

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ МЕТАНОВОГО БРОДІННЯ В  
БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МЕЛЯСНОЇ  
БАРДИ**

*С. А. Шворов, доктор технічних наук, професор*

*В. М. Поліщук, кандидат технічних наук, доцент*

*Т. С. Давиденко, інженер*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*E-mail: sosdok@i.ua*

**Анотація.** *Актуальність дослідження обумовлена необхідністю підвищення продуктивності існуючих та перспективних біогазових установок за рахунок інтенсифікації процесу метанового бродіння гною ВРХ. Оскільки щороку в Україні утворюється 4 млн. м<sup>3</sup> м'ясної та 3,6-3,8 млн. м<sup>3</sup> зернової барди, яку необхідно утилізувати, запропоновано використовувати її в якості стимулюючої добавки метанового бродіння. Метою досліджень є підвищення виходу біогазу на основі використання м'ясної барди. Для досліджень використовувалась м'ясна барда типового цукрового заводу. У статті проаналізовані результати досліджень монобродіння м'ясної барди на лабораторній біогазовій установці корисним об'ємом 30 л, в якій зброджувались різні пропорції біошлему та м'ясної барди. Наведені методичні рекомендації щодо інтенсифікації процесу метанового бродіння гною ВРХ на основі використання м'ясної барди. За отриманими експериментальними даними, при додаванні м'ясної барди до субстрату на основі гною ВРХ, вихід біогазу зростає, однак зростає він нерівномірно. Швидке зростання виходу біогазу спостерігається при вмісті м'ясної барди у субстраті приблизно до 30 %. При збільшенні вмісту барди у субстраті зростання виходу біогазу децю сповільнюється. При вмісті м'ясної барди в субстраті до 26 % отриманий біогаз горить, тобто містить у своєму складі метан. При вмісті м'ясної барди у субстраті 100 % отриманий біогаз не горить, тобто в ньому метан міститься в такій кількості, що не здатен підтримувати горіння.*

**Ключові слова:** *біогазова установка, субстрат, м'ясна барда, гній ВРХ, біошлам*

**Актуальність.** *Актуальність дослідження обумовлена необхідністю підвищення продуктивності існуючих та перспективних біогазових установок за рахунок інтенсифікації процесу метанового бродіння гною ВРХ. Як відомо, одним із*

найбільш ефективних способів підвищення виходу біогазу в біогазових установках є використання косубстратів, які потребують утилізації. Післяспиртова барда є відходом виробництва етанолу. При виробництві етанолу із меляси отримується мелясна барда, із зерна – зернова. Щороку в Україні утворюється 4 млн. м<sup>3</sup> мелясної та 3,6-3,8 млн. м<sup>3</sup> зернової барди [5]. У процесі спиртового бродіння зброджується до 50% сухої речовини (СР) меляси, решта переходить в барду [2]. Вона є кислотою (рН=4,0-4,3) з високими показниками біохімічної і хімічної потреби в кисні (БСК=52-58 кг/м<sup>3</sup>, ХСК=92-100 кг/м<sup>3</sup>) і великим вмістом суспензованих твердих речовин (2,0-2,5 кг/м<sup>3</sup>). Оскільки в барді міститься велика кількість мінеральних речовин, то безпосередньо на корм тваринам вона непридатна. Високі концентрації сульфатів в мелясній барді обмежують її використання в якості добрив, оскільки можуть викликати содифікацію ґрунту. Мелясну барду можна переробляти в біогаз шляхом анаеробного зброджування.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У роботі [3] вихід біогазу при зброджуванні барди становив 5,37 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>·добу. Разом із тим, спостерігається інгібування метаногенів сульфатами вже при відношенні аніонів SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> до ХСК, рівному 0,1, а при SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>/ХСК=0,2 бродіння припинялось і відновити його неможливо. Тому, мелясна барда потребує розведення великою кількістю води перед зброджуванням. У роботі [4] для зменшення впливу великої кислотності барди рекомендується добавляти її до субстрату в невеликій кількості або проводити її нейтралізацію. Як зазначено в [1], однократне додавання насиченого розчину Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> до барди підвищувало її рН з 4,6 до 5,7, двократне – до 6,4. Отже, із аналізу попередніх досліджень випливає, що мелясну барду можна утилізувати, використовуючи її як косубстрат при виробництві біогазу. Однак, вона може викликати інгібування метаногенів, тому рекомендується додавати мелясну барду до субстрату в невеликій кількості. Разом із тим, в літературних джерелах не вказано, яку кількість барди потрібно додавати до субстрату, щоб не викликати інгібування метаноутворюючих бактерій, а, навпаки, інтенсифікувати процес бродіння.

**Мета дослідження** – підвищення виходу біогазу на основі використання

мелясної барди. Для досягнення цієї мети виникає необхідність у визначенні виходу біогазу при монобродінні та при додаванні мелясної барди до гною ВРХ.

**Матеріали та методи дослідження.** Для досліджень використовувалась мелясна барда типового цукрового заводу. Вона була досліджена в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК. Як показали результати досліджень вона містить 14,1 % сухої речовини, в т.ч. 3,72 % сирого протеїну, 0,4 % сирого жиру і 0,93 % розчинних вуглеводів. Масова частка калію мелясної барди становить 12,33 г/л або 1,23 %, масова частка калію в перерахунку на  $K_2O$  – 14,79 г/л або 1,48%, масова частка натрію – 2,51 г/л або 0,25 %, масова частка магнію в перерахунку на  $MgO$  – 38,99 мг/л або 0,0039 %, масова частка заліза – 13,22 мг/л або 0,0013 %.

Суша органічна речовина складається з білків, жирів і вуглеводів, тому вміст сухої органічної речовини (СОР) мелясної барди цукрового заводу становить:  $3,72 + 0,4 + 0,93 = 5,05$  %. рН мелясної барди, виміряна за допомогою рН-метра РН-009(1), становила 4,7.

Дослідження при температурному режимі метантенка  $40^{\circ}C$  проводились в декілька етапів. На початковому етапі досліджувалось монобродіння мелясної барди без додавання гною ВРХ. На кінцевому етапі проводилось дослідження бродіння субстрату, що складався із суміші гною ВРХ, води і мелясної барди.

Оскільки монобродіння мелясної барди не дало результатів щодо енергонасиченості отриманого біогазу, було вирішено провести дослідження сумісного зброджування мелясної барди і гною ВРХ.

У лабораторний метантенк корисним об'ємом 30 л, в якому залишалось 18,5-20,5 л біошлему, додавався субстрат, який складався із 3,5 кг гною ВРХ, 5 л води і мелясної барди. Планувалось, що вага доданої мелясної барди становитиме 1 кг, 3 кг і буде щоразу збільшуватись на 2 кг до припинення горіння біогазу.

Однак, оскільки при додаванні до субстрату 3 кг барди отриманий біогаз горів, тобто був отриманий задовільний результат, оскільки за проектом вміст барди в субстраті проектованої біогазової установки не повинен був перевищувати 30%,

тому подальші досліді були припинені.

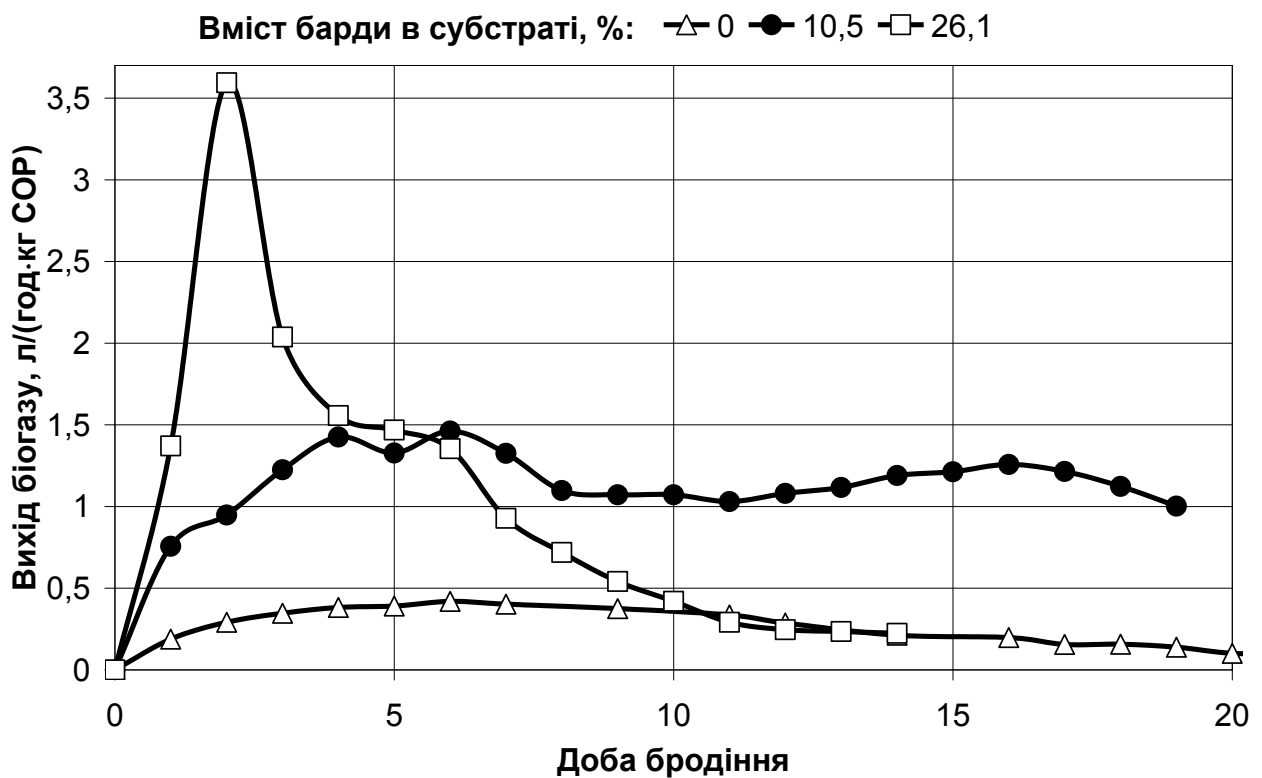
Маса СОР субстрату на основі гною ВРХ з додаванням м'ясної барди становить:

- 0,5125 кг при вазі барди 1 кг або 5,39 % від маси субстрату;
- 0,6135 кг при вазі - 3 кг або 5,33 % від маси субстрату.

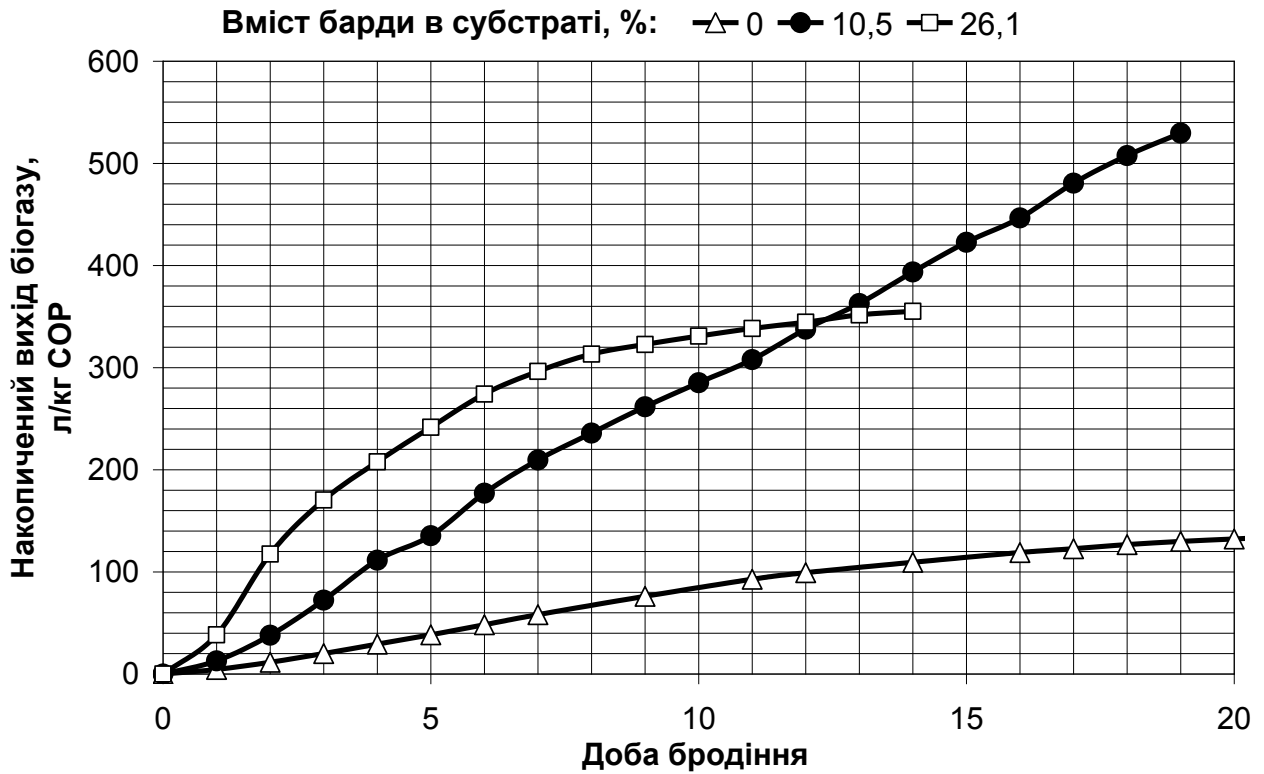
При цьому вміст барди в субстраті становить:

- 10,5 % при вазі барди 1 кг;
- 26,1 % при вазі барди 3 кг.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Результати дослідження сумісного зброджування гною ВРХ і м'ясної барди представлені на рис. 1 (динаміка виходу біогазу в часі) і рис. 2 (накопичений вихід біогазу).



**Рис. 1.** Вихід біогазу при сумісному зброджуванні гною ВРХ і м'ясної барди за температури бродіння 40 °С



**Рис. 2. Накопичений вихід біогазу при сумісному зброджуванні гною ВРХ і м'ясної барди за температури бродіння 40 °С**

Як видно з рис. 1, при сумісному зброджуванні гною ВРХ і м'ясної барди спостерігається діауксія. Вихід біогазу достатньо великий, його рівень не знижується на протязі досить довгого часу, внаслідок чого накопичений вихід біогазу постійно зростає (рис. 2) і перевищує рівень виходу біогазу при зброджуванні інших досліджуваних субстратів. При збільшенні вмісту барди в субстраті з 10,5 % до 26,1 % вихід біогазу зростає.

**Висновки і перспективи.** За отриманими експериментальними даними, при додаванні м'ясної барди до субстрату на основі гною ВРХ, вихід біогазу зростає, однак зростає він нерівномірно. Швидке зростання виходу біогазу спостерігається при вмісті м'ясної барди у субстраті приблизно до 30 %. При збільшенні вмісту барди у субстраті зростання виходу біогазу дещо сповільнюється. Крім того, дослідженнями встановлено, що при вмісті м'ясної барди в субстраті до 26 % отриманий біогаз горить, тобто містить у своєму складі метан. При вмісті м'ясної

барди у субстраті 100% отриманий біогаз не горить, тобто в ньому метан міститься в такій кількості, що не здатен підтримувати горіння.

### **Список літератури**

1. Косів Р. Б. Вплив чинників на анаеробну утилізацію відходів спиртового виробництва / Р. Б. Косів, З. Я. Хлібишин, Л. Я. Паляниця та ін.// Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2009. – № 644. – С. 75-78.
2. Маринченко В. А. Технология спирта / Маринченко В. А., Смирнов В. А., Устинникова Б. А. и др. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 416 с.
3. Черп О.М. Проблема твердых бытовых отходов: комплексный подход / О. М. Черп, В. Н. Винниченко. – М.: Эколайн, 1996. – 40 с.
4. Siqueira L.M., Damiano E.S.G., Silva E.L. Influence of organic loading rate on the anaerobic treatment of sugarcane vinasse and biogasproduction in fluidized bed reactor. *Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*. 2013. Vol. 48, Iss. 13. P. 1707-1716. doi: 10.1080/10934529.2013.815535.
5. Юрина О.А. Основные подходы к проектированию биогазовых установок / О. А. Юрина, О. О. Иванов // Вестник ТГТУ. – 2010. – Т.16. – № 3. – С. 719-725.

### **References**

1. Kosiv, R. B. et al (2009). Vplyv chynnykiv na anaerobnu utylizatsiiu vidkhodiv spyrtovoho vyrobnyctva [The influence of factors on the anaerobic waste disposal of the alcohol industry]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika»*, 644, 75-78.
2. Marinchenko, V. A., Smirnov, V. A., Ustinnikova, B. A. et al (1981). *Tekhnologiya spirta* [Technology of alcohol]. Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 416.
3. Cherp, O. M., Vinnichenko, V. N. (1996). Problema tverdykh bytovykh otkhodov: kompleksnyy pokhod [The problem of municipal solid waste: an integrated approach]. Moscow: Ecoline, 40.
4. Siqueira, L. M., Damiano, E. S. G., Silva, E. L. (2013). Influence of organic loading rate on the anaerobic treatment of sugarcane vinasse and biogasproduction in fluidized bed reactor. *Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*. Vol. 48, Iss. 13. P. 1707-1716. doi: 10.1080/10934529.2013.815535.
5. Yurina, O. A., Ivanov, O. O. (2010). Osnovnyye podkhody k proyektirovaniyu biogazovykh ustanovok [The main approaches to the design of biogas plants]. *Vestnik TGTU*, 16 (3), 719-725.

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА МЕТАНОВОГО БРОЖЕНИЯ В БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВКАХ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕЛЯСНОЙ БАРДЫ

*С. А. Шворов, В. Н. Полищук, Т. С. Давиденко*

**Аннотация.** Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения производительности существующих и перспективных биогазовых установок за счет интенсификации процесса метанового брожения навоза КРС. Поскольку ежегодно в Украине необходимо утилизировать 4 млн. м<sup>3</sup> мелясной и 3,6-3,8 млн. м<sup>3</sup> зерновой барды, предложено использовать ее в качестве стимулирующей добавки метанового брожения. Целью исследований является повышение выхода биогаза на основе использования мелясной барды. При исследованиях использовалась мелясная барда типичного сахарного завода. В статье проанализированы результаты исследований моноброжения меласной барды на лабораторной биогазовой установке полезным объемом 30 л, в которой сбраживались разные пропорции биошлама и меласной барды. Приведенные методические рекомендации по интенсификации процесса метанового брожения навоза КРС на основе использования меласной барды. По полученным экспериментальным данным, при добавлении меласной барды к субстрату на основе навоза КРС, выход биогаза растет, однако растет он неравномерно. Быстрый рост выхода биогаза наблюдается при содержании меласной барды в субстрате примерно до 30 %. При увеличении содержания барды в субстрате рост выхода биогаза несколько замедляется. При содержании меласной барды в субстрате до 26 % полученный биогаз горит, то есть содержит в своем составе метан. При содержании меласной барды в субстрате 100 % полученный биогаз не горит, то есть в нем метан содержится в таком количестве, что не способен поддерживать горение.

**Ключевые слова:** биогазовая установка, субстрат, мелясная барда, навоз КРС, биошлам

## INTENSIFICATION OF THE METHANE FERMENTATION PROCESS IN BIOGAS INSTALLATIONS BASED ON THE USE OF MELASS BARDA

*S. Shvorum, V. Polischuk, T. Davidenko*

**Abstract.** The relevance of the study is due to the need to improve the performance of existing and future biogas plants due to the intensification of the methane fermentation process of cattle manure. Since 4 million m<sup>3</sup> of molasses and 3.6–3.8 million m<sup>3</sup> of grain grains are generated and need to be disposed of in Ukraine every year, it has been proposed to use it as a stimulating additive for methane fermentation. The aim of the research is to increase the biogas yield based on the use of molasses bards. The molasses bard of a typical sugar plant was used for research. The article analyzes the results of researches of monobroasting of molasses bard on a laboratory biogas plant with a useful volume of 30 liters, in which the various proportions of bile salmon and molasses burs were fermented. The methodical recommendations for intensifying the process of methane

*fermentation of cattle manure on the basis of the use of molasses bards are given. According to experimental data, when adding molasses to the substrate on the basis of cattle manure, the biogas output is increasing, but it grows unevenly. The rapid growth of biogas output is observed when the content of melted bards in the substrate is about 30%. With increasing content of bards in the substrate, the growth of biogas output is slowing down somewhat. When the content of molasses bards in the substrate to 26 %, the biogas is burned, that is, contains methane in its composition. When the content of molasses bards in the substrate is 100 %, the biogas is not burned, that is, it contains methane in an amount that is not capable of maintaining combustion.*

**Key words:** *biogas plant, substrate, mild bard, cattle manure, bio-sludge*