

АНАЛІЗ КОГЕНЕРАЦІЙНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ЗА ВІДСУТНОСТІ ЗВ'ЯЗКУ З ЄДИНОЮ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖЕЮ

І.В. Феофілов, старший викладач

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Проаналізовані існуюча та запропонована схеми енергопостачання на базі когенераційної технології в умовах відсутності зв'язку з єдиною електромережею з точки зору економії первинного палива та строку окупності використаного обладнання.

Когенераційна установка, енергопостачання на базі когенераційної технології, режими узгодження постачальника і споживача енергій, коефіцієнт економії палива, строк окупності.

Енергопостачання на базі когенераційної технології є найефективнішим на сьогоднішній день варіантом постачання споживача енергіями. Когенераційні установки (КГУ) виробляють одночасно два види енергії від одного первинного джерела енергії: електричну, реалізуючи максимальне використання енергетичного потенціалу палива, і теплову – за рахунок утилізації тепла, що не використано при виробництві електроенергії. Така технологія дозволяє отримувати сумарний коефіцієнт корисної дії (ККД) в 90–92 % і вище (рис.1). У порівнянні з окремим виробленням енергій, коли електроенергія виробляється в конденсаційних електростанціях (КЕС), а теплова – в котельних установках (КУ), когенераційна технологія дозволяє економити близько 50 % первинного палива і отримувати відповідні покращення екологічних показників. Однак ефективне використання палива при виробленні енергій в КГУ є необхідною, але не достатньою умовою для ефективного енергопостачання споживача енергіями. По-перше, однією з умов високоефективного енергопостачання є невеликі відстані між постачальником і

споживачем енергій, що зменшує втрати енергій при транспортуванні. У випадку використання КГУ втрати енергій можна мінімізувати розташувавши КГУ поруч зі споживачем. По-друге, режими і пропорції споживання електричної та теплової енергії споживачем і їх вироблення КГУ практично не співпадають. Тому важливою задачею ефективного енергопостачання при використанні КГУ є узгодження постачаючих потужностей КГУ і енергетичних потреб споживача. Аналіз когенераційного енергопостачання за наявності зв'язку з єдиною електромережею розглянуто в роботі [1]. Ця робота присвячена когенераційному енергопостачанню при відсутності зв'язку з єдиною електромережею, що є характерним для об'єктів АПК в силу територіального розташування, погодних умов та інше.

Мета досліджень – проаналізувати ефективність різних схем когенераційного енергопостачання в умовах відсутності зв'язку з єдиною електромережею.

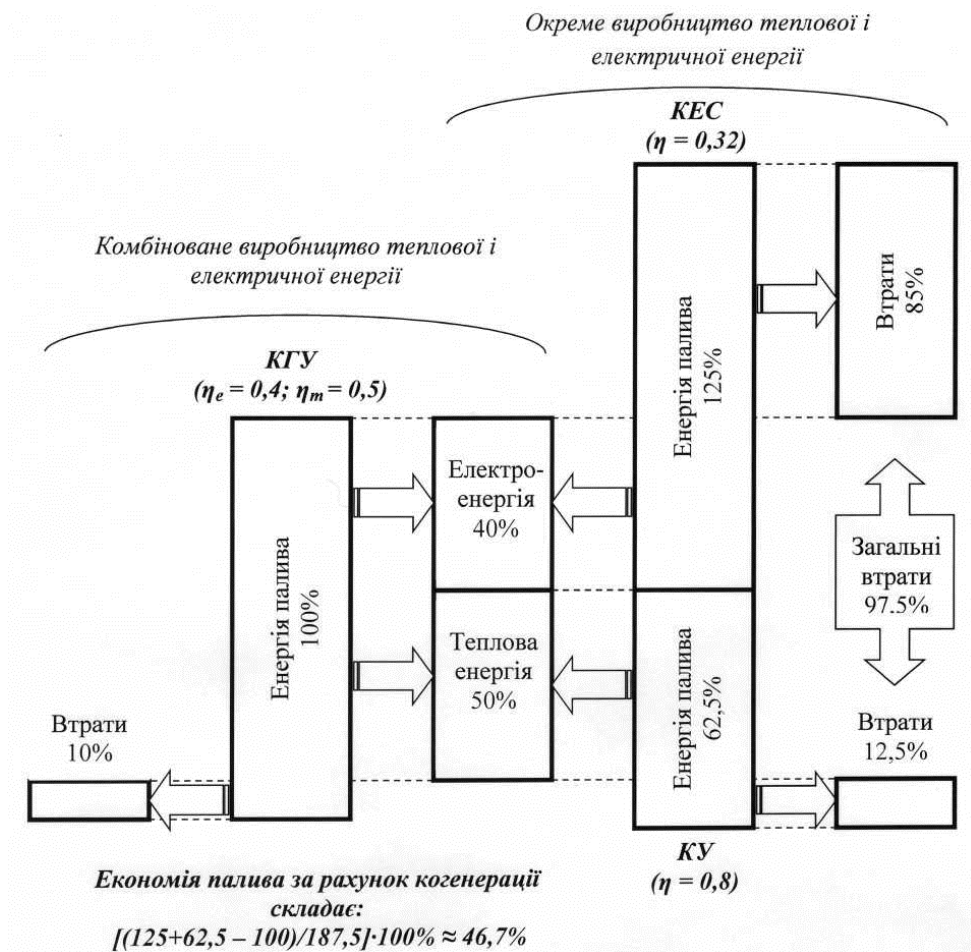


Рис. 1. Діаграма потоків енергії при комбінованому і окремому виробництві теплової і електричної енергії

Матеріали і методика досліджень. Існують наступні схеми узгодження постачальника і споживача [2]:

- *за тепловим навантаженням:* теплова потужність КГУ у будь-який момент часу дорівнює тепловому навантаженню споживача. Електрична енергія, якщо вона надлишкова – продається до єдиної електромережі, якщо її недостатньо – купується з електромережі;

- *за електричним навантаженням:* електрична потужність КГУ дорівнює електричному навантаженню споживача. Теплова енергія, якщо її більше ніж це потрібно споживачеві, – скидається в навколишнє середовище, якщо менше – використовуються додаткові теплові потужності;

- *змішані режими узгодження:* залежно від тарифів на електроенергію в певні дні і години в деякі періоди часу застосовуються режими узгодження за електричним навантаженням, в інші періоди часу – за тепловим навантаженням;

- *автономний режим:* повне задоволення електричних і теплових навантажень споживача за рахунок КГУ в будь-який час.

В умовах відсутності у споживача зв'язку з єдиною електромережею тільки автономний режим узгодження дозволяє забезпечити споживача енергіями у повному обсязі, але при цьому такий режим є й найбільш дорогим тому, що вимагає наявності резервних когенераційних потужностей в обсязі, що дорівнює енергетичним потужностям КГУ, для забезпечення надійного енергопостачання об'єкту. Вартість КГУ, що працює за автономним режимом узгодження, можна суттєво зменшити, якщо замість одного великого агрегату використовувати декілька агрегатів меншої одиночної потужності, які б мали таку саму сумарну потужність (рис.2) [3]. Тоді в резерві можна тримати КГУ значно меншої потужності і, відповідно, меншої вартості.

При цьому загальна вартість всієї когенераційної системи, що використовується для забезпечення споживача енергіями, зменшується. Ефект зменшення вартості КГУ за рахунок дроблення її енергетичних потужностей ще сильніший для КГУ на базі поршневих двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ): в цьому випадку отримується подвійний ефект – від зменшення потужності

резервного агрегату та від зменшення питомої вартості при менших одиночних потужностях агрегатів КГУ (рис.3) [4].

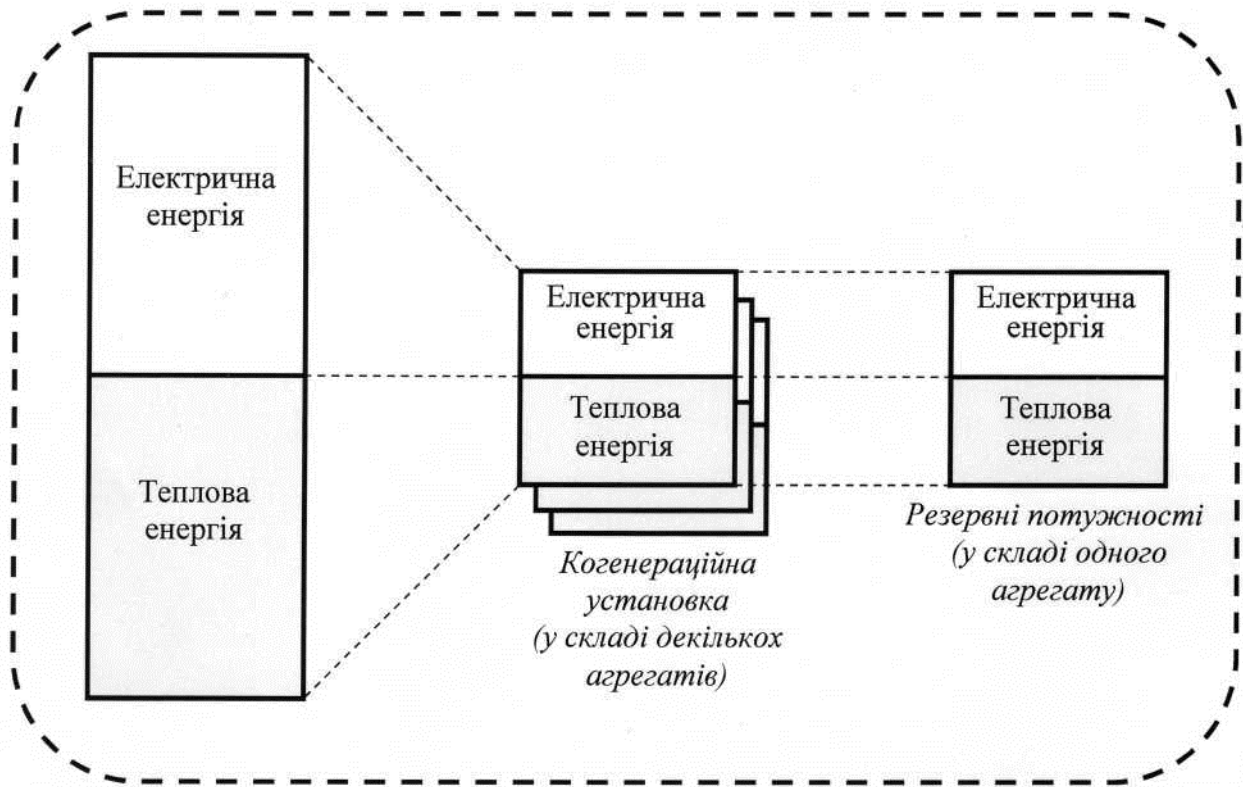


Рис. 2. Автономний режим узгодження потужностей з використанням декількох агрегатів у складі однієї когенераційної установки

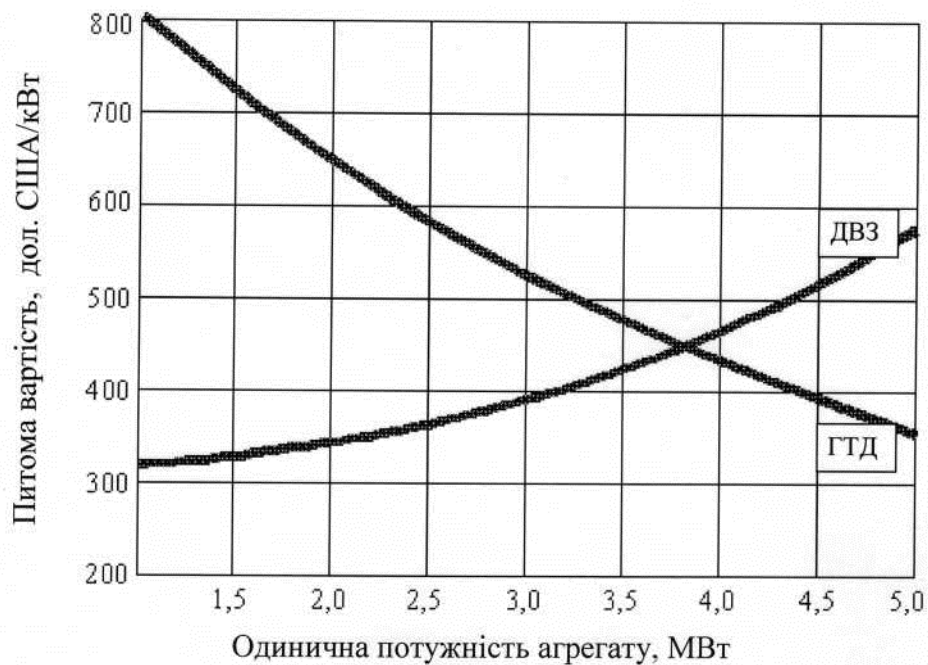


Рис. 3. Питома вартість поршневої та турбінної КГУ

Схема енергопостачання від КГУ, що складається з декількох агрегатів, є більш гнучкою, надійною і ефективною при енергопостачанні об'єкту в умовах відсутності зв'язку з єдиною електромережею та дозволяє забезпечити споживача енергіями з мінімальними її втратами в різні періоди року. Покажемо це шляхом порівняння існуючої і запропонованої схем енергопостачання об'єкту в опалювальний і неопалювальний періоди року. Основною умовою порівняння схем енергопостачання є задоволення потреб споживача в електричній та тепловій енергії у повному обсязі. На рис. 4 і 5 представлені, відповідно, існуюча та запропонована схеми енергопостачання на базі КГУ.

Характерним для запропонованої схеми енергопостачання є:

1. Наявність декількох агрегатів у складі однієї КГУ і, відповідно, використання в якості резерву агрегата меншої потужності.

2. Застосування різних степенів навантаження агрегатів КГУ в опалювальний і неопалювальний період, використовуючи властивість КГУ на базі ДВЗ зберігати значення ККД практично незмінним в діапазоні навантажень: від 30 до 100 % [4].

3. Переведення частини виробленої в КГУ електроенергії в теплову енергію в опалювальний період для повного забезпечення потреб споживача у тепловій енергії і відмова від додаткових джерел теплоти.

Для порівняння схем енергопостачання вибираємо об'єкт з енергоспоживанням, наведеним у табл.1, що характерно для великих тваринницьких господарств АПК України в Київській області. Паливом, що використовується, є природний газ. Сумарний ККД обраних агрегатів КГУ дорівнює $\eta_{\Sigma}^{KГУ} = 0,92$. Співвідношення вироблених КГУ теплової та електричної енергії становить 1.19, що обумовлює значення електричного та теплового ККД КГУ: $\eta_e^{KГУ} = 0.42$ та $\eta_T^{KГУ} = 0.5$, відповідно. Узгодження споживача та КГУ здійснюємо за електричною енергією виходячи з умов неможливості брати чи віддати електроенергію до єдиної електромережі внаслідок відсутності зв'язку з нею, а також з того, що вартість вироблення

електричної енергії приблизно в 2,5 рази більше за вартість вироблення теплової енергії.

1. Енергоспоживання об'єкту, що розраховується

Період року	Тривалість τ , діб	Споживання тепла $Q_T^{сп}$, МВт	Споживання електроенергії $Q_e^{сп}$, МВт
Опалювальний	187	6	2,4
Неопалювальний	178	2	2,4

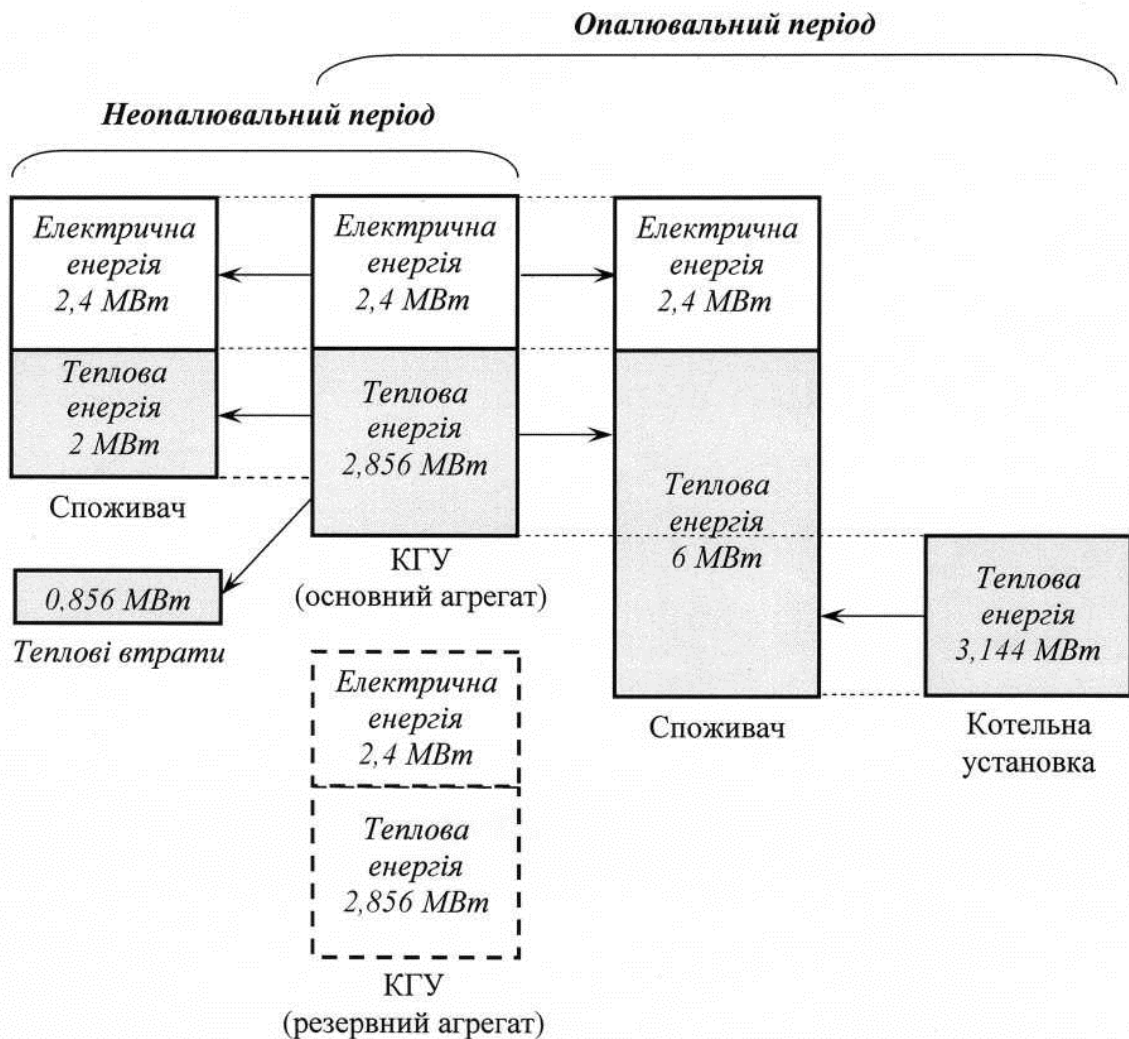


Рис. 4. Існуюча схема енергопостачання на базі КГУ при відсутності зв'язку з єдиною електромережею

Характерним для існуючої схеми енергопостачання є наявність резервної потужності КГУ, яка використовується при виході з ладу основного агрегату КГУ, а також додаткового джерела теплоти у вигляді котельної установки, що

підключається до енергопостачання об'єкту в опалювальний період року, коли власних теплових потужностей КГУ не вистачає.

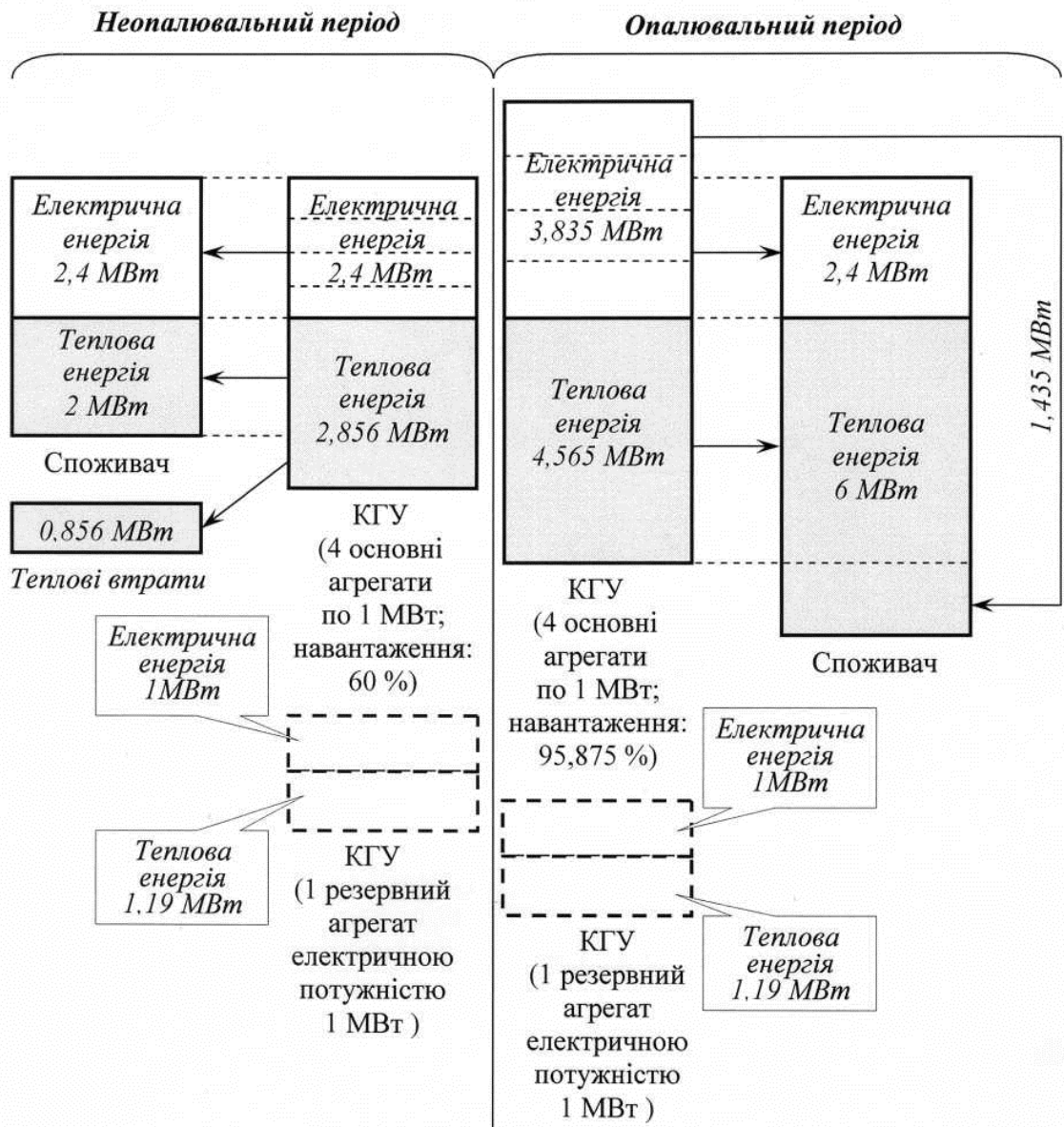


Рис. 5. Запропонована схема енергопостачання на базі КГУ при відсутності зв'язку з єдиною електромережею

Аналіз двох схем енергопостачання здійснюємо на основі порівняння їх основних показників ефективності з традиційною схемою енергопостачання, в якій електроенергія надходить з єдиної електромережі, а теплова енергія – від котельних установок. Визначаємо коефіцієнт економії палива ϵ , що характеризує економію палива при переході від традиційного енергопостачання об'єкта до енергопостачання на базі когенераційної технології [3]:

$$\varepsilon = \frac{Q_n^{окр} - \left(Q_n^{КГУ} + \frac{\Delta Q_T}{\eta_k} \right)}{Q_n^{окр}}, \quad (1)$$

де $Q_n^{окр} = B^{окр} Q_n^p$ – кількість тепла палива, яка витрачена в одиницю часу за традиційною технологією, МВт; $B^{окр}$ – кількість палива, витраченого за традиційною технологією в одиницю часу, м³/с; $Q_n^p = 35,7$ МДж/м³ – нижча теплота згоряння природнього газу; $Q_n^{КГУ} = B^{КГУ} Q_n^p$ – кількість тепла палива, що витрачається за когенераційною технологією в одиницю часу, МВт; $B^{КГУ}$ – кількість палива, витраченого за когенераційною технологією в одиницю часу, м³/с; ΔQ_T – кількість додаткових теплових потужностей, МВт; η_k – ККД котельної установки – агрегату, за допомогою якого виробляється теплова енергія при традиційній схемі енергопостачання.

Кількість тепла палива витрачену за традиційною технологією $Q_n^{окр}$, визначаємо, враховуючи теплові та електричні потреби споживача:

$$Q_n^{окр} = \frac{Q_T^{cn}}{\eta_k} + \frac{Q_e^{cn}}{\eta_{ТЕС}}, \quad (2)$$

де $\eta_k = 0,8$ та $\eta_{ТЕС} = 0,32$ – ККД традиційного вироблення теплової та електричної енергії, відповідно.

Кількість тепла палива, витрачену за когенераційною технологією $Q_n^{КГУ}$, визначаємо, враховуючи теплові або електричні потужності КГУ:

$$Q_n^{КГУ} = \frac{Q_T^{КГУ}}{\eta_T^{КГУ}} \quad \text{або} \quad Q_n^{КГУ} = \frac{Q_e^{КГУ}}{\eta_e^{КГУ}}, \quad (3)$$

де $Q_T^{КГУ}$ та $Q_e^{КГУ}$ – теплова та електрична потужність КГУ; $\eta_T^{КГУ}$ – тепловий ККД КГУ; $\eta_e^{КГУ}$ – електричний ККД КГУ.

Витрати палива при енергопостачанні за традиційною технологією розраховуємо за формулою:

$$B^{окр} = B_1^{окр} + B_2^{окр} = \frac{86400 \tau_1 Q_{n1}^{окр}}{Q_n^p} + \frac{86400 \tau_2 Q_{n2}^{окр}}{Q_n^p}, \quad (4)$$

де $B_1^{окр}$ та $B_2^{окр}$ – витрати палива при енергопостачанні за традиційною технологією в опалювальний та неопалювальний період, м³; $Q_{n1}^{окр}$ та $Q_{n2}^{окр}$ – тепло палива, витраченого в одиницю часу за традиційною технологією в

опалювальний та неопалювальний період, МВт; τ_1 та τ_2 – тривалість опалювального та неопалювального періоду, діб.

Витрати палива при енергопостачанні за когенераційною технологією розраховуємо за формулою:

$$B^{KГУ} = B_1^{KГУ} + B_2^{KГУ} = \frac{86400\tau_1(Q_{n1}^{KГУ} + Q_n^{KV})}{Q_n^p} + \frac{86400\tau_2 Q_{n2}^{KГУ}}{Q_n^p}, \quad (5)$$

де $Q_n^{KV} = \Delta Q_T / \eta_k$ – тепло палива, витраченого в одиницю часу в котельній установці, МВт; $Q_{n1}^{KГУ}$ та $Q_{n2}^{KГУ}$ – тепло палива витраченого в КГУ в одиницю часу в опалювальний та неопалювальний період, МВт; $B_1^{KГУ}$ та $B_2^{KГУ}$ – витрати палива при енергопостачанні за когенераційною технологією в опалювальний та неопалювальний період, відповідно, м³.

Річна економія палива E при переході з традиційної на когенераційну схему енергопостачання:

$$E = E_1 + E_2, \quad (6)$$

де $E_1 = B_1^{окр} \varepsilon_1$ – економія палива в опалювальний період; $E_2 = B_2^{окр} \varepsilon_2$ – економія палива в неопалювальний період; ε_1 та ε_2 – коефіцієнти економії палива в опалювальний та неопалювальний періоди року, відповідно.

Знаючи вартість одиниці палива w , можна визначити річну економію при енергопостачанні об'єкта від КГУ:

$$W_\varepsilon = wE. \quad (7)$$

Для порівняння схем когенераційного енергопостачання достатньо зупинитись на певному значенні w . Наприклад, вартість 1 м³ природного газу в Україні в травні 2013 року складала $w \approx 3,2$ грн./м³ [6].

Для існуючого варіанту когенераційного енергопостачання вартість 1 кВт електричної потужності КГУ (рис. 3) при одиничних потужностях 2,4 МВт, становить близько 360 дол. США, що дозволяє визначити вартість всієї КГУ, враховуючи основний і резервний агрегат: 1,728 млн. дол. США або 13,824 млн. грн. Треба зауважити, що в існуючому варіанті енергопостачання в опалювальний період крім КГУ використовується КУ потужністю 3,144 МВт. Враховуючи вартість 1 кВт потужності КУ, що становить близько 500 грн./кВт,

вартість потрібної КУ дорівнює $W^{КУ} \approx 1,572$ млн. грн., яку треба додати до вартості самої КГУ. Тому вартість обладнання за існуючим варіантом когенераційного енергопостачання складає 15,396 млн. грн.

Для запропонованого варіанту когенераційного енергопостачання вартість 1 кВт електричної потужності КГУ при одиничних потужностях 1 МВт, становить близько 320 дол. США. До складу КГУ входять 4 основні агрегати та один резервний агрегат електричною потужністю 1000 кВт кожний. Вартість всієї КГУ по запропонованому варіанту когенераційного енергопостачання складає 12,8 млн. грн.

Строк окупності КГУ (у роках) розраховуємо за формулою:

$$T = \frac{W_{вар} k}{W_{\epsilon}}, \quad (8)$$

де $W_{вар}$ – вартість обладнання, що використовується по певному варіанту когенераційного енергопостачання; k – коефіцієнт, що враховує заробітну платню персоналу, регламентні і аварійні роботи при обслуговуванні ДВЗ і КУ та інші щорічні витрати при обслуговуванні обладнання. Приймаємо його таким, що дорівнює $k \approx 1,1$.

Результати досліджень наведено у вигляді табл. 2.

2. Порівняння ефективності існуючого і запропонованого варіантів когенераційного енергопостачання

Параметр		Варіант когенераційного енергопостачання			
		Існуючий		Запропонований	
		Період року			
		Неопалювальний	Опалювальний	Неопалювальний	Опалювальний
Потреби споживача в енергіях	електрична Q_e^{cn} , МВт	2,4	2,4	2,4	2,4
	теплова Q_T^{cn} , МВт	2,0	6,0	2,0	6,0
Потужності КГУ (основний агрегат)	електрична Q_e^{KGV} , МВт	2,4	2,4	0,6x4x1=2,4	0,96x4x1=3,835
	теплова Q_T^{KGV} , МВт	2,856	2,856	0,6x4x1,19=2,856	0,96x4x1,19=4,565
Потужності КГУ (резервний агрегат)	електрична, МВт	2,4	2,4	1	1
	теплова, МВт	2,856	2,856	1,19	1,19
Додаткові теплові потужності КУ ΔQ_T , МВт		–	3,144	–	–
Теплота палива, витрачена в КУ Q_n^{KV} , МВт		–	3,93	–	–
Теплота палива, витрачена в КГУ Q_n^{KGV} , МВт		5,71	5,71	5,71	9,13
Витрати палива за когенераційною технологією B^{KGV} , млн. м ³		2,46	4,36	2,46	4,13
		6,82		6,59	
Теплота палива, витрачена за традиційною технологією Q_n^{okp} , МВт		10	15	10	15
Витрати палива за традиційною технологією B^{okp} , млн. м ³		4,308	6,789	4,308	6,789
		11,097		11,097	
Коефіцієнт економії палива ϵ		0,429	0,357	0,429	0,391
Економія палива E , млн.м ³		1,848	2,424	1,848	2,654
		4,272		4,502	
Річна економія коштів W_ϵ , млн. грн		13,6704		14,4064	
Економія коштів на одиницю витраченого палива W_ϵ/B^{KGV} , грн./м ³		2,0		2,186	
Вартість обладнання при використанні когенераційної технології W_{var} , млн. грн.		15,396		12,8	
Строк окупності T , рік		1,24		0,98	

Висновки

1. Енергопостачання об'єкту за допомогою КГУ, що складається з декількох агрегатів, дозволяє отримати більшу річну економію коштів, зменшити вартість обладнання, що використовується, і отримати на 20 % менший строк окупності в порівнянні з існуючим варіантом когенераційного енергопостачання. Строк окупності когенераційного енергопостачання по запропонованому варіанту не перевищує одного року.

2. Економія коштів на одиницю витраченого первинного палива в запропонованому варіанті когенераційного енергопостачання більше ніж в існуючому і складає 2,186 грн./м³. При вартості природнього газу 3,2 грн./м³ фактичні витрати на паливо після закінчення строку окупності складатимуть трохи більше 1 грн./м³.

3. Надійність енергопостачання за допомогою КГУ, що складається з декількох агрегатів, за відсутності зв'язку з єдиною електромережею підвищується: навіть вихід з ладу двох агрегатів для запропонованого варіанту енергопостачання не є критичним на відміну від існуючого варіанту, де енергопостачання об'єкту припиняється зовсім.

Список літератури

1. Феофілов І.В. Порівняння різних схем когенераційного енергопостачання за наявності зв'язку з єдиною електромережею // Науковий вісник НУБіП України . Серія: «Техніка та енергетика АПК». – 2013. – №184, ч.2. – С. 265-274.
2. Клименко В.Н. Когенерационные системы с тепловыми двигателями: справочное пособие: [в 3 ч.]. Ч. 1: Общие вопросы когенерационных технологий/Клименко В.Н., Мазур А.И., Сабашук П.П. – К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2008. – 560 с.
3. Феофілов І.В. Підвищення ефективності роботи когенераційної установки на основі дроблення її енергетичних потужностей / І.В.Феофілов // Науковий вісник НУБіП України. – 2012. – №174, ч.1. – С.75–80.

4. Горозий В.М. Исследование схем выдачи мощности когенерационных газовых электрических станций. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2006/eltf/gorozii/diss/index.htm>
5. Горобець В.Г. Когенераційні установки та їх використання в агро-промисловому комплексі/В.Г Горобець, І.В.Феофілов – К.:ЦП «Компринт»,2012, – 294с.
6. Фактична ціна реалізації для газу природного (Середня митна вартість імпортного природного газу, що склалася у процесі його митного оформлення під час ввезення на територію України (травень 2013). [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://www.me.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=209457&cat_id=133291

Проанализированы существующая и предложенная схемы энергоснабжения на базе когенерационной технологии в условиях отсутствия связи с единой электросетью с точки зрения экономии первичного топлива и срока окупаемости использованного оборудования.

Когенерационная установка, энергоснабжение на базе когенерационной технологии, режимы согласования поставщика и потребителя энергий, коэффициент экономии топлива, срок окупаемости.

Analyzed the existing and proposed schemes of power supply based on cogeneration technologies in the conditions of absence of communication with the unified power grid in terms of primary fuel savings and payback period of the equipment used.

Cogeneration plant, energy supply on a base of cogeneration technology, modes of concordance of supplier and user of energies, coefficient of economy of fuel, term of recoupment.