

УДК 621.316

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ГЕНЕРУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ АВТОНОМНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БІОГАЗУ

Стаднік Микола Іванович, д.т.н., доцент
Вінницький національний аграрний університет

N. Stadnik, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Vinnytsia National Agrarian University

Запропоновано методику формування складу та вибору потужності когенераційних генераторних установок для забезпечення автономного енергопостачання тваринницької ферми з використанням біогазу. Наведені практичні рекомендації по вибору потужностей генераторів електричної енергії, їх кількості, режимів роботи з урахуванням добового графіку споживання енергії, завантаження та ККД установок при забезпеченні автономного живлення підприємства.

Ключові слова: автономне енергопостачання, ферма, добове навантаження, склад генеруючого обладнання, біогаз, коефіцієнт корисної дії, когерентні станції, оптимізація, завантаження генераторів.
Ф. 5. Рис. 9. Табл. 2. Літ. 9.

1. Постановка проблеми

Вітчизняні аграрні підприємства, є значними споживачами паливно-енергетичних ресурсів тому перед ними постає об'єктивна необхідність використання альтернативних джерел енергії в т.ч. біологічних видів палива та впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій. Виробництво біогазу є ефективною та інвестиційною привабливою технологією, що зумовлюється наявністю значного сировинного потенціалу, сприятливими природно-кліматичними та інше.

Проте рівень запровадження цього виду енергії в АПК є недостатнім, що пов'язано з низкою питань, в тому числі з недостатнім рівнем практичних рекомендацій по вибору потужностей генераторів електричної енергії, їх кількості, режимів роботи з урахуванням добового графіку споживання енергії, завантаження та оптимальним ККД установок при забезпеченні автономного живлення підприємства.

Таким чином, для заданого добового графіка електричного навантаження в кожен момент часу (τ) потрібно знайти склад генеруючого обладнання та оптимальний розподіл активного навантаження N_t між ними таким чином, щоб забезпечити точне покриття графіка з максимальним середньозваженим ККД когенераційної установки за добу в цілому. Цьому питанню присвячена дана стаття.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемам енергетичної безпеки України на основі ВДЕ присвячена значна кількість робіт. Питання використання біопалива розглядається, зокрема в роботах Калетніка Г.М. та інших авторів. Вибір структури і складу систем електропостачання з відновлювальними джерелами висвітлюються в роботах Т.Г. Сабірзянова. Дослідження щодо вибору та використання когенераційної установки в АПК України проводилися в роботі І.В. Феофілова але не було враховано кількості когенераційних установок для ефективного покриття добового графіку навантаження [1-6].

3. Результати досліджень

Середня кількість корів на сільськогосподарських підприємствах в Україні складає 176 голів [4]. Для прикладу візьмемо, одну з ферм Вінницької області, на якій знаходиться 210 корів та 190 телят. Згідно даних підприємства вихід гною на добу складає 16300-16500 кг. Розглянемо можливість автономного енергозабезпечення ферми ВРХ за рахунок біогазу, який буде вироблятися на ній.

Визначимо добовий вихід біогазу з гною ВРХ [9].

$$V_2 = Q_{г.добр} \cdot Q_{г.ВРХ} \quad (1)$$

$Q_{г.добр}$ – добовий вихід гною на фермі - 16,3 т;

$Q_{г.ВРХ}$ – вихід біогазу ВРХ (з 1т гною ВРХ виділяється біля 46м³газу)[9].

$$V_2 = 16,3 \cdot 46 = 749,8 \text{ м}^3$$



Головні споживачі електроенергії існуючої ферми, доповнені потребами біогазової станції зведені в табл.1.

Таблиця 1

Характеристика споживачів енергії

№ п/п	Прилад	Потужність кВт	Кількість годин роботи за добу	Енергоспоживання за добу, кВт*год
1	Доїльна установка	26	6	156
2	Промивка доїльної установки	26	4,3	117
3	Холодильники для охолодження молока	5,5	11,3	63,25
4	Гноєтранспортер ТСН-3Б	1,5	6	9
5	Насос	28	12	52
6	Освітлення корівника та телятника (30/20/40 шт)	1,5	0,3	0,75
7	Освітлення корівника та телятника (30/20/40 шт)	0,065	10	22,7
8	Гноєтранспортер ТСН-2Б	18	7,2	34,665
9	Водонапірна Башня(насос)	7,5	6,3	48,75
10	Конвектор електричний термообігрівач ЭВНА	2,5	10	50
11	Освітлення території ферми та біогазової станції	0,082	11,1	16,078
12	Конвектор електричний Термія (обігрівач)	2	14	28
13	комп'ютер	0,5	9	4,5
14	чайник	2	0,3	1
15	Електрична плитка	3	2	6
16	Ремонтні роботи			15
17	Мішалка біореактора	5	8	40
18	Насос подачі біомаси в реактор	5	2	10
19	Комп'ютер біогазової станції	0,5	24	12

Побудуємо на підставі спостережень графік добового споживання електроенергії ферми ВРХ в якому врахуємо на підставі розрахунку потреби в електроенергії біогазової станції. В даній роботі показано розрахунок по найбільш енергозатратному періоді, тобто зимньому періоді.

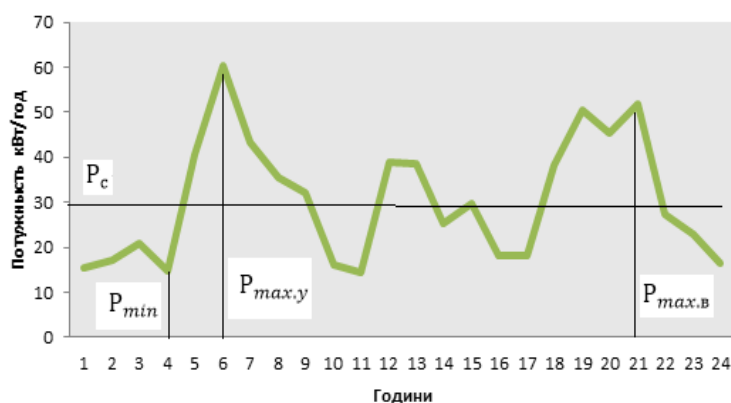


Рис. 1. Добове споживання електроенергії ферми ВРХ з урахуванням потреб в електроенергії біогазової станції: P_c – Середньодобове навантаження; P_{min} – мінімальне навантаження; $P_{max.y}$ – максимальне навантаження в ранішні години; $P_{max.v}$ – максимальне навантаження в вечірні години

Крім електроенергії ферма споживає теплову енергію, статистичний графік добового споживання якої наведено на рис. 2.

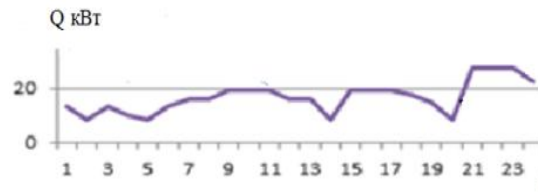
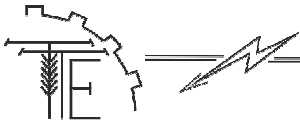


Рис. 2. Графік добового споживання теплової енергії

Теплова енергія на фермі використовується головним чином для обігріву приміщень та для підігріву води. Так як при використанні когенераційних станцій для виробництва електроенергії виділяється велика кількість тепла, замість використання електроводонагрівачів для підігріву води будемо використовувати тепло яке виділяється з когенераційної станції.

Як відомо, є декілька варіантів виробництва електроенергії з біогазу, найбільш поширений спосіб це виробництво електричної і теплової енергії в установках на базі двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) та електричного генератора.

Схема когенераційної установки наведена на рис. 4.

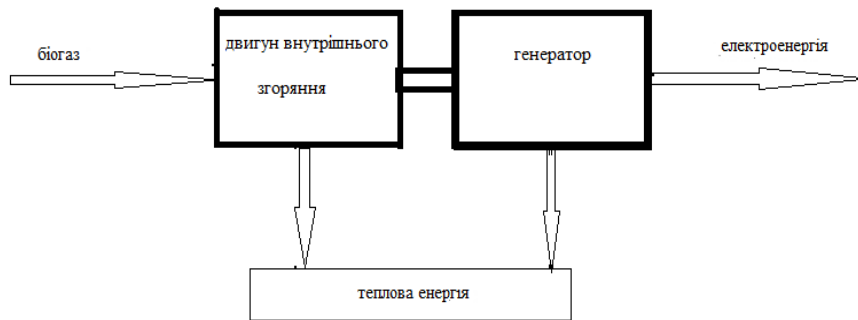


Рис. 3. Схема когенераційної установки.

Розглянемо залежність ККД від навантаження складових наведеної схеми. На графіках (рис. 4,5) приведена типова залежність ККД від коефіцієнта навантаження для двигуна внутрішнього згоряння [9] та електричного генератора [8]. З рис.6 видно, що при низьких навантаженнях ККД різко зменшується, тому цей фактор важливо враховувати при формуванні генеруючого обладнання, як кількості так і потужності окремих складових генераторної групи, а саме при її формуванні необхідно домагатися максимально можливого збігу номінальної потужності генераторної групи та відповідного навантаження часового відрізка добового графіку .

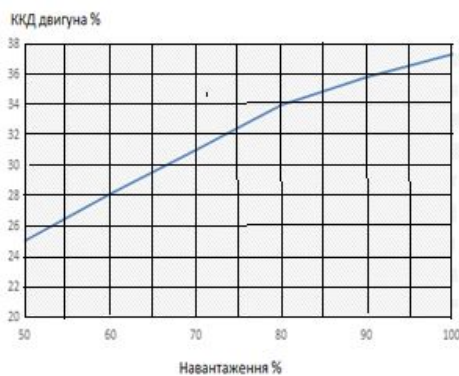


Рис. 4. ККД ДВЗ в залежності від навантаження.

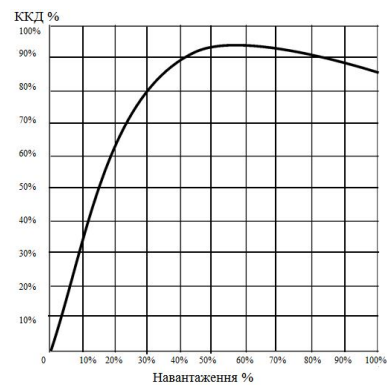
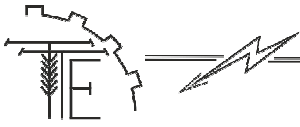


Рис. 5. ККД генератора в залежності від навантаження.

Питання полягає в виборі кількості рівнів потужності генераторів. Використання одного генератора потужність якого відповідає P_{max} буде характеризуватися низьким середньозваженим ККД.



Найбільш доцільно рівень потужності вибирати з урахуванням P_{\max} та P_{\min} та проміжних рівнів добового навантаження, для забезпечення максимального навантаження генераторів. Це з однієї сторони. А з іншої треба враховувати ряд типорозмірів генераторів, для конкретного діапазону P_{\max} та P_{\min} та можливі ступені їх регулювання, які, зазвичай, наводяться в технічній характеристиці. Треба зазначити відношення максимального навантаження до мінімального. Це відношення буде впливати на кількість рівнів потужності генераторів. Кількість рівнів потужності генераторів разом з їх дискретними регульовальними характеристиками будуть суттєво впливати на середньозважений ККД. В подальшому задача вирішується методом ітерації. Вибирається варіант з найбільшим середньозваженим ККД.

Для заданого добового графік електричного навантаження в кожен момент часу (τ) потрібно визначити склад генеруючого обладнання та оптимальний розподіл активного навантаження N_r між ними таким чином, щоб забезпечити точне покриття графіка з найвищим ККД за добу в цілому. Число генеруючих агрегатів визначимо виходячи з величин $P_{\max} = 60 \text{ кВт}$ та $P_{\min} = 14,99 \text{ кВт}$ [9, 10]:

$$n_r = \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \quad (2)$$

де n_r – число генеруючих агрегатів;

P_{\max} – максимальне навантаження;

P_{\min} – мінімальне навантаження.

З урахуванням типорозмірів генераторів в нашому випадку буде три рівня, а саме: 3-20 кВт, 2-30 кВт та 1-60 кВт.

Оптимізацію складу (кількості генераторів) та рівня потужності виконаємо, як уже зазначалося, методом ітерації з урахуванням (2). За критерій оцінки приймемо середньозважений ККД, (5) який визначимо, використовуючи залежності, які враховують рівень завантаження генератора та двигуна (Рис. 5-6.) [7, 8]. Рівень завантаження визначимо для кожного часового відрізка з урахуванням добового графіку (Рис.2) споживання електроенергії окремо для д.в.з. та генератора та характеристик залежності їх ККД від навантаження (3) (Рис. 5-6.).

$$K_n = \frac{P_2}{P_{2n}} \quad (3)$$

де K_n – рівень навантаження, кВт;

P_2 – споживана потужність, кВт;

P_{2n} – номінальна потужність когенераційної установки в залежності від ступеня завантаження, кВт.

На підставі цього з урахуванням (4) визначимо загальний ККД когенераційної установки в залежності від погодинного навантаження.

В статті розрахунки не наводяться а показано їх результати у вигляді графіків.

Розглянемо варіанти: одну когенераційну установку 60 кВт; дві по 30 кВт; три по 20 кВт.

Для порівняння визначимо з урахуванням (4) ККД когенераційної установки в залежності від погодинного навантаження [9].

$$\eta_3 = \eta_d \cdot \eta_e, \% \quad (4)$$

де η_3 – загальний ККД когенераційної установки;

η_d – ККД ДВЗ когенераційної установки;

η_e – ККД генератора когенераційної установки.

Результати розрахунків наведені на графіку.6.

Як видно з даного графіка, що найбільший ККД характеризує когенераційні установки 20 кВт, тому що навантаження на генератори складає в більшості годин від 75 до 100 % від номінальної потужності. Це дає можливість отримати максимальний ККД.

Також при виборі когенераційних установок потрібно враховувати середньозважений ККД на виробництво електричної енергії в залежності від погодинного навантаження.

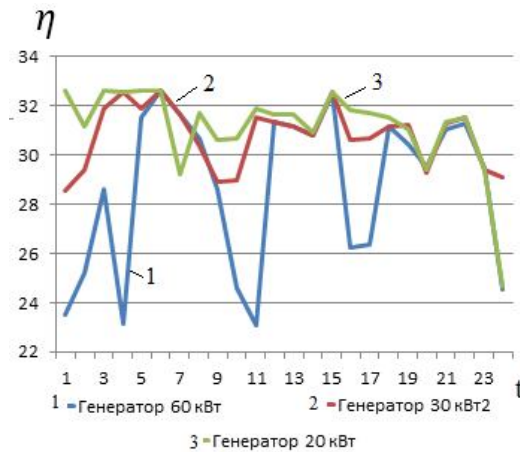


Рис.6. Графік ККД когенераційної установки

Визначимо середньозважений ККД даних установок[9]:

$$\eta = \frac{\eta_1 \cdot \tau_1 + \dots + \eta_n \cdot \tau_n}{\tau_1 + \dots + \tau_n} \quad (5)$$

де η_1 –погодинний ККД когенераційної установки % ;
 τ_1 –відрізок часу.

Як правило, сучасні когенераційні установки мають автоматичне регулювання навантаження на 50,75,100 % відповідно до потреб , що в свою чергу суттєво впливає на їх ККД. Тому при виборі когенераційної установки це є досить вагомий показник.

Дані генератори протягом доби працюють у всіх трьох режимах регулювання в залежності від навантаження.

З урахуванням вище зазначеного, були виконані розрахунки результати яких наведені в табл.2 та на рис.7,8,9.

Дані розрахунку середньозваженого ККД когенераційних установок наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Середньозважений ККД

Потужність когенераційної установки	60 кВт			2-30 кВт			3-20 кВт		
	100%	75%	50 %	100%	75%	50 %	100%	75 %	50%
Завантаження когенераційної установки	30,91	30,87	26,89	31,09	30,0	31,40	31,34	30,77	-
ККД в залежності від ступеня завантаження	28,72			30,76			31,12		
Середньозважений ККД	28,72			30,76			31,12		

Як видно із Рис.7 найвищий показник середньозваженого ККД у когенераційних установках 3-20 кВт.

Відповідно до навантаження визначаємо кількість теплової енергії яку виробляють дані установки.

Як видно з даного графіка найбільш оптимальним виробником теплової енергії є когенераційні установки потужністю 20 кВт. Також вони цілком забезпечують потреби ферми та біостанції тепловою енергією.

Ще одним досить важливим елементом вибору когенераційних установок є їхнє споживання газу для забезпечення ферми ВРХ електро та теплоенергією. Тому побудуємо графік споживання (на підставі технічних характеристик когенераційних станцій) та виробництва біогазу за добу.

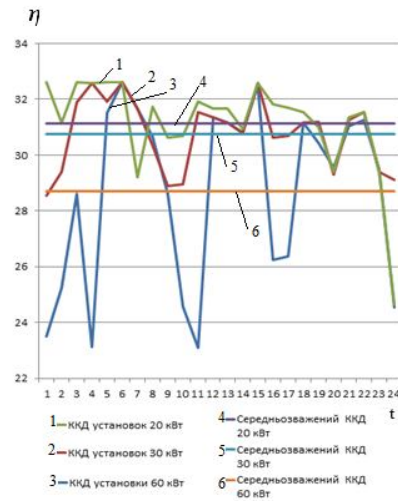
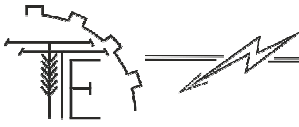


Рис. 7. Графік ККД з урахуванням середньозваженого значення

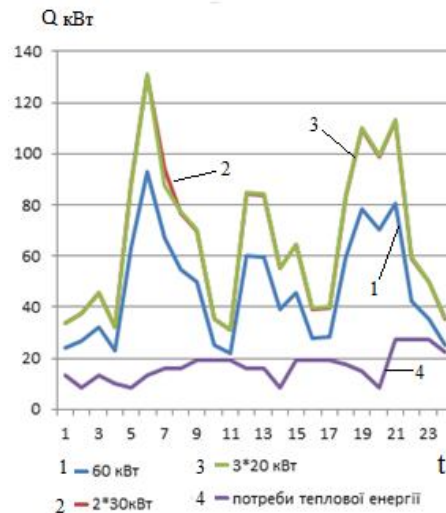


Рис. 8. Графік виробництва теплової енергії когенераційними установками та потреби теплової енергії.

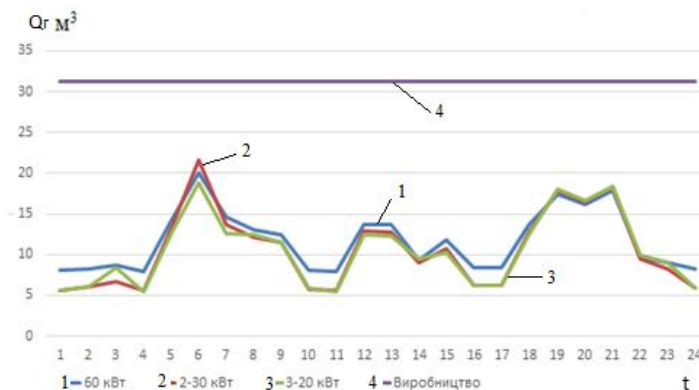


Рис. 9. Графік споживання та виробництва біогазу за добу

Виробництво біогазу складає 749 м^3 на добу. Для виробництва зазначеної кількості електричної та теплової енергії когенераційна установка потужністю 60 кВт споживає за добу 280.93 м^3 , дві установки потужністю 30 кВт за добу споживають 254.42 м^3 і три когенераційні установки потужністю 20 кВт за добу споживають 252.19 м^3 . Як видно з рис.9 при роботі когенераційної станції виникає надлишок газу, частину якого пропонується використовувати як резерв для забезпечення надійного енергопостачання а іншу частину газу реалізувати в комерційних цілях. Таким чином,



тваринницька ферма характеристика якої наведена вище, як показують розрахунки та їх аналіз, цілком і повністю може бути переведена на автономне енергопостачання, електричне та теплове, за рахунок біогазу, який можливо виробляти на ній.

4. Висновки

В роботі, на базі запропонованого підходу, а саме оптимізації складу автономних когерентних електростанцій з використанням біогазу по критерію середньозваженого ККД, виконано порівняння когенераційних установок в залежності від погодинного навантаження відповідно: 60кВт, 2*30кВт, 3*20кВт. Згідно розрахункових даних найбільш доцільно використовувати три генератори потужністю 20кВт, так як вони в характеризуються найбільшим середньозваженим ККД. Також ще одним досить суттєвим фактором що впливає на вибір даних генераторів є їх споживання газу, що дорівнює близько 252м³/добу. Виходячи з розрахунку кількості біогазу що може виробити біогазова станція а саме це становить майже 750м³/добу, споживання генераторів цілком забезпечується. Також було визначено кількість теплової енергії яка виробляється генераторами – вона теж задовольняє потреби ферми. Як видно з аналізу автономне енергопостачання подібної тваринницької ферми можливе, з надлишком газу частину якого можливо акумулювати для підвищення надійності енергопостачання а іншу частину реалізувати в комерційних цілях.

Список використаних джерел

1. Сабірзянов Т.Г. Методика вибору структури і складу систем електропостачання з відновлювальними джерелами / Т.Г. Сабірзянов, М.В. Кубкін, В.П. Солдатенко // Кіровоградський національний технічний університет. Серія : Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2011 – вип. 24, ч.П. – 130 с.
2. Калетнік Г.М. Біопаливо. Продовольча, енергетична та економічна безпека України: Монографія / Г.М. Калетнік – К. : Хай-Тек Прес, 2010. – 516 с.
3. Комплексна державна програма енергозбереження України на 1996 – 2010 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.kmu.gov.ua/document/28040307/Energozberezhennya/doc.
4. Баадер В. Биогаз. Теория и практика / Баадер В. [пер. с англ. В. Д. Виленский]. – Москва : Энергоатомиздат – 1984. – 152 с.
5. Никитин Г.А. Метановое брожение в биотехнологии / Г. А. Никитин. – Київ : Вища школа, 1999. – 207 с.
6. Землянка О.О. Експериментальне дослідження роботи перемішувачів пристроїв з метою гідродинамічного вдосконалення роботи біогазової установки / О.О. Землянка, М.В. Губинський // Металургическая теплотехника: сб. научн. тр. НМетАУ. – Днепропетровск: ПП Грек О.С. – 2007. – С. 151-156.
7. Белікова Л.Я. Электричні машини: навчальний посібник / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса: Наука і Техніка, 2011. – 480 с.
8. Дьяченко В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания. Учебник / В.Г. Дьяченко – Перевод с украинского языка. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 500 с.
9. Феофілов І.В. Підвищення ефективності когенераційної установки на основі двигуна внутрішнього згоряння за рахунок зволоження повітря / І. В. Феофілов // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. - 2013. - Вип. 185(1). - С. 166-174.
10. Матвійчук В.А. Аналіз режимів роботи мікроелектромереж і методів керування ними / В.А. Матвійчук, О.О. Рубаненко, В.В. Явдик // Всеукраїнський науково-технічний журнал. Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2017. – 1(96). – С.56-59

References

1. Sabirzianov, T.H. (2011). Metodyka vyboru struktury i skladu system elektropostachannia z vidnovliuvalnymy dzherelamy [Methodology for selecting the structure and composition of power supply systems with renewable sources]. *Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia* [in Ukrainian].
2. Kaletnik, H.M. (2010). *Biopalyvo. Prodovolcha, enerhetychna ta ekonomichna bezpeka Ukrainy: Monohrafiia* [Biofuels. Food, Energy and Economic Security of Ukraine: Monograph] Kyiv: Khai-Tek Pres [in Ukrainian].



3. Kompleksna derzhavna prohrama enerhozberezhennia Ukrainy na 1996 – 2010 rr [Integrated state energy saving program of Ukraine for 1996 - 2010]. – Rezhym dostupu: www.kmu.gov.ua/document/28040307/Energozberezhennya/doc [in Ukrainian].
4. Baader, V. (1984). *Byohaz. Teoryia y praktyka [Biogas. Theory and practice]* Moskva : Enerhoatomyzdat [in Ukrainian].
5. Nykytyn, H.A. (1999). *Metanovoe brozhenye v byotekhnolohyy [Methane fermentation in biotechnology]* Kyiv : Vyshcha shkola [in Russian].
6. Zemlianka, O.O. (2007). Eksperementalne doslidzhennia roboty peremishuiuchykh prystroiv z metoiu hidrodynamichnoho vdoskonalennia roboty biohazovoi ustanovky [Experimental research of mixing devices for the purpose of hydrodynamic improvement of biogas plant operation]. *Metalurhycheskaia teplotekhnika: sb. nauchn. tr. NMetAU* [in Ukrainian].
7. Bielikova, L.Ia. (2011). *Elektrychni mashyny: navchalnyi posibnyk [Electric cars: tutorial]* Odesa: Nauka i Tekhnika [in Ukrainian].
8. Diachenko, V.H. (2009). *Teoryia dvyhatelei vnutrenneho shoranyia [The theory of internal combustion engines]* Kharkov: KhNADU [in Ukrainian].
9. Feofilov, I.V. (2013). Pidvyshchennia efektyvnosti koheneratsiinoi ustanovky na osnovi dvyhuna vnutrishnoho zghoriannia za rakhunok zvolozhennia povitria [Increase the efficiency of the cogeneration unit based on the internal combustion engine due to humidification of air] *Tekhnika ta enerhetyka APK* [in Ukrainian].
10. Matviichuk, V.A., Rubanenko, O.O., Yavdyk, V.V. (2017). *Analiz rezhymiv roboty mikroelektromerzh i metodiv keruvannia nymy [Analysis of operating modes of microelectric networks and their management methods]* *Vseukrainskyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal. Tekhnika, enerhetyka, transport APK.- All-Ukrainian Scientific and Technical Journal. Engineering, power engineering, transport of agroindustrial complexes*, 56-59 [in Ukraine].

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОЙ ФЕРМЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОГАЗА

Предложена методика формирования состава и выбора мощности когенерационных генераторных установок для обеспечения автономного энергоснабжения животноводческой фермы с использованием биогаза. Приведены практические рекомендации по выбору мощностей генераторов электрической энергии, их количества, режимов работы с учетом суточного графика потребления энергии, загрузки и к.п.д. установок при обеспечении автономного питания предприятия.

Ключевые слова: автономное энергоснабжение, ферма, суточная нагрузка, состав генерирующего оборудования, биогаз, коэффициент полезного действия, когерентные станции, оптимизация, загрузки генераторов.

Ф. 5. Рис. 9. Табл. 2. Лит. 9.

OPTIMIZATION OF THE GENERATING EQUIPMENT OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY OF LIVESTOCK FARMS WHEN USING BIOGAS.

Methodology of forming of composition and choice of power of когенерационных of generator options is offered for providing of autonomous energy supply of stockraising farm with the use of biogas. Practical recommendations over are brought on the choice of powers of generators of electric energy, their amount, office hourstake into account day's chart of consumption of energy, loading and k.n.d. options at providing of autonomous feed of enterprise.

Key words: autonomous power supply, farm, daily load, composition of generating equipment, biogas, efficiency factor, coherent stations, optimization, loading of generators.

F. 5. Fig. 9. Tabl. 2. Ref. 9.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Стаднік Микола Іванович – доктор технічних наук, доцент кафедри «Електричних станцій і систем» Вінницького національного технічного університету (Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна, e-mail: stadnik1948@gmail.com).

Стадник Николай Иванович – доктор технических наук, доцент кафедры «Электрические станции и систем» Винницкого национального технического университета (Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, 21021, Украина, e-mail: stadnik1948@gmail.com).

Stadnik Nikolay – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Power Stations and Systems of the Vinnytsia National Technical University (95 Khmelnytsky Shosse, Vinnytsya, 21021, Ukraine, e-mail: stadnik1948@gmail.com).