

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМПЛЕКСІВ МЕТАЛІВ НА ВИХІД БІОГАЗУ

Шаповалова А.А., Голуб Н.Б.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, [shapovalova.anastasiya@iik.kpi.ua](mailto:shapovalova.anastasiya@iik.kpi.ua)

## Abstract

*This article is devoted to the study of the influence of microelements (metal ions) on the production of biogas. Solutions of metal complexes – lysinates of chromium and nickel were used as additives. As a result of the study, it was shown that the addition of nickel lysinate (5 mg/l per metal) increases the yield of biogas by activating microbiological processes and stimulating methanogens.*

**Keywords:** *biogas, intensification, anaerobic fermentation, microelements.*

**Вступ.** Перетворення біомаси в енергію протягом останніх років зросло з 65 ГВт у 2010 році до 120 ГВт у 2019 році. Це пов'язано з цінами на «зелену» енергію, збільшенню розподіленого виробництва та деякими екологічними аспектами. Станом на кінець 2019 року загальна потужність біогазових установок становила близько 19,5 ГВт. Біогаз за своєю природою є відновлюваним ресурсом, на відміну від викопного палива. Біогаз отримують за використання відходів біомаси або сільськогосподарських відходів птахівництва та вирощування тварин. Біогаз, отриманий за допомогою анаеробного зброджування, не тільки покращує енергетичний статус країни, але й робить значний внесок у збереження природних ресурсів і захист навколишнього середовища [1].

Основними проблемними питаннями у виробництві біогазу є інтенсифікація процесу зброджування і підвищення виходу кінцевого продукту. В дослідженні [2] показано, що добавки мікроелементів (іонів металів) підвищують ефективність анаеробного зброджування і покращують процеси анаеробної біоконверсії шляхом стимулювання метаногенів.

Вміст органічної речовини у субстраті для анаеробного зброджування є важливим фактором, що впливає на вихід кінцевого продукту: високий вміст органічної речовини сприяє більшому виходу біогазу та метану.

Додавання мікроелементів в процесі анаеробного зброджування сировини може сприяти активності метаногенів, що приводить до підвищення виходу енергоносія за рахунок активації ферментних систем. Синергізм та антагонізм мікроелементів відіграє дуже важливу роль у продуктивності та стабільності біогазових реакторів, які працюють з енергетичними культурами, екскрементами тварин, рослинними залишками, органічною частиною твердих побутових відходів та іншими видами органічних відходів. Мікроелементи можуть підвищити ефективність перетворення летких жирних кислот і усунути явище їх накопичення. Вони також можуть протидіяти інгібуєчому ефекту, спричиненому іонами натрію та аміаком; збільшувати вихід метану та підтримувати стабільність процесу анаеробного зброджування [3].

Дослідження [4] показують, що додавання наночастинок Ni збільшувало виробництво метану на 38,4 %. У роботі [5] визначено, що додавання Ni(II) збільшило вихід біогазу на 13,51%. У дослідженні [6] йдеться, що додавання наночастинок Ni збільшило вихід біогазу у 1,8 рази порівняно з контролем.

Вивчення впливу добавок Хрому на процес анаеробного зброджування свідчить, що додавання  $\text{Cr}^{6+}$  збільшило вихід біогазу на 19,0%, стимуляція виходу біогазу забезпечувалась підвищенням активності коензиму  $\text{F}_{420}$  [7].

Метою роботи було дослідження впливу додавання комплексів металів – лізинатів хрому (III) і нікелю (II) – на вихід біогазу.

**Матеріали та методи.** Як субстрат було обрано сіно, оскільки в ньому містяться елементи, які необхідні для розвитку асоціації мікроорганізмів. Як інокулянт використовували зброджений гній великої рогатої худоби, отриманий з лабораторії кафедри біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології КПІ ім. Ігоря Сікорського. Як добавки використовували розчини комплексів металів – лізинати хрому (III) та нікелю (II). У першому ферментері проводили контрольний дослід, у другому ферментері вміст лізинату хрому складав 5 мг/л, у третьому ферментері вміст лізинату нікелю складав 5 мг/л. Ферментацію проводили в анаеробних умовах за температури  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  в метантенках з газгольдерами мокрого типу. Вміст компонентів біогазу визначали за використання газоаналізатора Vosean K-600.

Кількість сухої та органічної речовини у субстраті визначали гравіметричним методом. Сушіння проводили за температури  $105^\circ\text{C}$  у сушильній шафі, прожарювання сухої маси – у муфельній печі за температури  $650^\circ\text{C}$ .

#### Результати та обговорення.

В результаті проведених досліджень було отримано дані щодо виходу біогазу (рис. 1) та метану (рис. 2) в процесі ферментації. Присутність у ферментаційній суміші добавки лізинату хрому (III) інгубуюче діє на вихід біогазу та метану, що проявилось зупинкою процесу ферментації на 21-й і 28-й день.

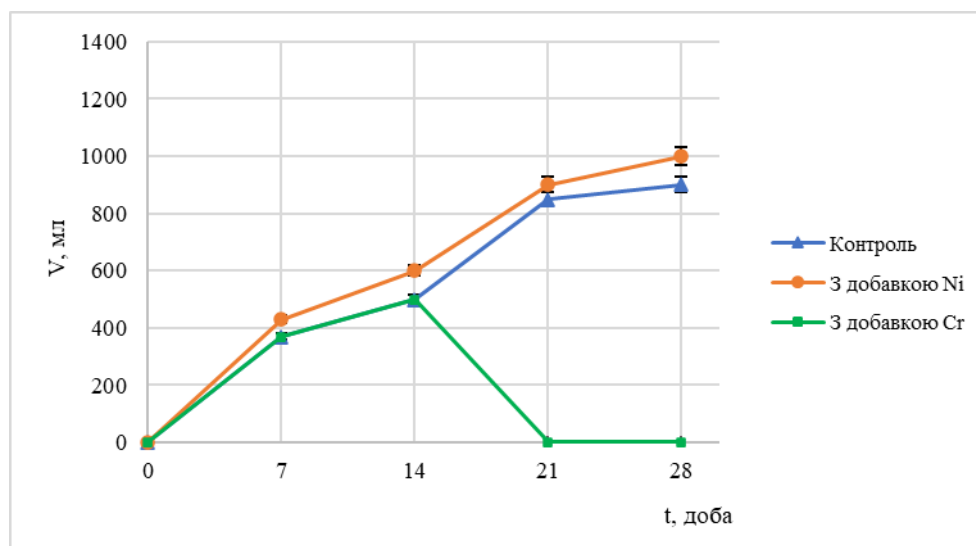
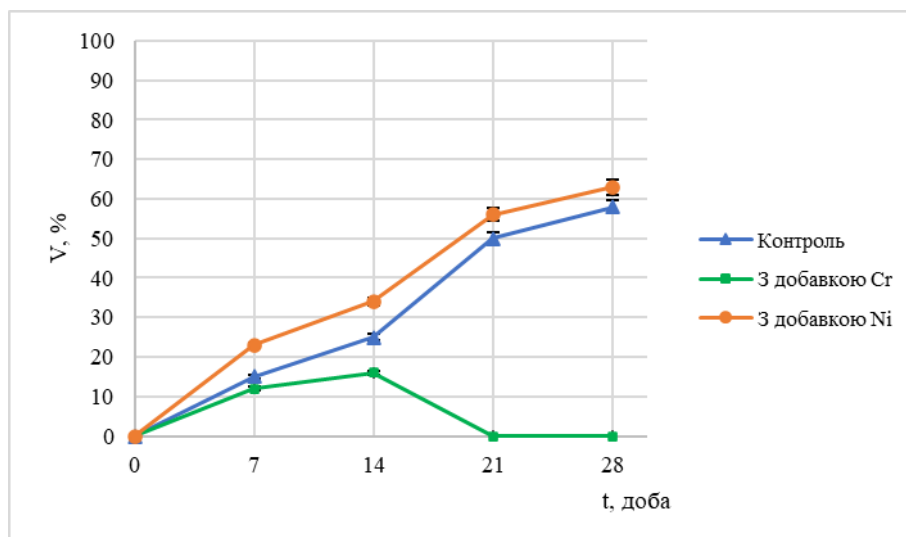


Рис. 1. Динаміка об'єму виходу біогазу (V, мл) протягом ферментації сіна: з добавкою лізинату нікелю та з добавкою лізинату хрому (t, діб).

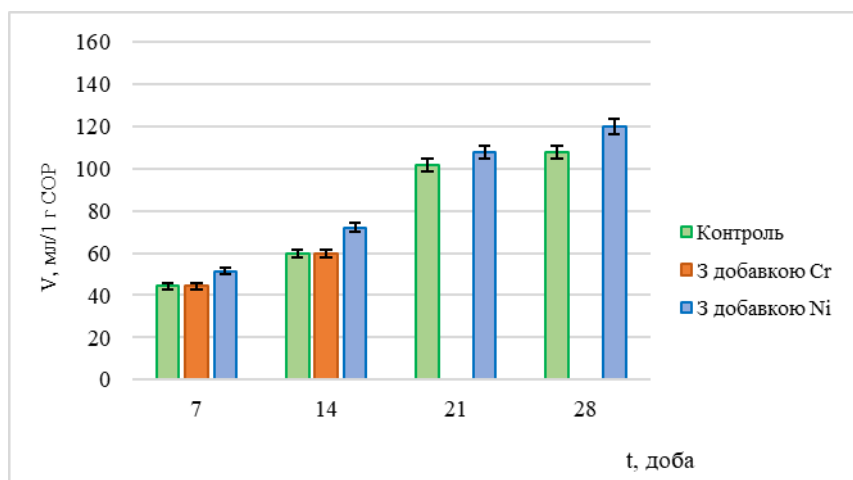
Вплив сполук Хрому на вихід біогазу залежить від концентрації іонів  $\text{Cr}^{3+}$ : збільшення концентрації призводить до зниження вмісту метану у біогазі, а великі концентрації можуть і зовсім пригнічувати метаногенез [8].



**Рис. 2.** Динаміка об'єму виходу метану (V, %) протягом ферментації сіна: з добавкою лізинату нікелю та з добавкою лізинату хрому (t, діб).

Використання сіна, як субстрату, може призвести до меншого вмісту метану в біогазі з декількох причин: по-перше, наявність лігноцелюлозних сполук у рослинному матеріалі ускладнює процес анаеробного розкладання та вимагає більш тривалого часу ферментації, що може обмежувати виробництво метану; по-друге, целюлоза та лігнін, які є основними компонентами сіна, як біомаси, є складними сполуками для розщеплення метаногенними бактеріями; також сіно містить невелику кількість поживних речовин порівняно з органічними відходами, що також впливає на виробництво метану мікробною популяцією [9].

На рисунку 3 показано об'єм виходу біогазу (V, мл) на 1 г сухої органічної речовини (COP) впродовж ферментації сіна з додаванням лізинатів хрому (III) і нікелю (II). Відсутність даних на 21-й та 28-й день ферментації сіна з добавкою лізинату хрому (III) пояснюється зупинкою процесу зброджування, що свідчить про те, що додавання сполук хрому виявляє інгібуючий вплив на мікробну популяцію, зупиняючи процес ферментації.



**Рис. 3.** Діаграма виходу біогазу (V, мл) з 1 г сіна з додаванням лізинату нікелю (II) та з додаванням лізинату хрому (III) в процесі ферментації (t, діб).

Підвищення виходу біогазу на 18% у разі додавання іонів нікелю  $\text{Ni}^{2+}$  ( $\text{NiCl}_2$ ) до ферментаційної суміші гною ВРХ з соломною також підтверджує, що іони нікелю позитивно впливають на вихід біогазу та метану [10].

**Висновки.** Показано, що додавання лізинату нікелю (5 мг/л за металом) підвищує вихід біогазу на 11%, метану на 8%, в той час як комплекс лізинату хрому (III) діє інгібуюче на асоціацію мікроорганізмів, що призводить до уповільнення та зупинки процесу зброджування.

### Список використаної літератури:

1. Abanades S., Abbaspour H., Ahmadi A., et al. A critical review of biogas production and usage with legislations framework across the globe. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2022. Vol. 19, No 4. P. 3377–3400. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03301-6>
2. Liu M., Wei Y., Leng X. Improving biogas production using additives in anaerobic digestion: A review. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 297. P. 126666. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126666>
3. Zhang W., Wu S., Lang Q., Dong R. Trace elements on influence of anaerobic fermentation in biogas projects. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2013. Vol. 29, No 10. P. 1–11. <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2013.10.001>
4. Hassanein A., Lansing S., Tikekar R. Impact of metal nanoparticles on biogas production from poultry litter. *Bioresour Technol*. 2019. Vol. 275. P. 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.048>
5. Opurum C.C., Onwukwe V.M., Nweke C.O., Nwachukwu I.N. Ni(II) and Co(II) effects on the anaerobic digestion of livestock manure and bi-logistic function model-prediction of biogas production. *Issues Biol. Sci. Pharma. Res*. 2021. Vol. 9, No 2. P. 27–37. <https://doi.org/10.15739/ibspr.21.004>
6. Abdelsalam Abraham A., Mathew A.K., Park H., Choi O., Sindhu R. Pretreatment strategies for enhanced biogas production from lignocellulosic biomass. *Bioresour Technol*. 2020. Vol. 301. P. 12272. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122725>
7. Hao H., Chai Y., Xu X. Process analysis of anaerobic fermentation of *Phragmites australis* straw and cow dung exposing to elevated chromium (VI) concentrations. *Journal of Environmental Management*. 2018. Vol. 224. P. 414–424. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.058>
8. Abdel-Shafy H., Mansour M. Biogas production as affected by heavy metals in the anaerobic digestion of sludge. *Egyptian Journal of Petroleum*. 2014. Vol. 23, No 4. P. 409–417. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2014.09.009>
9. Marks S., Dach J., Fernandez Morales F.J., Mazurkiewicz J., Pochwatka P., Gierz Ł. New trends in substrates and biogas systems in Poland. *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21, No 4. P. 19–25. <https://doi.org/10.12911/22998993/119528>
10. Tian Y., Zhang H., Chai Y. et al. Biogas properties and enzymatic analysis during anaerobic fermentation of *Phragmites australis* straw and cow dung: influence of nickel chloride supplement. *Biodegradation*. 2017. Vol. 28. P. 15–25. <https://doi.org/10.1007/s10532-016-9774-5>