

УДК 621.313

М.Л.Білявський, Ю.З.Годованський

Дочірня компанія «Укртрансгаз»

УСТАНОВКА ДЛЯ КОГЕНЕРАЦІЇ ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА БАЗІ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

Постановка проблеми. Інтенсивний ріст цін на органічне паливо, підвищення рівня екологічних вимог до машин та децентралізація систем енергопостачання стимулюють розвиток когенераційних технологій в Україні та за кордоном. Довгостроковий розвиток енергетичного комплексу вітчизняної промисловості нерозривно пов'язаний з широкомасштабним використанням когенераційних технологій та прогресивних конструкцій машин для їх практичної реалізації.

В останні роки в країнах СНД намітилась тенденція росту кількості компаній, обравших когенераційні технології в якості предмета своєї діяльності. Аналіз вітчизняного досвіду реалізації проектів по впровадженню когенераційних технологій свідчить про існування техніко-економічних проблем, що пов'язані з оптимізацією технологічних схем та вибору раціонального обладнання когенераційних установок.

Задача вибору двигуна та оптимізація технологічної схеми когенераційної установки ускладнюється тим, що сьогодні випускається великий спектр різноманітних типів двигунів: газотурбінні, газопоршневі, паротурбінні, дизельні та інші, які суттєво відрізняються по критеріям: потужності, ефективності, екологічності та іншим характеристикам.

Відсутність методології вибору оптимальних технологічних схем, первинного двигуна, необхідність яких виникає при створенні когенераційних установок значно стримує розвиток поширення когенераційної технології в цілому.

Аналіз публікацій. Сучасний стрімкий розвиток енергозберігаючих технологій та машин для їх реалізації створює науково – технологічну основу для розробки способу розкриття скритого потенціалу економії енергетичних ресурсів та контролю над ними. Особливо актуальною така проблема постає в період залежності від іноземних енергопостачальних організацій, що не є допустимим для стратегічних галузей промисловості України.

Когенераційними установками (КУ) називаються установки, що одночасно виробляють електричну й теплову енергію. В основному вони складаються із двигуна, генератора, теплообмінників, модуля керування, комунікаційних систем [2].

В розвиток когенераційних технологій внесли вагомий внесок провідні вчені Домніков О.Ю., Буданов В.А., Репін А.Л., Мамонов А.М., Козак Л.Ю., Карп І.М., Харитонов Д.О., Строков А.П., Шестопалов А.В., Бганцев В.М. та інші. Проте ними не була розглянута можливість поєднання принципу роботи теплового насоса та двигуна внутрішнього згорання.

Аналіз літературних джерел [1-11] дозволив встановити переваги КУ: низька, у порівнянні з тарифами централізованих систем вартість кВт години; менші втрати при передачі теплової енергії (у порівнянні із центральними теплотрасами); невеликий строк окупності; автономне теплозабезпечення; близькість до споживача приводить до відсутності необхідності в дорогих ЛЕП і підстанціях; екологічна безпека; мобільність; легкість монтажу; простота й ефективність в обслуговуванні тощо. КУ комплектуються синхронними або асинхронними електрогенераторами. Асинхронні генератори працюють паралельно з електромережею. Синхронні генератори можуть працювати як паралельно з мережею, так й в автономному режимі або в аварійному режимі. Режим роботи можна комбінувати між собою. Вироблена електрична енергія має параметри 380/220В, 50 Гц. Тепло відводиться опалювальною водою, з параметрами (70 – 90) °С. КУ оснащені противошумною ізоляцією і глушником вихлопу. Найпоширенішими типами КУ, що наявні на ринку є: Двигун внутрішнього згорання в комплексі із теплообмінником, що забезпечує утилізацію теплоти, що відходить; газотурбінний двигун; парова турбіна. Класифікація КУ по типам основних двигунів наведена в додатку А. Основним недоліком сучасних КУ є те, що повне відшкодування капітальних й експлуатаційних витрат відбувається після експлуатації КУ протягом трьох-чотирьох років.

По шляху застосування КУ пішли більшість розвинених країн Європи, такі як Англія, Німеччина, Австрія тощо. Сьогодні усе більше прихильників КУ з'являються й у нас в Україні. Враховуючи машинобудівний потенціал нашої держави та вигідне геополітичне розташування

технологія когенерації відкриває райдужні перспективи. Так, наприклад Міжнародні організації, які займаються проблемами екології, енергоефективності, енергетики, газової промисловості могли б розглянути можливості більш широкого використання когенераційних установок в газотранспортній системі та рекомендувати їх для переважного чи необхідного використання при проектуванні та будівництві нових і реконструкції діючих газопроводів з метою поліпшення екологічної ситуації. Разом з тим, використання когенераційних установок при транспортуванні природного газу з Росії в країни Європи у перспективі дозволить зменшити використання паливного газу. Крім того, актуальною сферою використання когенераційних установок є компресорні станції на яких працюють двигуни з ККД, який не досягає 40% і в майбутньому у двигунів нового покоління цей показник не перевищить 50%. Сьогодні широкого розвитку когенераційні технології одержали у компаніях: Caterpillar, Deutz AG (Дойтц АГ), General Electric (GE), GE Jenbacher, Kawasaki (Кавасакі), MAN B&W (МАН Б В), Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (МНІ), Solar Turbines (Солар Турбинз), Turbomach SA (Турбомах), Wartsila (Вяртсила), Waukesha Engine Division (Вокеша).

Наприклад, для вирішення проблеми раціонального використання енергетичних ресурсів існують проекти щодо використання когенераційних установок на компресорних станціях УМГ «Прикарпатрансгаз» ДК «Укртрансгаз» з метою збільшення продуктивності газоперекачувальних агрегатів. Реалізація типового проекту забезпечує виробництво до 540 кВт/год. електроенергії та до 419 ГДж теплової енергії на рік.

Орієнтовна вартість проекту складає 36 тисяч доларів США. Період здійснення основних капіталовкладень у проект - до 2-х років. Слід відзначити, що когенераційна установка, яка була взята в основу проекту вдосконалення виробничого процесу УМГ «Прикарпатрансгаз» є результатом плідної роботи закордонних вчених і є інтелектуальною власністю іншої держави. Разом з тим, в Україні науковий напрямок досліджень ресурсозберігаючих технологій починає лише розвиватись і знаходиться на початковій стадії, що викликає необхідність залучення іноземного досвіду в процесі оптимізації виробничого процесу. Таке становище спричиняє завищену ціну основних капіталовкладень в проект.

Крім того, існують і технологічні недоліки сучасних когенераційних установок: великогабаритні розміри, низька універсальність, оскільки не дає можливість генерувати паралельно три джерела енергетичних ресурсів: механічна, тепла та електрична енергії. В тому числі, відсутня концепція оперативного контролю за роботою такого обладнання. Таким чином, існує актуальна виробнича задача, яка стосується розробки широкоуніверсального способу когенерації з метою зменшення фінансових витрат на енергетичні ресурси в процесі здійснення виробничого процесу стратегічними підприємствами.

В ході огляду літературних джерел по сучасному стану розвитку когенераційних установок підтверджена актуальність проведення наукових досліджень в такому напрямку, встановлена доцільність використання двигуна внутрішнього згорання, як основи когенераційної установки. Визначені шляхи перспективного використання КУ, в тому числі на об'єктах газотранспортного підприємства.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота пов'язана з державними науково-технічними програмами: "Ресурсозберігаючі та енергоефективні технології машинобудування", "Розвиток промисловості України на 2003 – 2011 р.р." та програмою Кабінету Міністрів "Україна - 2010" (проект 4 – "Технологічне та технічне оновлення виробництва").

Мета і задачі досліджень роботи полягають в розробці принципу роботи установки для когенерації теплової та електричної енергії на базі двигуна внутрішнього згорання.

Виклад основної частини. Для досягнення поставленої мети науково – технічної роботи пропонуємо прийняти когенераційну установку, у якій передбачається поєднати роботу двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) та теплового насоса (ТН), що є основною відмінністю від існуючих прототипів [1,2,8]. Когенераційна установка виготовлена на базі традиційного чотирициліндрового ДВЗ, в якому два циліндри працюють у якості компресора теплового насоса, а інші два циліндри служать приводом, компресора і електрогенератора. В процесі роботи теплового агрегату ДВЗ, утворюється тепло. В розробленій когенераційній установці, на відміну від традиційних підходів [1,2,8], тепло відпрацьованих газів, являється робочим тілом теплового насоса. У процесі випуску гарячі відпрацьовані гази потрапляють у проміжний теплообмінник де віддають енергію охолоджувальній рідині, після чого, охолоджені до певної температури гази засмоктуються компресором. У циліндрах компресора, під час стиску, гази розігріваються до

високої температури де одночасно видають теплову енергію сорочці охолодження двигуна. Після виходу газів з компресора, у фазі розширення, температура газів різко понижується, у зв'язку з проходженням ізотермічного процесу.

В результаті компресування відпрацьованих газів вдається понизити температуру відпрацьованих газів що викидаються в атмосферу, тим самим підвищити ККД установки по критерію виробництва тепла. Одночасно надлишок потужності механічної енергії силового агрегату, використовується для виробництва електроенергії.

Схематично принцип роботи розробленої когенераційної установки представлений нижче, на рис. 1.

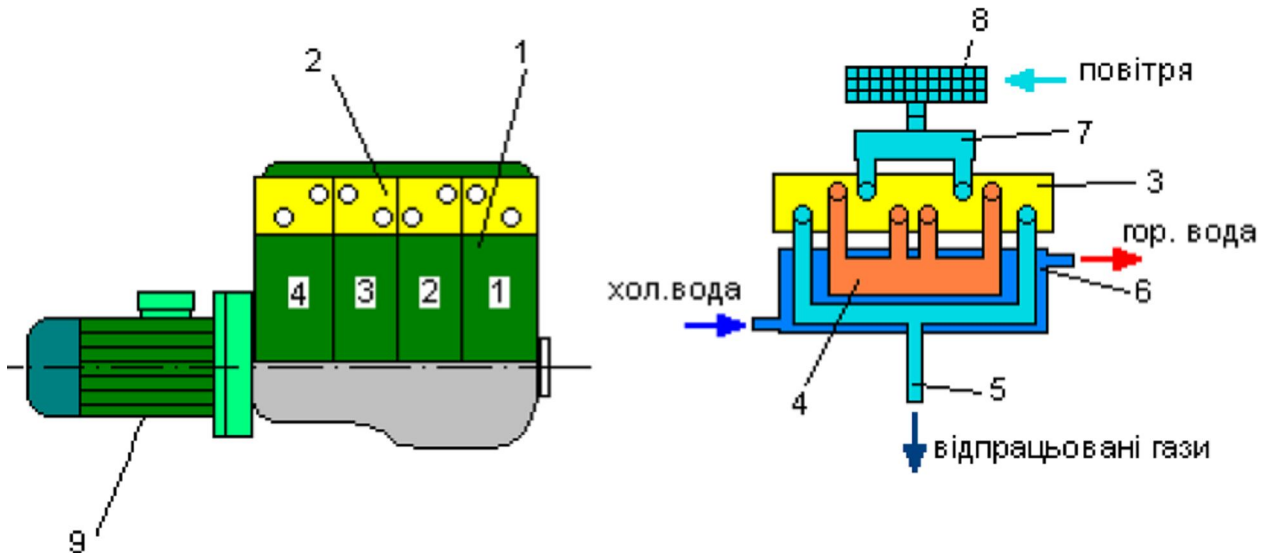


Рис. 1. Принцип роботи розробленої когенераційної установки (1 – двигун внутрішнього згорання; 2- площадка кріплення колектора - утилізатора; 3 – утилізатор – теплообмінник; 4 – проміжний теплообмінник; 5 – колектор відпрацьованих газів; 6 – водяна сорочка утилізатора; 7 – всмоктуючий колектор; 8 – повітряний фільтр; 9- електрогенератор)

Техніко – геометричні характеристики досліджуваної когенераційної установки приведені нижче, в табл. 1.

Таблиця 1

Техніко – геометричні характеристики установки

Двигун	1,1 дцм ³ , ЗАЗ, Таврія
Паливо	Метан, тиск 0,02 кг× см ² , можливо використання: пропан-бутан, біогаз.
Генератор	Асинхронний, 4кВт., 1450 об/хв., 220/380 В
Оперативна напруга	12 В.
Система охолодження	Перший контур – «тосол»; другий контур – «вода»
Габаритні розміри (мм): Висота / Довжина / Ширина	1200 / 1500 / 700

При проведенні експериментальних досліджень вдалось встановити наступні технічні характеристики продуктивності установки

Таблиця 2

Технічні характеристики продуктивності установки

Споживання (газ метан)	1,5 м ³ /год
Виробництво теплоенергії	20 кВт/ год
Виробництво електроенергії	4 кВт / год, 220/380 В. 50 Гц.

Безпечну роботу і автоматичне регулювання параметрів установки забезпечує щит автоматики, де розміщуються пристрої захисту від аварійних режимів роботи, а основні параметри виводяться на зовнішній дисплей.

В окремих випадках, коли необхідно виробити потужність більше за 12 кВт/год, розроблену когенераційну установку слід розглядати, як окремий модуль, який може бути підключений до аналогічних і працювати паралельно. Для підтвердження адекватності викладених результатів слід розробити експериментальний зразок когенераційної установки та провести виробничі дослідження.

По розробленому принципу роботи когенераційної установки (рис. 2.1) був створений експериментальний стенд, який представлений нижче.



а).

б).

Рис.2. Експериментальний стенд когенераційної установки
(а – загальний вид; б – щит автоматики)

Експериментальні дослідження базувались на визначенні кількості вироблених енергетичних ресурсів та оптимального розходу природного газу. Для цієї мети був проведений повнофакторний експеримент, основні етапи якого були наступні: встановлення кількості чинників та їх кодування; складання план-матриці експерименту; рандомізація дослідів; реалізація плану експерименту; перевірка адекватності моделі детальніше хід аналізу експериментальних досліджень розглянуто нижче.

Таблиця 3

План – матриця виконання дослідів ПФЕ (2^3)

№	x_1	x_2	x_3	Густина, (x_1) , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Азот (x_2)	Кисень, (x_3)
1	+	+	+	0,700	0,850	0,15
2	-	+	+	0,600	0,850	0,15
3	+	-	+	0,700	0,800	0,15
4	-	-	+	0,600	0,800	0,15
5	+	+	-	0,700	0,850	0,05
6	-	+	-	0,600	0,850	0,05
7	+	-	-	0,700	0,800	0,05
8	-	-	-	0,600	0,800	0,05

Таблиця 4

Результат ПФЕ для встановлення залежності кількості виробленої електричної енергії Δ (кВт/год) від фізико – хімічних параметрів природного газу

№ досліджу	x_1	x_2	x_3	Δ_1 , мкМ	Δ_2 , мкМ	Середнє значення $\bar{\Delta} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}$, мкМ
1	+	+	+	5,0	5,5	5,25
2	-	+	+	4,8	5,4	5,1
3	+	-	+	4,6	4,4	4,2
4	-	-	+	4,4	4,6	4,5
5	+	+	-	4,6	4,3	4,45
6	-	+	-	4,5	4,5	4,5
7	+	-	-	4,8	4,6	4,7
8	-	-	-	4,2	3,8	4,0

Таблиця 5

Результат ПФЕ для встановлення залежності кількості виробленої теплової енергії δ від фізико – хімічних параметрів природного газу

№ досліджу	x_1	x_2	x_3	δ_1 , мкМ	δ_2 , мкМ	Середнє значення $\bar{\delta} = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}$, мкМ
1	+	+	+	25,0	25,5	25,25
2	-	+	+	24,8	25,4	25,1
3	+	-	+	24,6	24,4	24,2
4	-	-	+	24,4	24,6	24,5
5	+	+	-	24,6	24,3	24,45
6	-	+	-	24,5	24,5	24,5
7	+	-	-	24,8	24,6	24,7
8	-	-	-	24,2	23,8	24,0

В результаті обробки експериментальних даних (табл. 4 та табл. 5) були отримані апроксимаційні залежності:

$$\ln \Delta = -38,4 + 7,2 \cdot \ln x_1 + 20,26 \cdot \ln x_2 + 2,1 \cdot \ln x_3 - 0,3 \cdot \ln x_1 \cdot \ln x_2 + -2,1 \cdot \ln x_1 \cdot \ln x_2 \cdot \ln x_3 \quad (1)$$

$$\ln \delta = 21,68 - 3,41 \cdot x_1 - 0,4 \cdot x_2 - 0,12 \cdot x_3 - 0,20 \cdot \ln x_1 \cdot \ln x_2 \cdot \ln x_3 \quad (2)$$

Отримані математичні моделі дають змогу провести прогноз потужності зкогенераваної теплової та електричної енергії розробленою установкою при незмінних техніко – економічних параметрах (табл. 1).

Крім того, отримані математичні моделі (1-2) будуть використані при формуванні системи автоматизації роботи когенераційної установки.

Висновки.

Проведений аналіз літературних джерел, який підтвердив актуальність обраної тематики для промислових підприємств України. Визначені переваги методу когенерації, як альтернативного джерела енергетичних ресурсів в контексті зниження емісії CO₂ та інших парникових газів.

Вперше теоретично обґрунтовано та запропоновано спосіб когенерації, який передбачає поєднання ефекту двигуна внутрішнього згорання та теплового насосу. Доведено, що такий метод дає можливість зменшити фінансові витрати газотранспортного підприємства на енергетичні ресурси: електрична, тепла та механічна енергії. На підставі представлених конструктивних рішень (модульний принцип побудови, порівняно раціональні габаритні розміри з потужністю установки) доведено практичну цінність розробленої когенераційної установки. Результати експериментальних досліджень дають можливість створити програмне забезпечення для контролю за роботою когенераційної установки. По результатам проведених досліджень подана заявка на видачу патента України на винахід, отримано позитивне рішення. Прогнозований економічний ефект від впровадження когенераційної установки на об'єктах Дочірньої компанії «Укртрансгаз» становить близько 2 мільйонів гривень в рік.

1. Басок Б.И., Коломейко Д.А. Анализ когенерационных установок. Часть III. Сравнительный анализ схемных решений когенерационных установок // Промышленная теплотехника -2006. - т.28, №5 -С.76-82.
2. Басок Б.И., Базеев Е.Т., Диденко В.М., Коломейко Д.А. Анализ когенерационных установок. Часть I. Классификация и основные показатели // Промышленная теплотехника -2006 -т.28, №3 -С.83-89.
3. Закон України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії та вико ристання скидного енергопотенціалу» прийнятий Верховною радою 28.06.2004 р.
4. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. – 592 с.
5. Крутой Л.М. Заславський Э. Г. Когенераційні установки на базі газових мотор-генераторів // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, №4 - 2005. - с. 50-57.
6. Клименко В.Н. Проблемы когенерационных технологий в Украине// Промышленная теплотехника -2001 -т.23, №4-5 -с.106 110.
7. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації. За редакцією Долінського А.А., Баска Б.І. та ін. -Київ,2007.-360 с.
8. Марченко А.П., Рязанцев М.К., Шеховцов А.Ф. Двигуни внутрішнього згоряння. Т.1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин / За ред. А.П.Марченка, А.Ф.Шеховцова. – Харків, Прапор, 2004. – 384 с.
9. Марченко А.П., І.В.Парсаданов, Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ та ін. Двигуни внутрішнього згоряння. Т.5. Екологізація ДВЗ / За ред. А.П.Марченка, А.Ф.Шеховцова. – Харків, Прапор, 2004. – 360 с.
10. Процессы в перспективных дизелях / Под ред. А.Ф. Шеховцова. – Харьков: Основа, 1992. – 352 с.
11. Современные дизели: повышение топливной экономичности и длительной прочности: Под ред. А.Ф.Шеховцова / Ф.И.Абрамчук, А.П.Марченко, Н.Ф.Разлейцев и др. – К.: Тэхника, 1992. – 272 с.