

УДК 620.9

ЗАДВЕРНЮК В.В., НАХОДОВ В.Ф., ДУБРОВСЬКА В.В., ШКЛЯР В.І.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

ВИБІР ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ СХЕМИ АВТОНОМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА ТЕПЛОВОЮ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЮ ЕНЕРГІЄЮ

Наведені різні варіанти схем автономного енергозабезпечення промислового підприємства. Проведено порівняльний аналіз технічних, економічних та екологічних характеристик цих схем. Результати аналізу свідчать про значні переваги використання енергетичного модуля на базі ГТУ.

Приведены различные варианты схем автономного энергоснабжения промышленного предприятия. Произведен сравнительный анализ технических, экономических и экологических характеристик этих систем. Результаты анализа свидетельствуют о значительных преимуществах использования энергетического модуля на базе ГТУ.

Industrial enterprises power supply autonomous schemes different variants are given. The comparative analysis of the technical, economical and ecological characteristics of these schemes is made. Analysis results show about considerable advantages of power module use on basis of gas-turbine unit.

P – тиск, МПа;
ГТУ – газотурбінна установка;
 T – температура, °С;
БКАЕ – блочна комплексна автоматизована електростанція;
ККД- коефіцієнт корисної дії;
ГВП- гаряче водопостачання;

NO_x – окисли азоту, мг/ нм^3 ;
КУ – когенераційна установка;
СО – окисли вуглецю, мг/ нм^3 ;
ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;
ПТУ – паротурбінна установка;
ГПТУ – газопаротурбінна установка.

Вступ

Комбіноване виробництво тепла та електричної енергії відноситься до добре відомих заходів щодо економії паливних ресурсів, ефективність якого доведена багаторічною практикою розвитку систем теплофікації, як за кордоном так і в Україні.

Більшість систем когенерації ґрунтується на первинних двигунах типу парових турбін, газових турбін, двигунах внутрішнього згорання і на застосуванні комплексної когенерації.

Мета дослідження

Метою даної роботи є порівняння різних технологічних схем виробництва теплоти і електроенергії для забезпечення автономного виробництва промислового підприємства.

Розглянемо промислове підприємство з певним енергетичним навантаженням. Для роботи під-

приємства в автономному режимі необхідно забезпечити всіма видами потрібної енергії, а саме:

- рою на технологічні потреби ($P = 1,3$ МПа, $T = 191$ °С) з витратою 7,8 т/год;
- електроенергією (змінний струм напругою 6300 В) - 2,5 МВт;
- гарячою водою на потреби системи опалення за температурним графіком 150/70 °С – 2,9 Гкал/год;
- гарячою водою температурою 70 °С на потреби ГВП – 0,11 Гкал/год.

Виходячи з потреб підприємства в електричній і тепловій енергії, для розгляду можна запропонувати три технічно прийнятні схеми енергогенеруючих модулів з різними тепловими двигунами:

- енергогенеруючий модуль на базі парової турбіни з протитиском і відбором пари Р 2.5-15/6 М-1 потужністю 2,5 МВт;

- енергогенеруючий модуль на базі газотурбінної установки потужністю 2,5 МВт;
- енергетичний модуль на базі когенераційної установки (з поршневим двигуном внутрішнього згоряння) потужністю 1 МВт (від 1 до 3 двигунів).

Запропоновані варіанти схем відрізняються складом основного енергетичного устаткування.

При цьому незмінними для кожного варіанта залишаються система водопідготовки і паливне господарство та повернення конденсату для повторного використання в виробництві пари.

Енергогенеруючий модуль на базі парової турбіни з протитиском Р 2,5-15/6М-1 і відбором пари на технологічні потреби

Теплову схему енергогенеруючого модуля з паровою турбіною Р-2.5-15/6М-1 представлено на рис. 1, а її технічні та економічні характеристики наведено в таблиці.

З таблиці видно, що енергогенеруючий модуль на базі парової турбіни здатний забезпечити підприємство всіма потрібними видами енергії в достатніх обсягах. Але враховуючи те, що відбір свіжої пари не передбачався заводом-виробником, то виникне потреба в додатковому конструкторському доопрацюванні теплової схеми турбіни під запропонований варіант. Слід також звернути увагу на те, що турбіна з протитиском і відбором свіжої пари має низький електричний ККД, який не перевищує 8,54 %, що обумовлює надмірне споживання природного газу до 3054,4 нм³/годину і має великі викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище – NO_x = 550...600 мг/нм³, що в 5,5...6 разів вище світової норми, СО = 180...250 мг/нм³. Крім того, при застосуванні парової турбіни Р-2.5-15/6М-1 виникнуть проблеми з реалізацією надлишкової теплоти пари на виході з турбіни (витрати пари 29,5 т/год, P = 0,12 МПа, T = 113 °C).

Енергогенеруючий модуль на базі газотурбінної установки потужністю 2,5 МВт

В якості енергогенеруючого модуля на базі газотурбінної установки ГТУ потужністю 2,5 МВт вибрано установку з промисловим двигуном UGT-2500, що створена НВП "Машпроект"

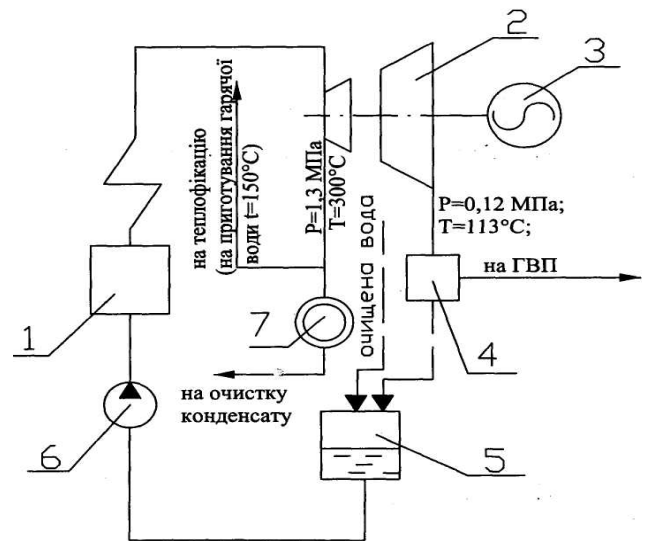


Рис. 1. Принципова схема енергогенеруючого модуля з паровою турбіною Р-2.5-15/6М-1 з протитиском і відбором свіжої пари на технологічні потреби.

- 1 – котельний агрегат; 2 – парова турбіна; 3 – електрогенератор; 4 – пароводяний теплообмінник; 5 – бак живильної води; 6 – живильний насос; 7 – споживач пари технологічних потреб.

(м. Миколаїв) і має назву: блочно-комплексна автоматизована електростанція.

Вона складається з двох основних блоків: енергетичного (газотурбінний модуль UGT-2500 з редуктором і електрогенератором) блок-модуля і блок-модуля контуру, що утилізує тепло (котел-утилізатор і теплообмінник гарячої води).

Принципову теплову схему БКАЕ представлено на рис. 2, а технічні характеристики наведені в таблиці. Крім технічних характеристик, приведених в таблиці, слід зазначити, що котел-утилізатор здатний виробити необхідну кількість пари і гарячої води при непрацюючому газотурбінному двигуні, за допомогою використання допалювального паливника.

До приведених технічних параметрів варто додати:

-БКАЕ здатна виробляти заданий обсяг електричної енергії й одночасно стійко працювати короткі проміжки часу на потужності, що перевищує 2,5 МВт на 10 %, а при зниженні температури навколишнього середовища нижче розрахунко-

Таблиця. Технічні характеристики енергогенеруючих модулів.

№	Показники, за якими порівнюються системи енергозабезпечення	Енергомодуль на базі:		
		ПТУ-2,5 МВт	ГТУ-2,5 МВт	ГПУ-1 МВт (3 ДВЗ)
1.	Електрична потужність, кВт	2500	2500	1006x3
2.	Електричний ККД енергогенеруючого модуля, %	8,54	27	39,1
3.	ККД тепловий, %	18,5	84,5	59,3
4.	Витрата природного газу на власні потреби, м ³ /год	3054	1100	247(x3)
5.	Вміст шкідливих сполук у газах, що відпрацювали, мг/ нм ³ : NO _x CO	550-600 180-250	50 80	500 900
6.	Витрата мастила, кг/год	0,4-0,6	0,6	(0,36-0,58)x3
7.	Термін служби установки, тис год	180	100	понад 150
9.	Капітальні витрати на обладнання, тис.грн.	12513	9967	12312
10.	Питомі капітальні витрати на встановлену електричну потужність обладнання, грн/кВт	5005	3986	4104
11.	Експлуатаційні витрати всього, тис.грн/рік	10295	4235	5989
12.	Витрати на паливо, тис.грн/рік	8395	2691	3664
13.	Корисний відпуск електроенергії, тис.кВт.год/рік	19864	19864	25254
14.	Економія коштів, тис.грн/рік	5677	5677	6323
15.	Економія річних експлуатаційних витрат тис.грн/рік	-4618	1441	334
16.	Простий термін окупності капітальних витрат на обладнання, років	Збитковий*	6,9	36,8

* Збитковість обумовлюється неефективним використанням значної кількості пари.

вої електрична потужність може бути збільшена на 20 % і робота на такій потужності може продовжуватися необмежений час;

- при продуктивності виробництва пари 4,159 Гкал/год і гарячої води 0,7 Гкал/год БКАЕ здатна забезпечити теплофікаційні потреби підприємства в повному обсязі.

Енергетичний модуль на базі когенераційної установки (КУ) PETRA 1250ICH потужністю 1 МВт з двигуном Perkins 4016 E61 TRS.

В якості енергогенеруючого модуля на базі газового двигуна Perkins 4016 E61 TRS розроблено когенераційну установку КУ PETRA 1250ICH потужністю 1 МВт (виробництво Чехії), принципова

схема якої приведена на рис. 3, а техніко-економічні параметри приведені в табл. 1.

КУ PETRA 1250ICH складається з газового двигуна і системи контуру утилізації, що включає водогрійний теплообмінник, встановлений у вихлопному трубопроводі, і системи відводу теплоти від рідини, що охолоджує двигун.

Для забезпечення заявленої потужності промислового підприємства енергетична установка повинна комплектуватися трьома КУ PETRA 1250ICH.

Навіть самий низький графік системи опалення 90/70 °С буде проблематично здійснити охолоджувальною рідиною двигуна, яка має максимальну температуру близько 95 °С. Одночасно при цьому ДВЗ 1250ICH не генерує водяної пари, без

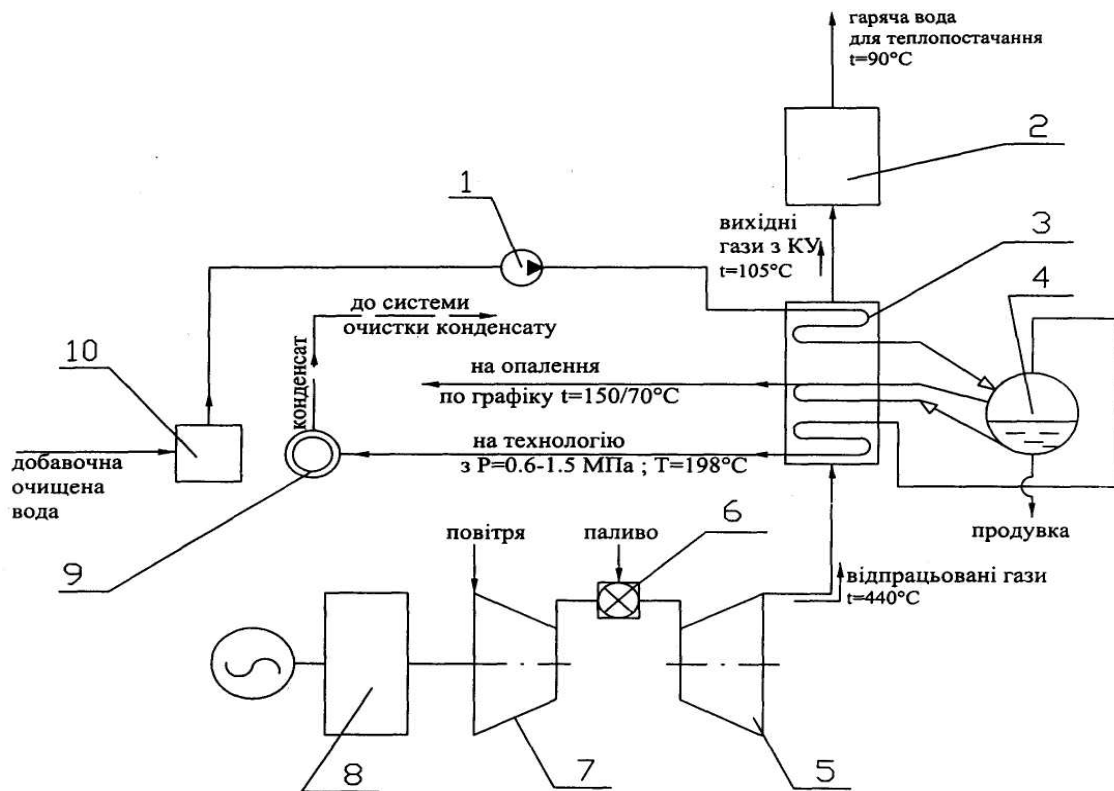


Рис. 2. Принципова схема БКАЕ. 1– насос; 2– теплообмінник гарячої води; 3– котел-утилізатор; 4– конденсатор; 5– газова турбіна; 6– камера згоряння; 7– компресор; 8– редуктор; 9– споживач пари; 10– бак очищеної води.

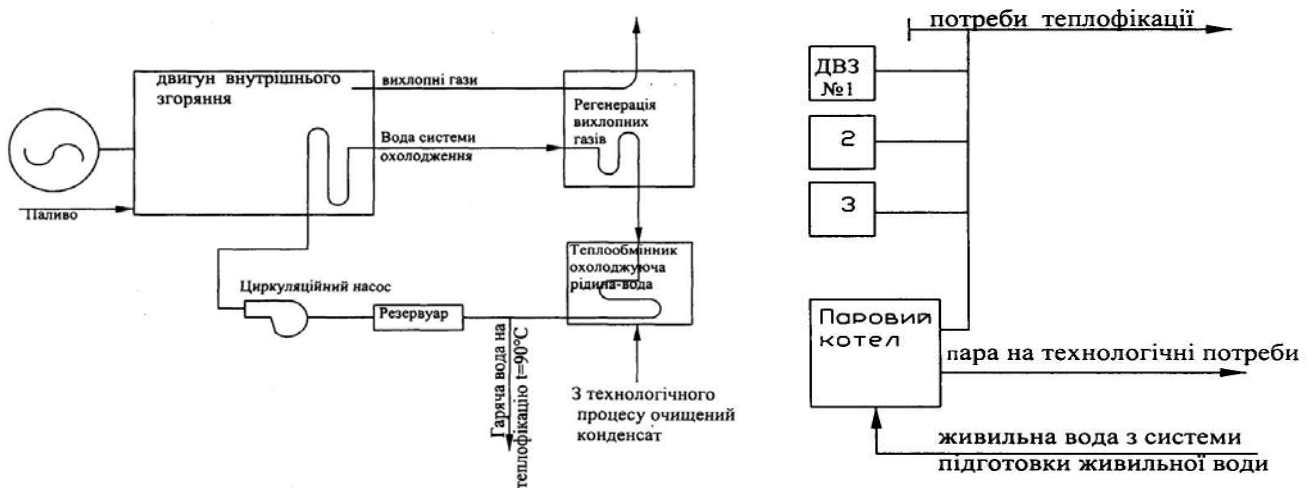


Рис. 3. Принципова схема енергогенеруючого модуля на базі двигуна внутрішнього згоряння та блочна схема (праворуч) з виробництвом пари потрібних технологічних параметрів.

чого її застосування не задовольняє вимогам підприємства. Тому в її теплову схему необхідно включити паровий котел, який постійно виробляв би пару для технологічних потреб підприємства і одночасно поповнював потенціал тепла для одер-

жання гарячої води для ГВП та на опалення і кондиціонування за графіком 150/70 °С.

Одночасно включення в теплову схему котельного агрегату потребує значних додаткових витрат природного газу та капітальних витрат.

Ще одним чинником, який призведе до суттєвого збільшення експлуатаційних витрат, є значне споживання високоякісного коштовного мастила.

До інших недоліків, які погіршують імідж енергогенеруючого модуля на базі ДВЗ відносяться:

- високі викиди газовими двигунами шкідливих утворень NO_x і CO . Згідно з даними розробників вони складають 500 мг/нм³ і 900 мг/нм³ відповідно. Крім того, треба додати викиди цих утворень утилізаційним котлом, що перевищить допустимі норми в декілька разів;
- суттєве подорожчання експлуатації після закінчення гарантійного терміну внаслідок збільшеної вартості запчастин, в порівнянні з їх вартістю в поставленому двигуні.

Висновки

Порівняльний аналіз (див. табл.1) показує, що за всіма показниками когенерація на базі ГТД є більш конкурентно спроможна в порівнянні з застосуванням ПТУ та ДВЗ. При цьому перевага тим більша чим більша частка спожитої електричної енергії в порівнянні з тепловою у загальному обсязі її виробництва.

Обумовлено це двома факторами:

- по-перше, електричний ККД ГТУ значно вищий за електричний ККД парової турбіни з протитиском і низькими початковими параметрами пари;
- по-друге, велика частина пари, що виходить з парової турбіни, значно перевищує потреби виробництва і теплофікації, а тому вона залишається не використаною.

Крім того, ГТУ має відносно невеликі капітальні затрати, значно менше забруднює навколишнє середовище шкідливими викидами. Викиди самих шкідливих поліантів NO_x у них у 5...7 разів нижчі, ніж у розглянутих ПТУ та ДВЗ. До того ж, вітчизняний виробник гарантує:

- низькі експлуатаційні витрати, в тому числі і витрати на запчастини, вартість яких не перевищує їх вартості у складі БКАЕ;
- забезпечення проведення монтажних і пусконаладжувальних робіт, підготовку експлуатаційного персоналу фабрики і післягарантійний су-

привід експлуатації протягом усього терміну служби енергоустановки.

Запропонована газотурбінна технологія не вичерпала всіх своїх переваг. У подальшому на її базі можливо застосувати когенераційну ГПТУ з технологією "Водолій", де додаткове впорскування пари на вході в ГТУ дає значне збільшення електричної потужності установки, більш високий потенціал пари, низькі викиди NO_x і CO на виході з ГПТУ, можливість використання чистої води в побутових і інших цілях.

Установки на базі поршневих двигунів не виробляють пари високих параметрів на технологічні потреби і діапазон регулювання цих агрегатів без значного зниження ККД так само невеликий. Це є основним недоліком систем енергогенерування на базі ДВЗ. А в зв'язку з тим, що виробляються такі системи за кордоном, висока вартість їх та дороге обслуговування можуть суттєво вплинути на питомі капітальні витрати. Доцільним бачиться використання енергетичних систем на базі ДВЗ у випадках, коли немає потреби в виробництві пари.

В результаті проведеного порівняння для автономного забезпечення промислового підприємства електроенергією та теплом найбільш вигідним є застосування ГТУ, яка повністю забезпечує потреби підприємства, має відносно невеликі капітальні затрати, високі енергетичні показники, екологічну безпеку та подальший розвиток схеми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дубовской С.В., Вільям Орчард. Роботи Конференції "Національна стратегія України по комбінованому виробітку тепла і електроенергії" в рамках проекту Tasic EUC/9506.
2. Цой А.Д., Іванов А.П., Клевцов А.В. і др. Экономичность использования ГТУ –ТЭЦ при модернизации оборудования // Вестник МЭИ.- 2000.- № 4.
3. Показатели работы зарубежных газовых турбин ТЭС // Электрические станции.- 2000.- № 4.
4. <http://www.perkins.com/>,
<http://www.mashproekt.nikolaev.ua/>.

Одержано 25.10.2004 г.