

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК ЗА
РАХУНОК ДОДАВАННЯ ДО СУБСТРАТУ ВІДХОДІВ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВИРОБНИЦТВ**

С. А. Шворов, доктор технічних наук, професор

E-mail: sosdok@i.ua

В. М. Поліщук, доктор технічних наук, доцент

E-mail: polischuk@gmail.com

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Д. А. Дерев'янка, доктор технічних наук, доцент

E-mail: derevDA@gmail.com

Поліський національний університет

Т. С. Давиденко, аспірант

E-mail: davidenkotaras009@gmail.com

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація. *Стаття присвячена методичним основам підвищення ефективності біогазових установок за рахунок додавання до субстрату відходів сільськогосподарських виробництв, що є нині актуальним питанням в агропромисловому комплексі. Відомо, що економічна ефективність діючих біогазових установок, які працюють на тваринницьких відходах, дуже низька. При зброджуванні гною ВРХ вихід біогазу становить в середньому 0,7 л/год·кг СОР, що не забезпечує задовільного терміну окупності інвестицій навіть від продажу за "зеленим" тарифом виробленої з біогазу електроенергії. Як показують результати експериментальних досліджень, при додаванні косубстратів в незначній кількості до субстрату на основі гною ВРХ вихід біогазу збільшується до 1,4 л/год·кг СОР і вище. Питання постає в якій кількості до субстрату необхідно додавати косубстрати з відходів сільськогосподарських виробництв для підвищення ефективності біогазових установок з виходу біогазу.*

Метою дослідження є розробка методичних основ підвищення ефективності біогазових установок за рахунок додавання до субстрату раціональної кількості відходів сільськогосподарських виробництв.

Для досягнення поставленої мети на лабораторній біогазовій установці, що складається з метантенка робочим об'ємом 30 л і газгольдера "мокрого" типу, були проведені експериментальні дослідження метанового зброджування гною ВРХ з

додаванням органату, крохмалю, борошна, сироватки, стічних вод виноробних виробництв, сирого гліцерину, фузу, соапстоку та мелясної барди.

При раціональному додаванні в метантенк вказаних косубстратів за допомогою спеціальних дозаторів, як показують результати досліджень, вихід біогазу збільшується до 1,4 л/год·кг СОР і вище. При цьому суттєво збільшувати розмір метантенка, доброджувача та резервуарів для біошлему не потрібно, оскільки об'єм сировини, що завантажується в метантенк, майже не збільшиться, що не потребує додаткових капіталовкладень.

Ключові слова: *біогазова установка, субстрат, метантенк, косубстрат, вихід біогазу, собівартість, термін окупності, економічна ефективність*

Актуальність. В Україні потенціал виробництва біометану з гною ВРХ в сільськогосподарських підприємствах становить в межах 390-1094 млн. м³, з посліду птахів – в середньому 1192 млн. м³, з гною свиней – 116-583 млн. м³ [1]. Однак, економічна ефективність діючих біогазових установок нмент в нашій країні дуже низька. Жодна з них не має задовільного терміну окупності інвестицій. Згідно з [2] термін окупності біогазових установок не менше десяти років, а термін їх експлуатації – двадцять років. Таким чином, важливим питанням є розробка методичних основ підвищення ефективності біогазових установок, що нині для аграріїв актуально.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що використання фітомаси енергетичних культур (амарант, силос кукурудзи та інші) для підвищення виходу біогазу, збіднює кормову базу тваринницької галузі. Крім того, амарант є сидеральною культурою, тому використання його фітомаси як добавки до субстрату не направлене на підвищення родючості ґрунту. Спеціальне вирощування енергетичних культур для застосування як добавки для інтенсифікації виходу біогазу пов'язане з непродуктивним використанням посівних площ, на яких можна було б вирощувати харчові та кормові культури. Економічна ефективність БГУ залежить від обсягів завантаження БГУ різними відходами сільськогосподарських виробництв (косубстратів), що визначається на основі особистого досвіду технолога. Нераціональне керування процесом завантаження косубстратів в БГУ призводить до зменшення виходу біогазу та добрив, що в свою чергу зменшує економічну

ефективність БГУ [3-6]. Перспективним напрямком усунення зазначеного недоліку є розробка методичних основ підвищення ефективності біогазових установок за рахунок додавання до БГУ раціональної кількості косубстратів.

Мета дослідження - розробка методичних основ підвищення ефективності біогазових установок за рахунок додавання до субстрату раціональної кількості відходів сільськогосподарських виробництв.

Матеріали і методи дослідження. Основною сировиною для виробництва біогазу в сільському господарстві є гній. Гній ВРХ вже містить в собі метаноутворюючі бактерії, що покращує бродіння. Однак вихід біогазу при зброджуванні гною ВРХ незначний і за результатами проведених досліджень становить в середньому 0,7 л/год·кг СОР, що не дозволяє швидко окупити капіталовкладення, навіть враховуючи "зелений" тариф на електроенергію, вироблену з біогазу.

Для покращення виходу біогазу рекомендовано до субстрату додавати косубстрати (або замінювати ними воду чи дигестат, які додаються до субстрату для досягнення його оптимальної вологості). До таких косубстратів відносяться: розмелене некондиційне зерно хлібних злаків, сирий гліцерин, фуз, соапсток, м'яса, барда та інші.

При додаванні вказаних косубстратів у незначній кількості вихід біогазу, за нашими дослідженнями, збільшується до 1,4 л/год·кг СОР і вище [7]. При цьому суттєво збільшувати розмір метантенку, доброджувача, резервуарів для біошламу не потрібно, оскільки об'єм сировини, що завантажується в метантенк, майже не збільшиться і тому не викличе додаткових капіталовкладень.

Результати досліджень та їх обговорення. Порівняння динаміки виходу біогазу при монозброджуванні гною ВРХ та з додаванням різних косубстратів при температурі бродіння 40 °С наведене на рис. 1.

Із рис. 1 видно, що основну сировину і косубстрати за динамікою зброджування можна розділити на декілька категорій.

До першої категорії відноситься основна сировина – гній ВРХ без додавання косубстратів, динаміка зброджування якого в більшості випадків характеризується розтягуванням бродіння у часі без чітко виявлених піків виходу біогазу.

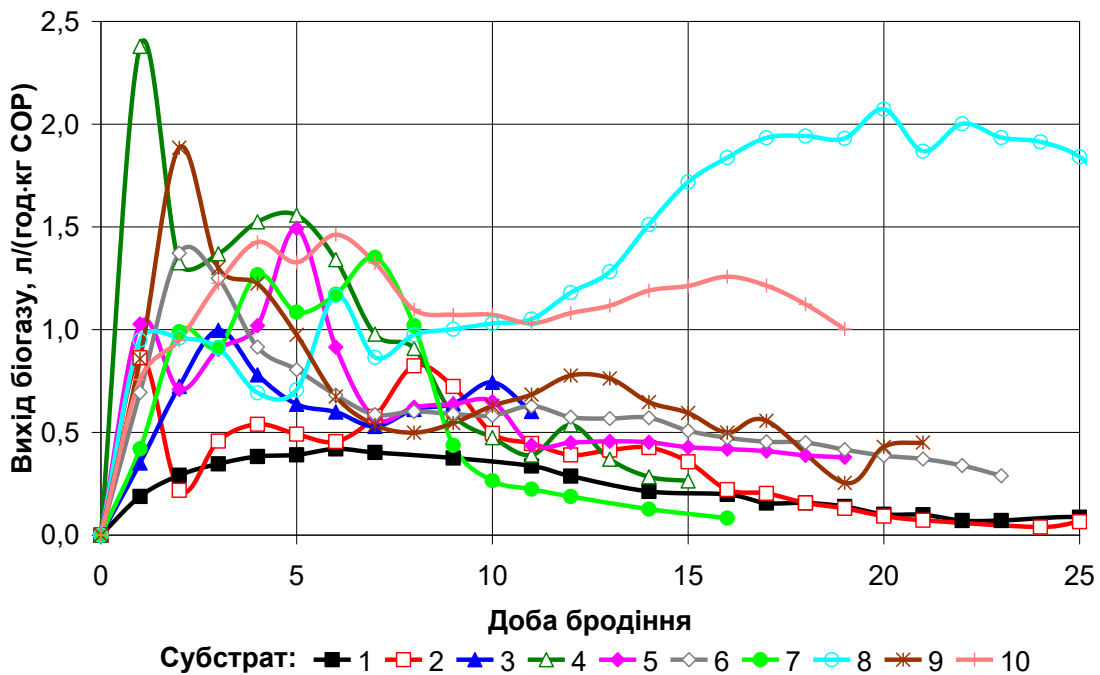


Рис. 1. Порівняння динаміки виходу біогазу при зброджуванні різних субстратів при температурі бродіння 40 °С:

1 – гній ВРХ; 2 – суміш гною ВРХ і органікату; 3 – гній ВРХ з додаванням крохмалю 5 % СОР від СОР субстрату; 4* – гній ВРХ з додаванням 2,3 % борошна від маси субстрату; 5* – гній ВРХ із заміною 60 % води в субстраті сироваткою; 6 – гній ВРХ із заміною 13 % води в субстраті стічними водами виноробних виробництв; 7 – гній ВРХ з додаванням 34,2 % СОР сирого гліцерину до СОР субстрату; 8 – гній ВРХ з додаванням 1,3 % фузу від маси субстрату; 9 – гній ВРХ з додаванням 1,2 % соапстоку від маси субстрату; 10 – гній ВРХ з додаванням 10,6 % мелясної барди від маси субстрату

* – температура бродіння 35 °С

Друга категорія косубстратів за динамікою зброджування характеризується коротким періодом бродіння і наявністю діауксії, причому перший максимум виходу біогазу в більшості випадків характеризується більшою інтенсивністю

порівняно з другим максимумом. До такої сировини відносяться: борошно, сирий гліцерин, мелясна барда.

Третя категорія косубстратів за динамікою зброджування характеризується коротким періодом бродіння і відсутністю діауксії. До такої сировини відноситься соапсток.

Фуз відноситься до четвертої категорії косубстратів за динамікою зброджування і характеризується довгим періодом бродіння з максимумом виходу біогазу на 20 добу, коли активне бродіння більшості із досліджуваної сировини вже закінчилось.

Класифікація сировини для виробництва біогазу за динамікою зброджування наведена на рис. 2.

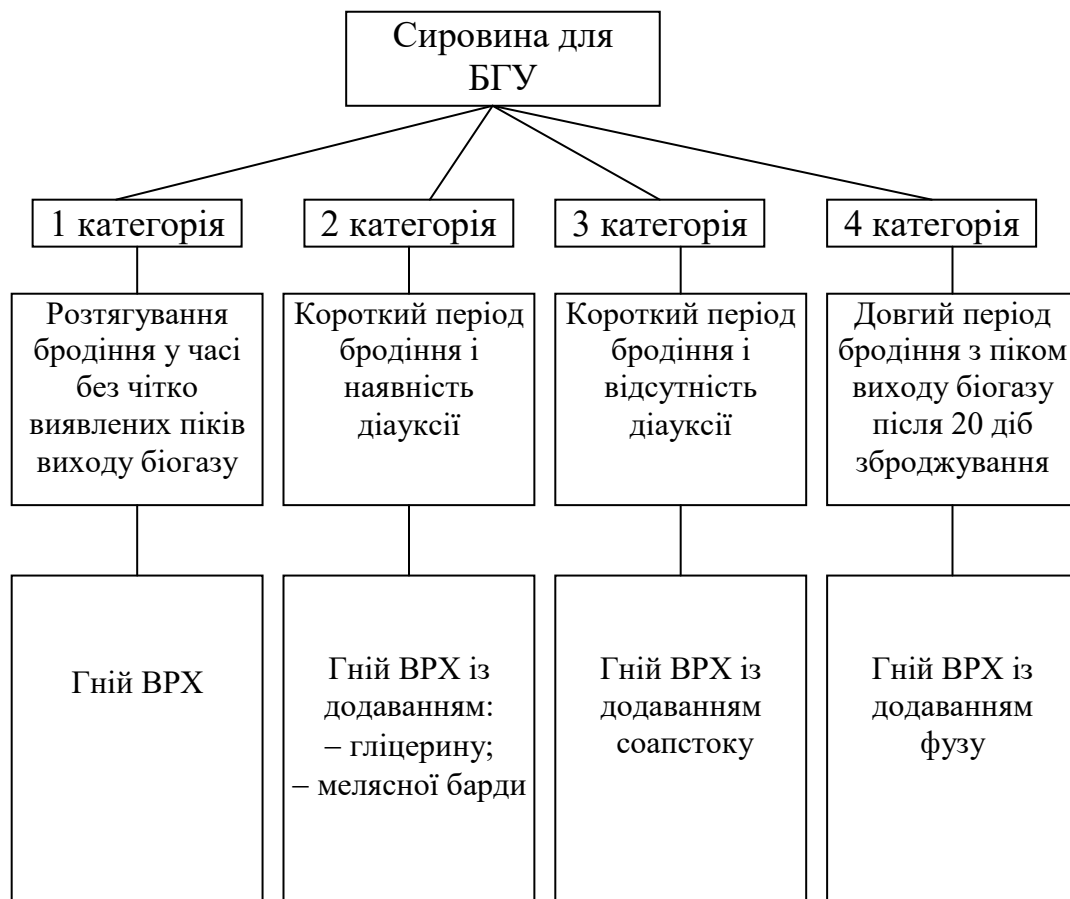


Рис. 2. Класифікація сировини для виробництва біогазу за динамікою зброджування

Порівняння накопиченого виходу біогазу при зброджуванні різних субстратів наведене на рис. 3.

Із рис. 3 видно, що за накопиченим виходом біогазу основну сировину з добавками косубстратів можна розділити на три категорії.

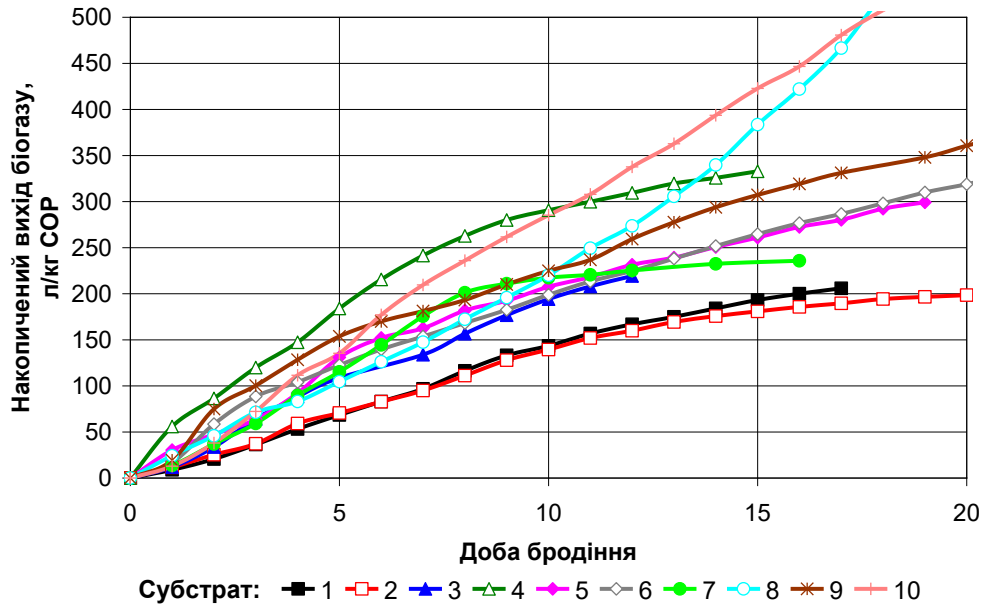


Рис. 3. Порівняння накопичених виходів біогазу при зброджуванні різних субстратів при температурі бродіння 40 °С:

1 – гній ВРХ; 2 – суміш гною ВРХ і органіку; 3 – гній ВРХ з додаванням крохмалю 5 % СОР від СОР субстрату; 4* – гній ВРХ з додаванням 2,3 % борошна від маси субстрату; 5* – гній ВРХ із заміною 60 % води в субстраті сироваткою; 6 – гній ВРХ із заміною 13 % води в субстраті стічними водами виноробних виробництв; 7 – гній ВРХ з додаванням 34,2 % СОР сирого гліцерину до СОР субстрату; 8 – гній ВРХ з додаванням 1,3 % фузу від маси субстрату; 9 – гній ВРХ з додаванням 1,2 % соапстоку від маси субстрату; 10 – гній ВРХ з додаванням 10,6 % мелясної барди від маси субстрату

* – температура бродіння 35 °С

Перша категорія сировини характеризується низьким виходом біогазу (не більше 150 л/кг СОР на 10 добу бродіння і до 200 л/кг СОР на 15 добу бродіння). До такої сировини відноситься гній ВРХ без додавання косубстратів.

На останньому періоді бродіння (15 доба і більше) до цієї категорії сировини наближається гній ВРХ з додаванням сирого гліцерину завдяки його короткому періоду бродіння.

Друга категорія сировини характеризується середнім виходом біогазу (не більше 180-230 л/кг СОР на 10 добу бродіння і до 240-300 л/кг СОР на 15 добу бродіння). До такої сировини відносяться гній ВРХ з додаванням в якості косубстратів сирого гліцерину та соапстоку [7].

У сільськогосподарському підприємстві доцільно впроваджувати переробні виробництва, наприклад, переробку молока на молокопродукти і виробництво крохмалю із картоплі, яка тут вирощується.

Як показують результати досліджень, відходи цих переробних підприємств здатні повністю забезпечити біогазову установку високопродуктивними косубстратами, що дозволить отримати термін окупності біогазової установки до 6,4 років.

Висновки і перспективи. В умовах сільськогосподарського підприємства тваринницького типу існує достатньо тваринницьких відходів (як правило, гною ВРХ), які можна використати як сировину для виробництва біогазу. Однак вихід біогазу із гною ВРХ недостатній для раціональної окупності капіталовкладень у біогазову установку. Для підвищення виходу біогазу до гною ВРХ необхідно додавати косубстрати, в якості яких можна використовувати відходи переробних виробництв.

1. У сільськогосподарському підприємстві доцільно впроваджувати переробні виробництва, наприклад, переробку молока на молокопродукти і виробництво крохмалю із картоплі, яка тут вирощується. Відходи цих переробних підприємств здатні повністю забезпечити біогазову установку високопродуктивними косубстратами, що дозволить отримати термін окупності біогазової установки до 6,4 років.

2. На основі проведеного дослідження розроблені методичні основи підвищення ефективності біогазових установок за рахунок додавання до субстрату раціональної кількості відходів сільськогосподарських виробництв.

Список використаних джерел

1. Кернасюк Ю. В. Потенціал виробництва біогазу в галузі тваринництва України. Продовольчі ресурси. 2019. № 12. С. 202–209.
2. Кухарець С. М., Голуб Г. А., Медведський О. В., Лозовий А. С. Напрямки використання біогазових установок в умовах аграрного виробництва. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві: I всеукраїнська науково-практична конференція, м. Житомир, 16–17 листопада 2017 р.: тези доповіді. Житомир, 2017. С. 4–11.
3. Кернасюк Ю. В. Науково-методологічні підходи до визначення собівартості виробництва та економічної ефективності продукції біоенергетичної утилізації гною. Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. 2010. Вип. 17. С. 164–171.
4. Доронін А. В. Ефективність виробництва біогазу в сільськогосподарських підприємствах галузі скотарства України. Науковий вісник Херсонського державного університету. 2015. Вип. 11. Ч. 3. С. 52–55.
5. Кернасюк Ю. В. Оцінка біогазового енергетичного потенціалу галузі скотарства у сільськогосподарських підприємствах. АгроІнКом. 2010. № 4–6. С. 46–49.
6. Керсанюк Ю. Біогазова альтернатива розвитку АПК України. Агробізнес сьогодні. 2013. № 18. С. 50–53.
7. Процеси, системи та обладнання виробництва біогазу: монографія / В.М. Поліщук, С.А. Шворов, В.Д. Войтюк, В.О. Мірошник. Київ: НУБіП України. 2019. – 544 с.

References

1. Kernasyuk, Yu.V. (2019). Potentsial vyrobnyystva biohazu v haluzi tvarynnyystva Ukrainy [Potential for biogas production in the livestock sector of Ukraine]. Food resources. 12, 202–209.
2. Kuharets, S. M., Golub, G. A., Medvedsky, O. V., Lozovy, A. S. (2017). Napriamky vykorystannia biohazovykh ustanovok v umovakh ahrarnoho vyrobnyystva [Directions of use of biogas plants in the conditions of agricultural production]. Proceedings from I All-Ukrainian Scientific and Practical Conference «Bioenergy systems in agricultural production», Zhytomyr, 4-11.
3. Kernasyuk, Yu.V. (2010). Naukovo-metodolohichni pidkhody do vyznachennia sobivartosti vyrobnyystva ta ekonomichnoi efektyvnosti produktsii bioenerhetychnoi utylyzatsii hnoiu [Scientific and methodological approaches to determining the cost of production and economic efficiency of bioenergy manure utilization]. Scientific papers of Kirovograd National Technical University. 17, 164–171.

4. Doronin, A. V. (2015). Efektyvnist vyrobnytstva biohazu v silskohospodarskykh pidpriemstvakh haluzi skotarstva Ukrainy [Efficiency of biogas production in agricultural enterprises of the cattle breeding industry of Ukraine]. Scientific Bulletin of Kherson State University. 11 (3), 52–55.

5. Kernasyuk, Yu.V. (2010). Otsinka biohazovoho enerhetychnoho potentsialu haluzi skotarstva u silskohospodarskykh pidpriemstvakh [Assessment of the biogas energy potential of the livestock sector in agricultural enterprises]. AgroInCom, 4-6, 46–49.

6. Kernasyuk, Yu.V. (2013). Biohazova alternatyva rozvytku APK Ukrainy [Biogas alternative to the development of agro-industrial complex of Ukraine]. Agribusiness today. 18, 50–53.

7. Polishchuk, V.M., Shvorov, S.A., Voitiuk, V.D., Miroshnik, V.O. (2019). Protsesy, systemy ta obladnannia vyrobnytstva biohazu [Processes, systems and equipment for biogas production: monograph]. Kyiv: NUBiP of Ukraine, 544.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ЗА СЧЕТ ДОБАВЛЕНИЯ К СУБСТРАТУ ОТХОДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

С. А. Шворов, В. Н. Полищук, Д. А. Деревянко, Т. С. Давиденко

Аннотация. *Статья посвящена методическим основам повышения эффективности биогазовых установок за счет добавления к субстрату отходов сельскохозяйственных производств, что на сегодняшний день является актуальным вопросом в агропромышленном комплексе. Известно, что экономическая эффективность действующих биогазовых установок, работающих на животноводческих отходах, очень низкая. При сбраживании навоза КРС выход биогаза составляет в среднем 0,7 л/час·кг СОР, что не обеспечивает удовлетворительного срока окупаемости инвестиций даже при продаже по "зеленому" тарифу произведенной из биогаза электроэнергии. Как показывают результаты экспериментальных исследований, при добавлении косубстрата в незначительном количестве к субстрату на основе навоза КРС выход биогаза увеличивается до 1,4 л/час·кг СОР и выше. Вопрос возникает в определении количества косубстрата, которого необходимо добавлять из отходов сельскохозяйственных производств для повышения эффективности биогазовых установок по выходу биогаза.*

Целью исследования является разработка методических основ повышения эффективности биогазовых установок за счет добавления к субстрату рационального количества отходов сельскохозяйственных производств.

Для достижения поставленной цели на лабораторной биогазовой установке, состоящей из метантенка рабочим объемом 30 л и газгольдера "мокрого" типа, были проведены экспериментальные исследования метанового сбраживания навоза КРС с добавлением органата, крахмала, муки, сыворотки, сточных вод винодельческих производств, сырого глицерина, фуза, соапстока и мясной барды. При рациональном добавлении в метантенк указанных косубстратов с помощью специальных дозаторов, как показывают результаты исследований, выход биогаза

увеличивается до 1,4 л/час · кг СОР и выше. При этом существенно увеличивать размер метантенка и других резервуаров для биошлама не нужно, поскольку объем загружаемого сырья в метантенк почти не увеличится, что не требует дополнительных капиталовложений.

Ключевые слова: биогазовая установка, субстрат, метантенк, косубстрат, выход биогаза, себестоимость, срок окупаемости, экономическая эффективность

INCREASING EFFICIENCY OF BIOGAS PLANTS AT THE ACCOUNT OF THE ADDITION TO THE SUBSTRATE OF AGRICULTURAL WASTE

S. Shvorov, V. Polishchuk, D. Derevyanko, T. Davidenko

Abstract. *The article is devoted to the methodological foundations of increasing the efficiency of biogas plants by adding agricultural waste to the substrate, which is currently an urgent issue in the agricultural sector. It is known that the economic efficiency of existing biogas plants operating on livestock waste is very low. When cattle manure is fermented, the biogas yield is on average 0.7 l / h. kg of COP, does not provide a satisfactory return on investment even the sale of electricity generated from biogas at the "green" tariff. As the results of experimental studies show when adding cosubstrate in a small amount to a substrate based on cattle manure, the biogas yield increases to 1.4 l/h · kg of COP and higher. The question arises in quantity before the substrate, it is necessary to add cosubstrate from agricultural waste to increase the efficiency of biogas plants.*

The aim of the study is to develop methodological foundations for increasing the efficiency of biogas plants by adding a rational amount of agricultural waste to the substrate.

To achieve this goal, a laboratory biogas plant consisting of a 30 L digestion tank and a "wet" type gas tank was used to conduct experimental studies of methane fermentation of cattle manure with the addition of organate, starch, flour, whey, wastewater from wineries, crude glycerin, fusa , soap stock and melody bard. With the rational addition of the indicated cosubstrates to the digester with the help of special dispensers, as the research results show, the biogas yield increases to 1.4 l/h · kg of COP and higher. At the same time, it is not necessary to significantly increase the size of the digester, and other tanks for bio-sludge are not necessary, since the volume of feedstock in the digester will not increase, which does not require additional investment.

Key words: *biogas plant, substrate, digester, cosubstrate, biogas output, cost price, payback period, economic efficiency*