

**ТРИГЕНЕРАЦІЙНА БІОГАЗОВА УСТАНОВКА**

*Розглянуті варіанти використання біогазу. Проаналізовано доцільність використання біогазової тригенераційної установки на сільськогосподарському підприємстві для отримання органічних добрив, електроенергії, теплоти і холоду. Встановлено, що тригенерація дозволяє більш повно використовувати енергію біогазу протягом року, зменшити використання непоновлюваних джерел енергії – природного газу та електроенергії, отримати невеликі терміни окупності обладнання завдяки використанню «зеленого тарифу» продажу виробленої електроенергії. Запропоновано схему тригенераційної біогазової установки.*

*Ключові слова:* тригенерація, абсорбційна холодильна машина, двигун внутрішнього згорання, біогазова установка, зелений тариф.

D.V. STEPANOV, N.V. PALAMARCHUK, Y.Y. SPRINCHUK

Vinnytsia National Technical University

**THREEGENERATION BIOGAS PLANT**

*The aim of the study is to evaluate the feasibility and development of energy-efficient schemes threegeneration biogas plants for agricultural enterprises. Relevance of use of energy-efficient ecological clean anaerobic digestion of organic waste. With the purpose of increase of efficiency of biogas plants the analysis of the use of biogas is made. Advantages and disadvantages of the combustion of biogas in boilers, cogeneration and threegeneration plants and use of biogas as motor fuel and as an additive in the natural gas network. Analyzed the feasibility of using threegeneration biogas plants on farms is to produce organic fertilizer, electricity, heat and cold. It is established that the threegeneration makes better use of the energy of biogas during the year, reduce the use of non-renewable energy sources – natural gas and electricity, get a small payback period through the use of "green tariff" for the sale of electricity produced. The proposed scheme threegeneration biogas plants.*

*Keywords:* threegeneration, absorption refrigerating machine, engine of internal combustion, biogas installation, green tariff

**Вступ. Постановка задачі**

У зв'язку з енергетичною кризою в Україні використання альтернативних джерел енергії є все більш актуальним, а анаеробна переробка тваринницьких відходів із виробництвом біогазу, який за своїми властивостями незначно поступається природному газу, є одним з найбільш економічно, енергетично та екологічно ефективних методів утилізації відходів. Такий метод переробки відходів дозволяє зменшити викиди в атмосферу метану та аміаку, закислення ґрунтів, покращити умови праці та енерговитрати господарства за рахунок використання виробленого енергоносія – біогазу.

Світова практика показує, що отриманий біогаз доцільно використовувати таким чином [1].

- Біогаз може застосовуватися на місці його виробництва у якості палива, для отримання теплової енергії за допомогою парових або водогрійних котлів.

- З біогазу можна виробляти електроенергію за допомогою теплових двигунів. У той же час можна використовувати відхідну теплоту яка при цьому утворюється. Тому біогаз дозволяє впровадити цікаві можливості для децентралізованого енергозабезпечення і являє собою альтернативу, зокрема, для аграрних підприємств в Україні.

- Біогаз, очищений до якості природного газу (біометану), може подаватися в загальну газорозподільну мережу [2]. На відміну від дорогих і неефективних можливостей накопичення перемінних резервів сонячної та вітрової енергії, газорозподільна мережа дозволяє майже без втрат поєднати виробництво і споживання енергії. Є практика використання отриманого з відходів та очищеного біогазу як моторного палива для вантажного та пасажирського транспорту. Це дасть можливість зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище.

Найпростішим та найбільш дешевим варіантом використання біогазу є його безпосереднє спалювання в топках котлів із виробництвом теплоти. Така технологія дозволяє повністю покривати потреби біогазової установки та всього господарства в теплоті протягом року. Але в літній період виникають значні надлишки теплоти, які доводиться викидати в навколишнє середовище. Сезонне акумулювання теплоти або біогазу на даний момент, на нашу думку, не є економічно доцільним.

Збагачення біогазу до біометану може підвищити якість енергоносія. При цьому збагачений біогаз може або використовуватися безпосередньо на місці, або подаватися в існуючу мережу природного газу. Суттєва перевага такого варіанта в порівнянні з іншими полягає у використанні наявної інфраструктури. Так, не потрібно створювати жодних нових систем зберігання. Існуючі мережі природного газу, що мають величезні потужності, пропонують ефективне і економічне рішення для зберігання біометану. Завдяки однаковій якості біометану і природного газу біометан може використовуватися в існуючих технічних приладах (побутових, промислових, транспортних).

Біометан є високоефективним паливом для транспортних засобів. При цьому біомаса, з розрахунку на 1 гектар посівної площі використовується особливо ефективно у порівнянні з іншими видами пального (біоетанол, біодизель або ріпакова олія). Біометан може вже сьогодні застосовуватися в усіх автомобілях на природному газі без значних технічних модифікацій.

Недоліком технології біометану для невеликих аграрних підприємств є відносно високі капітальні та експлуатаційні витрати на системи очищення біогазу від вологи, сірководню та вуглекислоти.

Застосування біогазу у децентралізованому енергопостачанні сприяє скороченню імпорту енергоносіїв та підвищенню надійності енергопостачання, зокрема, у сільській місцевості. Все більше і більше фермерських господарств у Європі будують біогазові установки в безпосередній близькості від свого господарства для забезпечення себе і довколишніх сіл електроенергією і теплотою. Крім того, залишки бродиння з реактора можуть використовуватися як високоякісне добриво у землеробстві. Завдяки постійно доступній сировині, біогаз, а отже електроенергія і теплота, можуть вироблятися протягом усього року і, таким чином, створюють додаткову економічну опору для багатьох фермерських господарств, що сприяє стабільності і розвитку вітчизняного сільського господарства.

Часто проблемою децентралізованого виробництва електроенергії і теплоти стає відсутність відведення теплоти, що утворюється. Тому до початку будівництва біогазової установки потрібно визначити потенційних споживачів тепла, аби підвищити загальну ефективність системи. Незважаючи на недостатнє тепловідведення в Німеччині за останні роки (цьому сприяв Закон про поновлювані джерела енергії – EEG) було побудовано багато установок, які служать в основному для децентралізованого виробництва електроенергії і випускають невикористану теплоту в навколишнє середовище.

Тригенерація це комбіноване виробництво електроенергії, теплоти і холоду. При цьому особливість тригенерації полягає в тому, що холод виробляється абсорбційною холодильною машиною, яка, в основному, споживає теплову енергію, а не електричну [3].

Тригенерація є більш вигідною в порівнянні з когенерацією, оскільки дає можливість ефективно використовувати утилізовану після двигуна внутрішнього згорання теплоту не лише взимку для опалення, але і влітку для кондиціонування приміщень або для потреб технологічного охолодження. З цією метою можна використовувати абсорбційні бромистолітєві холодильні установки. Такий підхід дозволяє ефективно використовувати генерувальну установку цілий рік, тим самим не знижуючи високий коефіцієнт корисної дії енергоустановки в літній період, коли потреба в теплоті, яку виробляє таке устаткування, знижується.

Потенційним об'єктом для впровадження біогазових тригенераційних технологій є тваринницькі ферми. Тригенераційний комплекс дозволяє максимально знизити собівартість електроенергії, гарячого водопостачання, опалювання та охолодження на об'єкті застосування.

Мета даної роботи – оцінювання доцільності та розробка схеми енергоефективної тригенераційної біогазової установки для сільськогосподарського підприємства.

### Результати досліджень

За об'єкт дослідження було взято фермерське господарство «Щербич», Вінницької області Літинського району с. Багринівці. Поголів'я ферми складається з ВРХ 260 шт. та свиней 1800 шт., така кількість тварин дає змогу отримувати 1878,4 кубічних метри біогазу за добу [4], що заміщає собою 1181 кубічних метрів природного газу [5]. За рекомендаціями [6] розроблено та розраховано схему біогазової установки з використанням когенераційної установки. Також після одержання біогазу отримується велика кількість органічних добрив, що продаються або застосовуються в господарстві і призводять до значного підвищення врожайності культур [7]. При використанні такої схеми термін окупності проекту становить 2 роки [8].

Врахувавши, що на фермі крім вирощування тварин є виробництво м'ясо-молочної продукції було запропоновано використання тригенераційної установки з абсорбційною холодильною машиною [9], яка покриє значну частку споживання холоду господарством. На основі модернізації раніше запатентованої схеми [10] розроблена схема тригенераційної біогазової установки, показана на рис. 1.

Установка працює наступним чином. Свіжий субстрат завантажується з приймальної посудини 1 у змішувач 2 насосом 3, де він змішується із рідкою фракцією, що поступає з розділювача зброженого субстрату 4 під дією насоса рециркуляції рідкої фракції 5. Підготовлений у змішувачі 2 субстрат завантажується в біореактор 6. Отриманий в реакторах біогаз за допомогою компресора 7 подається у газгольдер 8 через гідрозатвор та осушувач отриманого біогазу, та фільтр для очищення від сірководню 9, звідки біогаз іде на двигун внутрішнього згорання 10, що виробляє електроенергію та теплоту. Вироблена в двигуні теплота за допомогою циркулюючої під дією насоса 11 води передається на теплообмінник систем обігріву 12, до абсорбційної холодильної машини 13 та, в разі необхідності, на градирню 14. Від теплообмінника систем обігріву 12 теплота з використанням циркуляційних насосів 15-18 передається до системи обігріву реакторів 6, змішувача 2, системи опалення приміщень, змійовика бака-акумулятора 3 системи гарячого водопостачання.

Зброжений субстрат з реактора 6 відводиться у розділювач 4, звідки відділена рідка фракція за допомогою насоса рециркуляції 5 повертається в змішувач 2, а згущений субстрат відводиться і використовується як добриво. Холод, отриманий в машині 13 використовується для попереднього охолодження молока, охолодження м'яса та кондиціонування молочного та м'ясозаготівельного цеху.

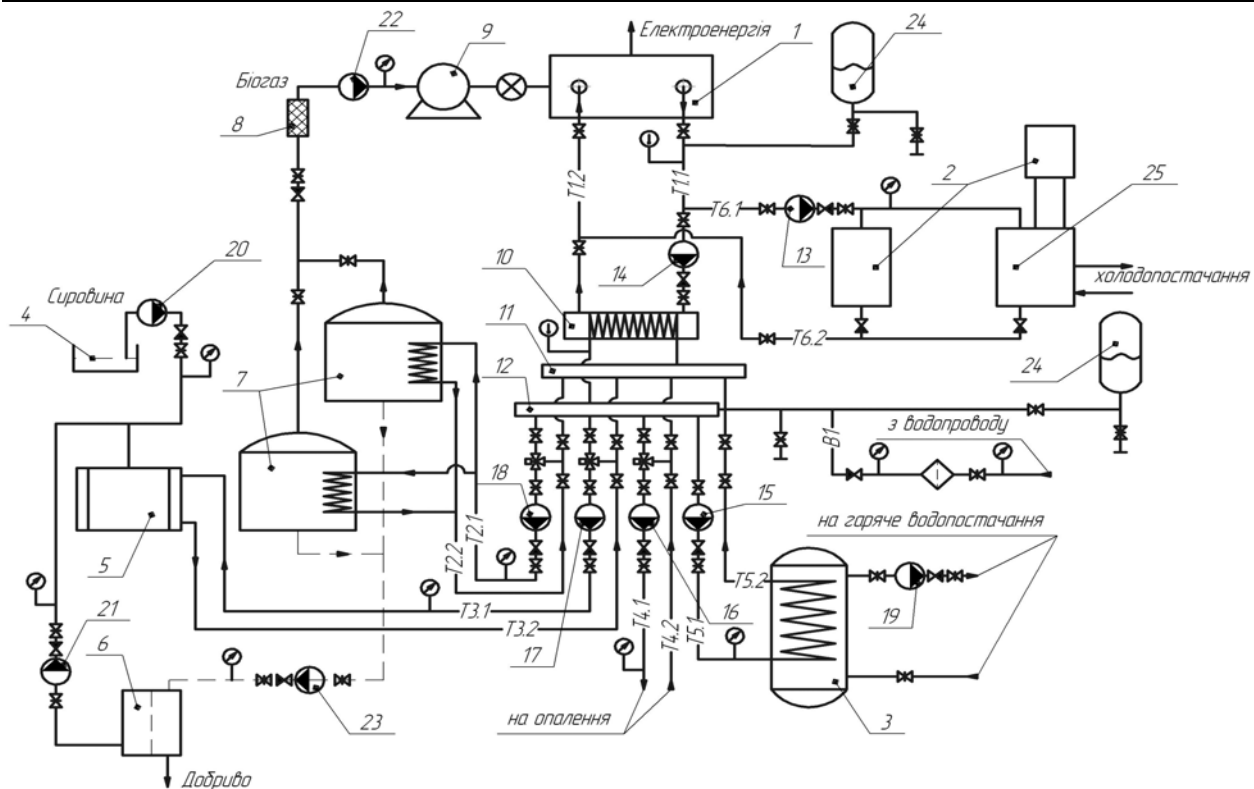


Рис. 1. Схема тригенераційної біогазової установки

Для даних умов є можливість отримання «зеленого тарифу» продажу електроенергії на енергоринок. Отримана з органічних відходів електроенергія має коефіцієнт до тарифу 2,30 [11]. Орієнтовні терміни окупності обладнання не перевищують 3–5 років. Крім того, впровадження тригенераційних систем дозволяє вирішити ряд екологічних, енергетичних та соціальних проблем. Тому, в цілому, можна зробити висновок про доцільність впровадження тригенераційних біогазових установок для малих та середніх тваринницьких господарств.

### Висновки

Сучасний стан забруднення навколишнього середовища та стан, в якому знаходиться комунальна енергетика вимагає пошуку енергоефективних екологічно чистих методів переробки органічних відходів. Анаеробне зброджування сільськогосподарських відходів дозволяє отримати комплексний ефект: покращити екологічний стан навколо підприємств та умови праці, зробити господарство енергонезалежним, отримати високоякісні добрива.

Однією з невирішених проблем біогазових установок є недостатньо ефективне використання отриманого біогазу. В результаті аналізу шляхів утилізації біогазу виявлено, що одним з найбільш перспективних методів є використання тригенераційної установки, яка складається з двигуна внутрішнього згорання та абсорбційної холодильної машини. Таке обладнання дозволяє повністю покрити потреби господарства в теплоті і в значній мірі покрити потреби господарства у електроенергії та холоді.

Техніко-економічні розрахунки показують терміни окупності тригенераційних біогазових установок для невеликих тваринницьких підприємств на рівні 3–5 років, що підтверджує доцільність впровадження таких систем в Україні.

### Література

1. Ткаченко С.Й. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки : монографія / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2004. – 132 с.
2. Біогазові установки [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.biteco-energy.com/biogazovye-ustanovki-3/>
3. Степанов Д.В. Холодильна техніка та технологія : навчальний посібник / Д. В. Степанов, Н. Д. Степанова – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 95 с.
4. Баадер В. Биогаз: Теория и практика / Баадер В., Доне Е., Брендерфер М. – М. : Колос, 1982. – 148 с.
5. Биомасса как источник энергии / [пер. с англ. ; под ред. С. Соуфера, О. Заборски]. – М. : Мир, 1985. – 368 с.
6. Ткаченко С.Й. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел тепlopостачання : навч. посібник / С. Й. Ткаченко, М. М. Чепурний, Д. В. Степанов. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 137 с.

7. Карп И. Н. Экономические показатели использования различных видов топлив в энергетике / И. Н. Карп, А. В. Степанов // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1999. – № 4. – С. 3–6.
8. Лялюк О.Г. Техніко-економічне обґрунтування вибору біогазової установки [Електронний ресурс] / О.Г. Лялюк, Ю.Я. Спринчук // Тези доповідей 46 Науково-технічної конференції ВНТУ. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2017/paper/view/1943/1863>
9. АБХМ на горячей воде [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://abxm-thermax.ru/abxm/abxm-na-goryachej-vode>
10. Патент України на корисну модель № 80552, МПК7 C02F11. Установка для виробництва енергоносіїв з органічних відходів / Степанов Д. В., Ткаченко С.Й., Степанова Н. Д. Промислова власність. – К. : Український інститут промислової власності. – опубл. 10.06.2013 р., бюл. № 11.
11. Про внесення зміни до Закону України "Про електроенергетику" щодо коефіцієнтів "зеленого" тарифу для електроенергії, виробленої з використанням альтернативних джерел енергії : закон України 1804-19 від 22.12.2016 р. // Відомості Верховної Ради. – 2017. – № 4. – Ст. 47.

#### References

1. Tkachenko S.Y. Teploobminni ta hidrodinamichni protsesy v elementakh enerhozabezpechennia biohazovoi ustanovky : monohrafiia / S. Y. Tkachenko, D. V. Stepanov. – Vinnytsia : UNIVERSUM–Vinnytsia, 2004. – 132 s.
2. Biohazovi ustanovky [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://www.biteco-energy.com/biogazovye-ustanovki-3/>
3. Stepanov D.V. Kholodylna tekhnika ta tekhnolohiia : navchalnyi posibnyk / D. V. Stepanov, N. D. Stepanova. – Vinnytsia : VNTU, 2008. – 95 s.
4. Baader V. Byohaz: Teoriia y praktyka / Baader V., Done E., Brenderfer M. – M. : Kolos, 1982. – 148 s.
5. Byomassa kak ystochnyk enerhyi / [per. s anhl. ; pod red. S. Soufera, O. Zaborsky]. – M. : Myr, 1985. – 368 s.
6. Tkachenko S.Y. Rozrakhunky teplovykh skhem i osnovy proektuvannia dzherel teplopостachannia : navch. posibnyk / S. Y. Tkachenko, M. M. Chepurnyi, D. V. Stepanov. – Vinnytsia : VNTU, 2005. – 137 s.
7. Karp Y. N. Ekonomicheskiye pokazately yspolzovaniya razlychnykh vydov toplyv v enerhetyke / Y. N. Karp, A. V. Stepanov // Ekotekhnolohyy y resursosberezhenye. – 1999. – # 4. – S. 3–6.
8. Lialiuk O.H. Tekhniko-ekonomichne obhruntuvannia vyboru biohazovoi ustanovky [Elektronnyi resurs] / O.H. Lialiuk, Yu.Ya. Sprynchuk // Tezy dopovidei 46 Naukovo-tekhnichnoi konferentsii VNTU. – Rezhym dostupu : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2017/paper/view/1943/1863>
9. АБХМ на горячей воде [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://abxm-thermax.ru/abxm/abxm-na-goryachej-vode>
10. Patent Ukrainy na korysnu model # 80552, MPK7 S02F11. Ustanovka dlia vyrobnytstva enerhonosiiv z orhanichnykh vidkhodiv / Stepanov D. V., Tkachenko S.Y., Stepanova N. D. Promyslova vlasnist. – K. : Ukrainskyi instytut promyslovoi vlasnosti. – opubl. 10.06.2013 r., biul. # 11.
11. Pro vnesennia zminy do Zakonu Ukrainy "Pro elektroenerhetyku" shchodo koefitsientiv "zelenoho" taryfu dlia elektroenerhii, vyroblenoi z vykorystanniam alternatyvnykh dzherel enerhii : zakon Ukrainy 1804-19 vid 22.12.2016 r. // Vidomosti Verkhovnoi Rady. – 2017. – # 4. – St. 47.

Рецензія/Peer review : 06.06.2017 р.

Надрукована/Printed : 20.8.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Ткаченко С.Й.