

Секція 4

СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТА ЇХНІ ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ

УДК 621.914

М.Л. БІЛЯВСЬКИЙ, І.В. КУЗЬО, Ю.П. ШОЛОВІЙ
Національний університет “Львівська політехніка”

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ МАШИН ЗА РАХУНОК УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗАПАЛЕННЯ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

© Білявський М.Л., Кузьо І.В., Шоловій Ю.П., 2012

Розглянуто один із варіантів удосконалення системи запалення двигуна внутрішнього згоряння з метою підвищення ефективності роботи когенераційних машин.

Для підтвердження наукової та практичної цінності запропонованого технічного рішення проведені комплексні експериментальні дослідження.

Considered one of variants improvement of the system of lighting of combustion engine with the purpose of increase of efficiency of work cogeneration machines. For confirmation of scientific and practical value of the offered technical solution complex experimental studies are undertaken.

Газотранспортна система України включає близько 37 тисяч кілометрів газопроводів, 12 підземних сховищ газу загальною місткістю понад 30 млрд. кубічних метрів, 1451 газорозподільну (ГРС), 60 газовимірювальних (ГВС) та 72 компресорні станції (КС), що оснащені 702 газоперекачувальними агрегатами (ГПА) вітчизняного та закордонного виробництва.

Вищеперерахований промисловий парк потребує безперебійного забезпечення енергетичними ресурсами, від надійної роботи якого залежить своєчасне виконання міждержавних домовленостей та безпечна експлуатація газотранспортної системи України загалом. Особливо гостро проблема незапланованого відключення ГРС та КС від електромереж постає у весняно-зимовий період, коли необхідно забезпечити безперебійну роботу підігрівача газу, на який покладено функції підтримання температури газу на виході з ГРС у межах 3...10 °С, відповідно до умов технічної угоди між транспортною організацією та споживачем. Крім того, за відсутності електроенергії неможливе функціонування системи автоматизованого керування виробничим процесом транспортування газу та веденням обліку спожитого газу, що призводить до глобальних фінансових втрат. Тому пошук нових прогресивних способів аварійного забезпечення енергетичними ресурсами газорозподільних станцій та обґрунтування доцільності їх використання є важливим завданням в контексті існуючого завдання модернізації газотранспортної системи України.

Аналіз останніх публікацій. Традиційно як аварійна система забезпечення енергетичними ресурсами відповідальних об'єктів газотранспортної системи використовуються турбодетандерні установки [1–13]. Ці установки належать до когенераційної системи, принцип роботи якої побудований на використанні побічних продуктів виробництва, яка працює за рахунок перепаду тиску. До складу такої системи належить магістральний газопровід, теплообмінник, детандер, компресор, повітряна турбіна. Такі системи працюють так. Газ, який подається з магістрального газопроводу до детандера, підігрівається у теплообміннику, в якому, як теплоносіє, використовується нагріте в результаті

стиснення повітря. Приводом компресора слугує електричний двигун. Після детандера газ поступає у трубопровід низького тиску. При цьому ступінь стиску газу обирається так, щоб температура стиснутого повітря була більша за необхідну температуру споживача. Після теплообмінника охолоджене повітря подається на вхід повітряної турбіни для виробництва електричної енергії. Після повітряної турбіни холодне повітря повітропроводом скидається в атмосферу.

Недоліком таких когенераційних систем є громіздкість, велика кількість відповідальних вузлів, що потребують своєчасної діагностики та ремонту, залежність від годинної витрати природного газу, що робить такі когенераційні системи не універсальними. Крім того, існує залежність таких систем від розташування магістрального газопроводу та газорозподільної станції, на території якої, найраціональніше встановлювати обладнання для реалізації такої технології. Крім того, розташування когенераційної машини та допоміжного обладнання в охоронній зоні магістрального газопроводу підвищує вимоги до конструктивних особливостей турбодетандерної установки та умов її експлуатації [1–13].

У зв'язку із цим виникає актуальне науково-технічне завдання створення прогресивної конструкції когенераційної машини з метою аварійного забезпечення енергетичними ресурсами відповідальних систем ГРС. Вибір когенераційних машин на основі двигуна внутрішнього згоряння зумовлений тим, що когенераційні машини на основі газотурбінної установки, за критерієм викидів в атмосферу відпрацьованих продуктів, є найнебезпечнішими, причому шум у процесі роботи таких машин сягає 150–160 дБ, що спричиняє необхідність віддалення їх від житлового масиву на відстань близько 3 км. До того ж когенераційні машини на основі парової турбіни теж мають істотні недоліки: високу витрату води під час виробництва енергетичних ресурсів (50–80 м³/МВт×год) та шум у процесі роботи машини (до 100 дБ) [1–13]. Підтвердженням необхідності розробки таких машин є також статистичний аналіз аварійних відключень газорозподільних станцій на території України.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у рамках розпорядження Кабінету Міністрів України №1417-р від 21.10.2009 р. “Про схвалення концепції розвитку, модернізації і переоснащення газотранспортної системи України на 2009 – 2015 роки”.

Мета досліджень – розробити прогресивну когенераційну установку як елемент системи аварійного забезпечення енергетичними ресурсами відповідальних об'єктів газотранспортної системи.

Виклад основного матеріалу. Запропонована установка належить до галузі теплоенергетики і може бути використана як автономні генераторні установки для одночасного виробництва теплової та електричної енергії.

Найближчою за сукупністю ознак до запропонованої машини і є когенераційна установка з тепловим насосом [1], до складу якої входить чотирициліндровий чотиритактний двигун внутрішнього згоряння, електрогенератор, теплоутилізатор, теплообмінник-утилізатор, пристрій підготовки паливної суміші, триходовий клапан-термостат, циркуляційні насоси та система патрубків. Недоліком цієї установки є відсутність резервів збільшення коефіцієнта корисної дії за критерієм виробництва енергетичних ресурсів.

Тому завданням є створення когенераційної установки із більшим коефіцієнтом корисної дії за рахунок встановлення поряд із свічками запалення електроклапана, який з'єднаний із системою підготовки стиснутого повітря.

Установка (рис. 1) складається з компресора високого тиску 1, пневмоакумулятора 2, пристрою підготовки паливної суміші 3, чотирьох циліндрів двигуна внутрішнього згоряння 4, 5, 6, 7, теплообмінника 8, циркуляційних насосів 9, 10, системи “триходовий клапан – термостат та теплообмінник – утилізатор” 11, давача положення колінчастого вала 12, електронного комутатора 13, свічок запалення 14, 15, електроклапанів 16, 17, тепломережі споживача 18, патрубка вихлопних газів 19, електрогенератора 20.

У цій когенераційній установці тепло відпрацьованих газів двох циліндрів чотирициліндрового двигуна внутрішнього згоряння є робочим тілом теплового насоса компресора, якими є два інші циліндри чотирициліндрового двигуна внутрішнього згоряння. У процесі випуску гарячі

переохолоджується внаслідок розрідження, а в циліндрах компресора теплового насоса 5 та 6 відбувається процес теплообміну: газу інтенсивно охолоджуються з одночасним розширенням та підвищенням тиску, який, своєю чергою, додатково створює імпульс дії на поршень, збільшуючи крутний момент на валу. А в момент стиску в циліндрах компресора теплового насоса 5 та 6 газу розігріваються до нижчої температури порівняно з прототипом [1], за рахунок цього відбувається зниження температури відпрацьованих газів, які виходять через патрубок 19 в атмосферу.

Механічна енергія, що виробляється у процесі роботи двигуна, передається електрогенератору 20, який забезпечує роботу установки, а також використання електроенергії зовнішніми споживачами.

Електромагнітні клапани (рис. 2), які пропонуються використовувати у розробленій когенераційній установці замість високовольтих свічок запалювання, призначені для виконання функцій запалення паливної суміші низькотемпературною плазмою та подачі стиснутого повітря у камеру згоряння в момент повного догоряння паливної суміші.

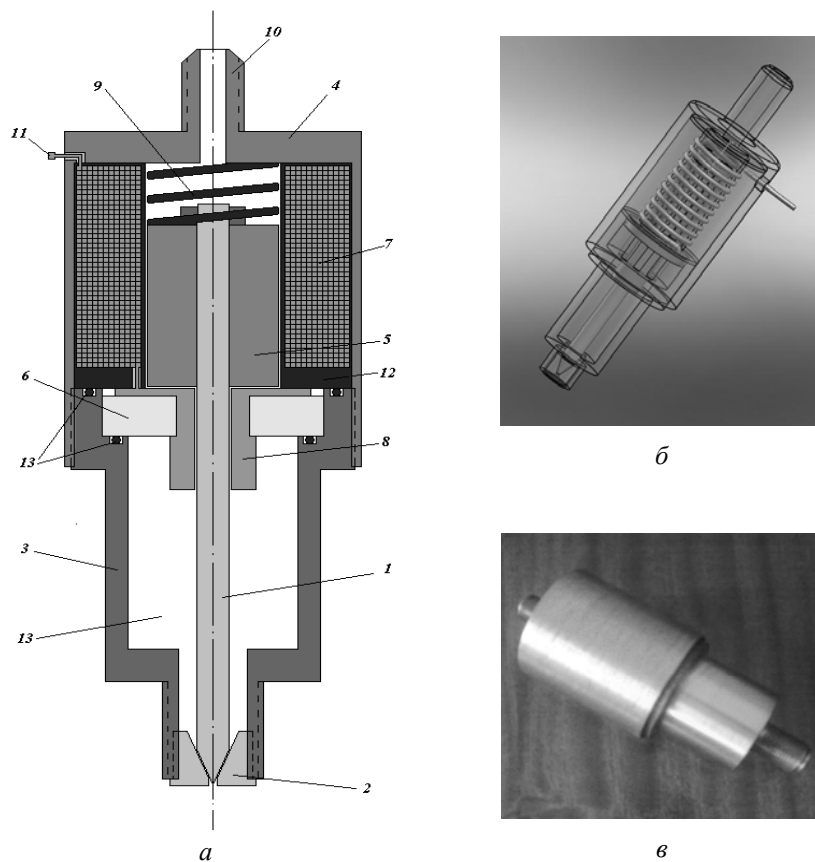


Рис. 2. Електромагнітний клапан:
а – принципова схема; б – імітаційна модель; в – експериментальний зразок

Запалювання паливної суміші низькотемпературною плазмою відбувається за рахунок подачі електричного струму на клему 11 котушки електромагніта 7, який одночасно виконує функцію приводу клапанного штока і електрода плазмогенератора 1. Через отвір другого електрода 2, який з'єднаний з корпусом електромагнітного клапана 3 різьбовим з'єднанням, виштовхується плазма у порожнину циліндра двигуна внутрішнього згоряння. У початковий момент подачі струму на електромагніт через витки котушки і повзунковий електрод 8 струм проходить через замкнені електроди плазмоутворювача, утворюючи магнітне поле, яке приводить в рух сердечник електромагніта 5, який з'єднаний зі штоком клапана. За руху штока одночасно відбуваються такі процеси: розмикається електричне коло електромагніта, відкривається отвір клапана, через який за допомогою стиснутого повітря, що поступає через штуцер 10 з системи високого тиску пневмоакумулятора, у камеру 13 виштовхується низькотемпературна плазма, яка через отвір електрода 2 потрапляє в камеру згоряння.

Згідно з вищерозглянутим принципом роботи когенераційної машини розроблена принципова електрична схема роботи плазмової системи запалювання (рис. 3).

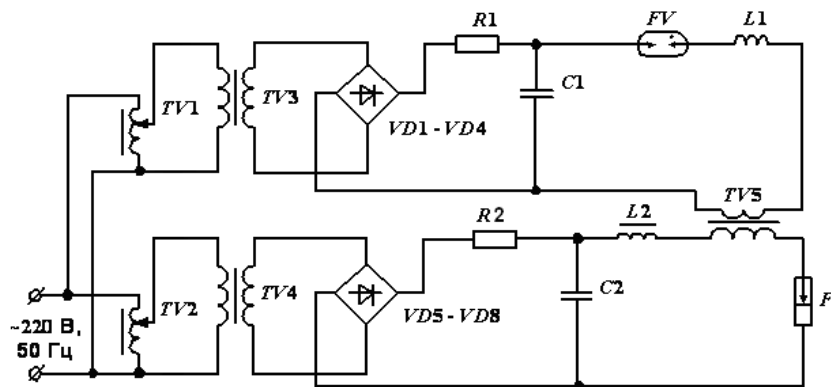


Рис. 3. Схема принципова електрична роботи плазмової системи запалювання

За допомогою програмного продукту Matlab Simulink була розроблена функціональна схема роботи системи запалювання когенераційної машини (рис. 4), яка дає змогу моделювати процеси у силовому ланцюзі та осциляторі в широкому діапазоні зміни параметрів елементів системи, аналізувати стійкість електророзрядних процесів у плазмовій системі запалювання залежно від параметрів силового ланцюга, швидкості руху плазموутворювального повітря через свічку, а також тиск на вході камери згоряння.

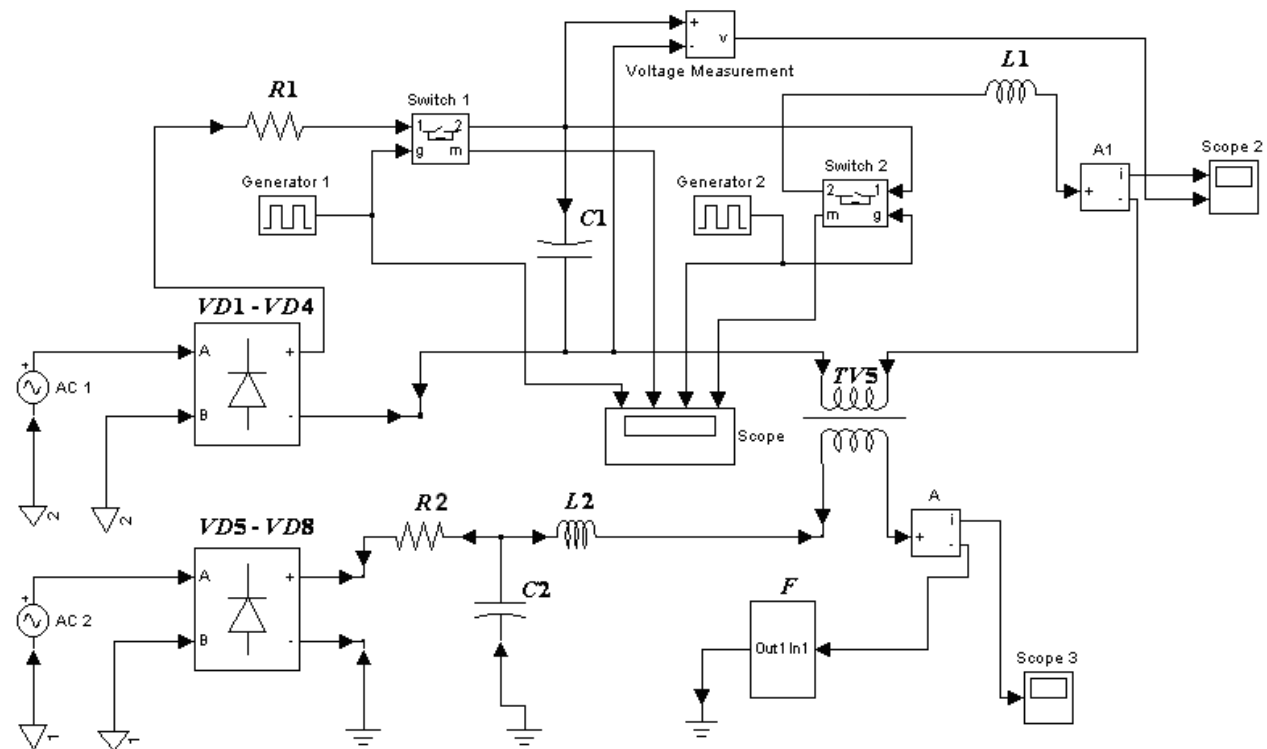


Рис. 4. Функціональна схема роботи системи запалювання когенераційної машини

Розроблена математична модель, яка дає змогу визначити час гасіння дугового розряду:

$$t_2 = \frac{L}{R} \ln \frac{U_o(i)}{U_o(i) - U_0}, \quad (1)$$

де L, R – індуктивність та активний опір силового ланцюга; U_0 – максимальна напруга на виході джерела живлення; $U_o(i)$ – падіння напруги у дуговому розряді.

Експериментальні дослідження роботи плазмової системи запалювання дали змогу встановити математичну залежність падіння напруги в дуговому розряді $U_o(i)$:

$$U_o(i) = 305 \cdot \left(\frac{I^2}{G_{ne} d_1} \right)^{-0,12} \cdot \left(\frac{G_{ne}}{d_1} \right)^{0,08} \cdot \left(\frac{l_1}{d_1} \right)^{0,56} \cdot (pd_1)^{0,20}, \quad (2)$$

де I – сила струму, А; G_{ne} – витрати плазмоутворювального повітря, кг/с; l_1, d_1 – довжина та діаметр дугового каналу; p – тиск на виході дугового каналу.

Отримана також математична залежність визначення мінімально допустимої потужності плазмогенератора:

$$P \geq \frac{CU_1^2 R}{2\eta L \ln t_2}, \quad (3)$$

де C – ємність конденсатора; U_1 – напруга пробую плазми; η – коефіцієнт, який враховує втрати у зарядному та розрядному ланцюзі.

Висновок. Розглянуті технічні рішення дають можливість: підвищити коефіцієнт корисної дії двигуна за рахунок зменшення споживання палива і зниження температури відпрацьованих газів, що, своєю чергою, підвищує експлуатаційний ресурс відповідальних вузлів когенераційної установки.

Мінімізація температури відпрацьованих газів створює необхідність оптимізації системи охолодження двигуна внутрішнього згорання.

Крім того, запропоновані у роботі технічні рішення дають можливість забезпечити роботу когенераційної установки за допомогою енергії стисненого повітря.

У подальших дослідженнях планується розробити математичну модель функціонування когенераційної установки спільно з електромагнітним клапаном, який виконує функції свічки запалення з метою теоретичного обґрунтування необхідності конструктивної оптимізації когенераційної установки.

1. Годованський Ю.З., Стецько А.С., Білявський Л.А., Білявський М.Л. Патент України на корисну модель “Когенераційна установка з тепловим насосом” № 52822 Україна, F02G 5/00, – № и201002808; Заявл. 12.03.2010; Опубл. 10.09.2010. Бюл. № 17.
2. Долинский А.А., Шурчков А.В., Резакова Т.А. Когенерационная установка на основе геотермальных энергоносителей // Промышленная теплотехника. – 2005. – Т.27, № 1. – С.73–78.
3. Шурчков А.В., Резакова Т.А. Потенциал когенерационного производства электро- и теплоэнергии при использовании геотермальных месторождений и неконденсационных газовых малых месторождений // Промышленная теплотехника. – 2005. – Т.27, № 3. – С.39–45.
4. Коломейко Д. А., Корнеев И. Ю. Анализ энергетической эффективности когенерационной установки фирмы WILSON типа PG1250B // Промышленная теплотехника. – 2005. – № 3. – С. 46–49.
5. Долинский А.А., Шурчков А.В., Резакова Т.А., Геотермальные когенерационные установки для автономного электро- и теплоснабжения // Промышленная теплотехника. – 2004. – № 3, Т. 26. – С. 62–67.
6. Долинский А.А., Коломейко Д.А., Горохов М.И., Резакова Т.А. Термодинамический цикл геотермальной когенерационной установки // Промышленная теплотехника. – 2004. – № 4.
7. Долинский А.А., Шурчков А.В., Резакова Т.А. Когенерационная установка на основе геотермальных энергоносителей // Промышленная теплотехника. – 2004, № 3, Т. 26. – С. 62–67.
8. Когенерація – основа енергозаощадження / Л.Ю. Козак // Нафтогаз. енергетика. – 2007. – № 1. – С. 39–43.
9. Харитонов Д. А. Разработка методики выбора и рационального использования когенерационных систем в качестве источника электроэнергии на предприятии по технико-экономическим критериям: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. – М., 2007. – 160 с.
10. Kolanowski B.F. Small-scale cogeneration handbook, 2nd ed., Fairmont Press, Lilburn, GA, 2003.
11. Coli G. Impianti energetici ad elevato rendimento: cogenerazione, pompe di calore, impianti solari, PEG, Milano, 1992.
12. Spiewak S.A., Weiss L. Cogeneration & small power production manual, 5th ed., Fairmont, Lilburn, 1997.
13. Horlock J.H., Park E., Cogeneration-combined heat and power (CHP): Thermodynamics and economics, Franklin Book Company, 1993.