биопроцессконтроллера (рис. 1) AMPTS II, представляющий собой автоматическую систему по определению потенциала метана исследуемых субстратов, а также скорости извлечения метана из них.



Рис. 1. – Автоматический биопроцессконтроллер по определению выхода метана в процессе анаэробного сбраживания органического сырья

Результаты исследований

Для сравнительной характеристики исследуемых смесей рапса с навозом КРС оценивали динамику удельного выхода метана с нарастающим итогом, выделившегося при анаэробной ферментации на биопроцессконтроллере AMPTS II из исследованных смесей соломы рапса различных видов и навоза КРС в соотношениях согласно табл. 1 за весь цикл биоферментации (60 дней). Данные для соломы рапса различных форм вегетации представлены на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

Сравнительный анализ удельного выхода метана, выделившегося при анаэробном разложении образцов рапсовой соломы в смеси с навозом КРС в различных соотношениях за 60 суток ферментирования представлен на рис. 4.

Как видно из представленных данных, максимальный суммарный удельный выход метана на единицу массы органического сухого вещества, наблюдался при ферментации смеси, состоящей по ОСВ из 25% рапсовой соломы и 75% навоза КРС, и составлял 238,87 м³/т ОСВ и 217,71 м³/т ОСВ для рапсовой соломы яровой и озимой форм вегетации соответственно. С увеличением

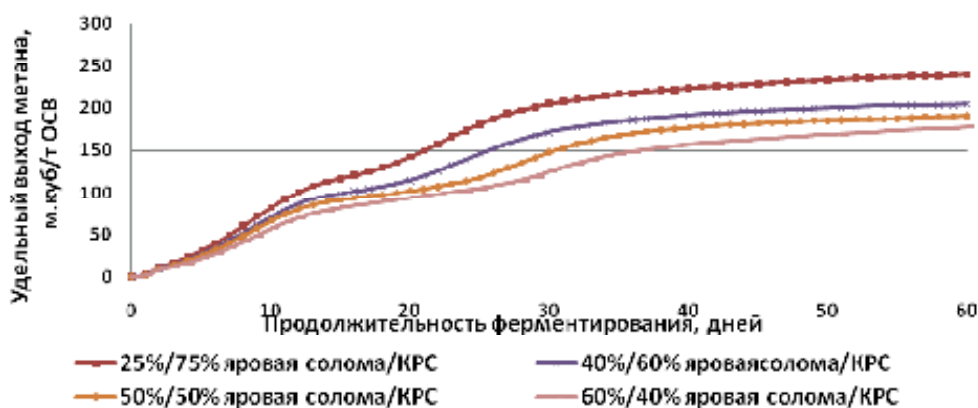


Рис. 2. – Динамика удельного выхода метана с нарастающим итогом, выделившегося при анаэробной ферментации образцов соломы яровой рапса в смеси с навозом КРС в различных соотношениях по ОСВ

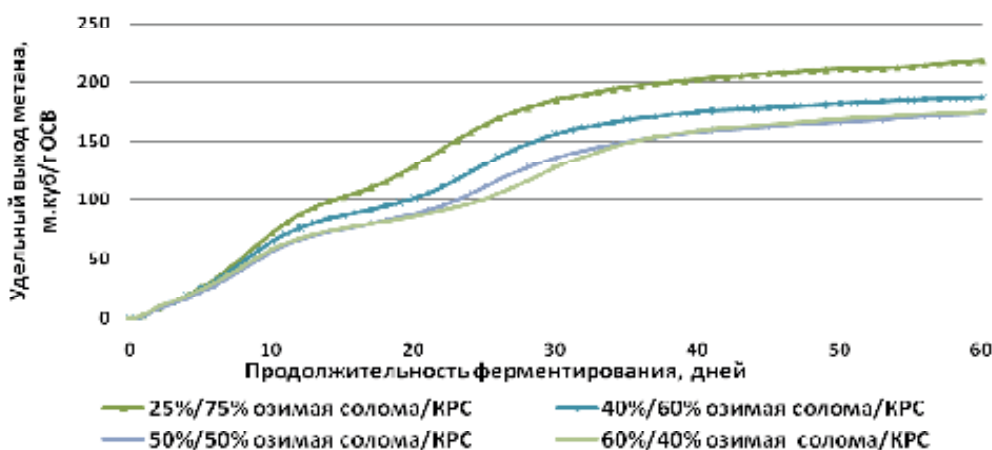


Рис. 3. – Динамика удельного выхода метана с нарастающим итогом, выделившегося при анаэробной ферментации образцов соломы озимого рапса в смеси с навозом КРС в различных соотношениях по ОСВ

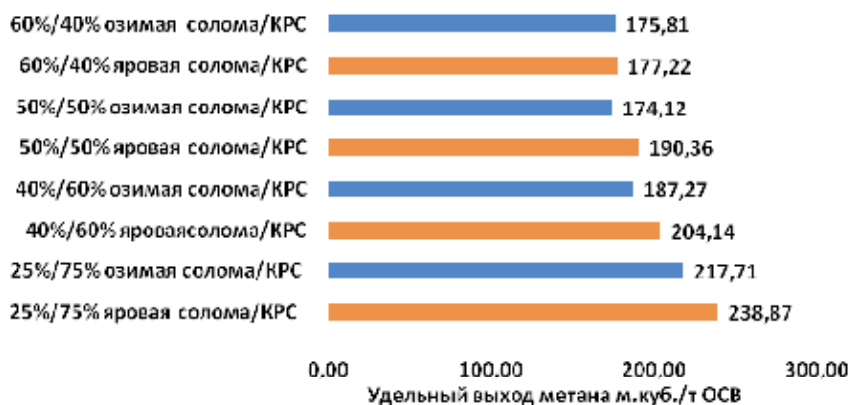


Рис. 4. – Удельный выход метана при анаэробном разложении образцов рапсовой соломы различных форм вегетации в смеси с навозом КРС в различных соотношениях по ОСВ

содержания в смеси рапсовой соломы – отмечено снижение анализируемого показателя. Так, для смеси, состоящей из 40% рапсовой соломы и 60% навоза, КРС по ОСВ удельный выход метана составил 204,14 и 187,27 м³/т ОСВ для яровой и озимой форм вегетации соломы рапса соответственно, в смеси, состоящей из 50% рапсовой соломы и 50% навоза КРС по ОСВ – 190,36 и 174,12 м³/т ОСВ соответственно. В случае ферментации смеси, состоящей из 40% навоза и 60% соломы по ОСВ, удельный выход метана был самый низкий для яровой рапсовой соломы и составил 177,22 м³/т ОСВ. В случае ферментирования в таком соотношении озимой рапсовой соло-

мы, удельный выход метана составил 175,81 м³/т ОСВ, что незначительно в пределах погрешности метода исследования выше, чем для смеси, состоящей из 50% рапсовой соломы и 50% навоза КРС по ОСВ.

Также отмечены более высокие значения удельного выхода метана для рапсовой соломы яровой формы вегетации. Причем разница в удельном выходе метана для рапсовой соломы различных форм вегетации увеличивается при увеличении содержания в смеси навоза КРС, то есть при снижении содержания сухих веществ в смеси и органической нагрузки на единицу объема системы. Так, для смеси, состоящей по ОСВ из 25% рапсовой соломы и 75% навоза КРС, разница в выходе метана между рапсовой соломой яровой и озимой форм вегетации составила 21,16 м³/т ОСВ; а в случае ферментации смеси, состоящей из 40% навоза и 60% соломы – 1,41 м³/т ОСВ.

Изучена кинетика метановыделения при протекании процесса сбраживания исследуемых смесей рапсовой соломы с навозом КРС. Скорость выработки метана (м³·сут /т ОСВ) представлена на рис. 5.

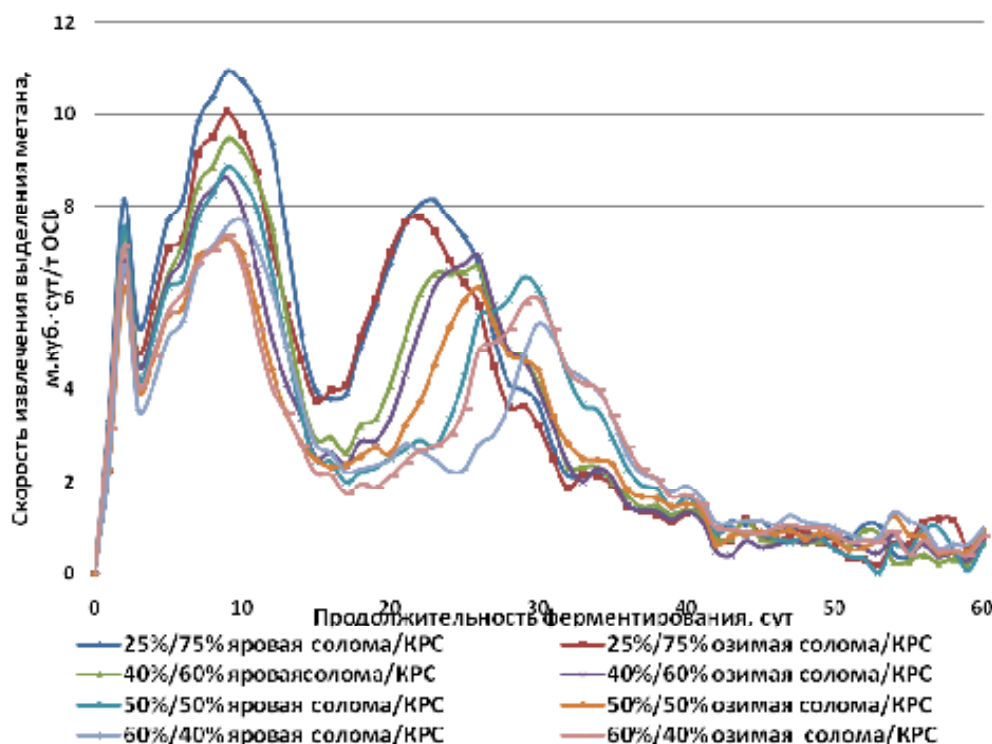


Рис. 5. – Скорость выработки метана в сутки при анаэробной ферментации образцов рапсовой соломы в смеси с навозом КРС в различных соотношениях по ОСВ

При анализе скорости извлечения метана из образцов соломы ярового и озимого рапса также отмечено снижение скорости извлечения метана из смеси навоза КРС и рапсовой соломы при увеличении содержания соломы в смеси, то есть при увеличении содержания в ней сухих веществ. Скорость извлечения метана была максимальной на 9–10-е сутки для всех образцов, причем отмечены более высокие её значения при ферментировании рапсовой соломы яровой формы вегетации. То есть, отмечено замедление процесса метанообразования при увеличении содержания сухих веществ, а, следовательно, и органической нагрузки системы. В период 22–29-х суток наблюдалось повторное увеличение скорости метановыделения, однако, в данном случае, исследуемый показатель был выше для смеси, содержащей яровую форму вегетации соломы только при её содержании в смеси 25%. Для смесей содержащих 40–50% соломы, скорость извлечения метана мало зависела от формы вегетации, а для смеси с 60%-ым содержанием соломы – была выше у озимой рапсовой соломы. Для смесей, содержащих большее количество соломы, анализируемый показатель увеличивался в меньшей степени и позже – на 25–29 сутки ферментации.

Повторное увеличение скорости извлечения метана обусловлено более поздней биодоступностью трудноферментируемого сырья, которым является рапсовая солома.

Заключение

1. Рапсовая солома в смеси с навозом КРС может быть использована в качестве субстрата для выработки биогаза, но для реализации максимального энергетического потенциала её содержание в смеси не должно превышать 40% по ОСВ.

2. Удельный выход метана при ферментации смесей, содержащих рапсовую солому яровой формы вегетации, был выше, чем для смесей, содержащих озимую форму вегетации.

3. Разница в удельном выходе метана для рапсовой соломы различных форм вегетации увеличивается при увеличении содержания в смеси навоза КРС, то есть при снижении органической нагрузки на единицу объема системы.

4. Кривая скорости извлечения метана имеет два значительных пика – на 9–10-е сутки, и на 22–29-е сутки ферментирования, что объясняется более поздней биодоступностью трудноферментируемого сырья, которым является рапсовая солома.

Список использованных источников

1. Дубровский, В. С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов / В. С. Дубровский, У. Э. Виестур. – Рига: Зинатне, 1988. – 204 с.

2. Биогазовые установки. Практическое пособие [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://zorgbiogas.ru/upload/pdf/Biogas_plants_Practics.pdf. – Дата доступа: 01.03.2019.

3. Солома на удобрение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agro.gomel.by/docs/soloma>. – Дата доступа: 01.03.2019.

УДК 631.626.1/311.51

Поступила в редакцию 09.07.2019

Received 09.07.2019

А. Н. Юрин, С. П. Кострома, И. Е. Мажугин

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: anton-jurin@rambler.ru

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КАНАЛОКОПАТЕЛЕЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФИЛЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ

Анализ существующих конструкций рабочих органов каналокопателей для формирования профиля мелиоративных каналов. Даны предложения по наиболее эффективным способам строительства каналов.

Ключевые слова: откосы мелиоративного канала, каналокопатель, рабочий орган.

A. N. Jurin, S. P. Kostroma, I. E. Mazhuhin

RUE «SPC of NAS of Belarus for mechanization of agriculture»

Minsk, Republic of Belarus

e-mail: labmkr@yandex.ru

ANALYSIS OF EXISTING CONSTRUCTIONS OF THE WORKING BODIES OF CHANNEL DIGGERS FOR THE CREATION OF CUT OF DRAINAGE CHANNELS

Analysis of existing structures of the working bodies of the channel diggers for the creation of cut of drainage channels. Offers on the most effective ways of channels forming.

Keywords: side of drainage channel, channel digger, working body

Введение

Современное сельскохозяйственное производство требует постоянного проведения мелиоративных мероприятий, таких как производство культуртехнических работ, строительство мелиоративных систем, сооружение водохозяйственных объектов. Выполнение этих работ связано