
In article it is offered a correct method and results of determination of thermal intensity of details of cylinder line-piston group at emergency loading of the engine.

Keywords: *thermal intensity, heat transfer coefficient, density of a heat flux*

УДК 621.433; 621.4Ф8

Лісовал А.А., Нижник М.Є., Вербовський О.В.

КОГЕНЕРАЦІЙНА УСТАНОВКА З ГАЗОВИМ ДВИГУНОМ

В статті описані принципи роботи і автоматичні системи когенераційної газоелектричної установки. Детально описано автоматичну систем подачі та дозування газового палива, визначені раціональні значення настройки регулятора фірми Heinzmann.

Ключові слова: *двигун внутрішнього згорання, газове паливо, когенерація, система автоматичного регулювання, іскрове запалювання.*

Постановка проблеми. Світові виробники силових установок виробляють когенераційні установки з електричною потужністю від 20 до 2000 кВт, які оснащені двигунами виробників MAN, Perkins, MTU, Doosan із низькими рівнями забруднення навколишнього середовища. Ці установки, як автономні джерела енергії, знаходять широке розповсюдження в житлово-комунальному і аграрному секторі України, котеджних селищах, санаторно-лікарняних комплексах та ін. Когенерація – це процес спільного вироблення електричної та теплової енергії, що дозволяє підвищити енергоефективність установки (к.к.д. до 90 %).

Використання силових когенераційних установок не обмежується традиційними газовими паливами. Використання альтернативних газових палив вимагає спеціальної настройки автоматичної системи дозування газового палива, корекції кута випередження запалювання і газового двигуна в цілому.

Аналіз останніх досліджень. Співробітники кафедри «Двигуни та теплотехніка» Національного транспортного університету (НТУ) у співпраці із Інститутом газу НАН України (ІГ НАНУ) з 2000 р. працюють над створенням когенераційних установок з потужністю привода 20...200 кВт і систем автоматичного регулювання до їх систем. Розроблено методику розрахунку когенераційного обладнання на основі теорії теплового балансу поршневого двигуна внутрішнього згорання [1].

Проведено аналіз подібних досліджень в ХНАДУ та МАДИ. В роботах ХНАДУ (м. Харків) був досліджений газовий двигун, який було конвертовано з дизеля ЯМЗ-236 (ступінь стискання ϵ зменшена до 11,8), іскрова система запалювання забезпечувала стійку роботу на збіднених сумішах при α 1,4...1,6.

В МАДИ (м. Москва) досліджені двигуни КамАЗ без наддуву та з наддувом конвертовані в газові. Газовий варіант дизеля з наддувом забезпечував найменші концентрації викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах (ВГ) при $\epsilon = 1,4...1,6$. Запропоновано для поліпшення екологічних показників застосовувати двохступеневу систему нейтралізації із паладієвим каталізатором.

Постановка задачі. З метою зменшення забруднення навколишнього середовища на частині розроблених когенераційних установок застосовують газове паливо. Зазвичай це метан. В останні роки розширяється асортимент газових палив за рахунок нетрадиційних джерел видобутку. Застосування альтернативних газових палив з різним об'ємним відсотковим вмістом горючих речовин вимагає удосконалення автоматичної системи

дозування газового палива і корекції кута випередження запалювання. Для цього необхідні провести додаткові дослідження.

Основний матеріал. Для вирішення поставлених задач в ІГ НАНУ виготовлена експериментальна газоелектрична установка номінальною потужністю 30 кВт. Початково установка була оснащена бензиновим двигуном 8Ч10/8,8 з іскровою системою запалювання та електричним генератором ДГФ82-4Б. Базовий двигун було конвертовано в суто газовий ($\epsilon = 8,5$).

Розроблені автоматичні системи установки забезпечували відбору теплоти від систем випуску, охолодження, мащення газового двигуна. Розроблена принципова схема когенераційної газової установки показана на рис. 1.

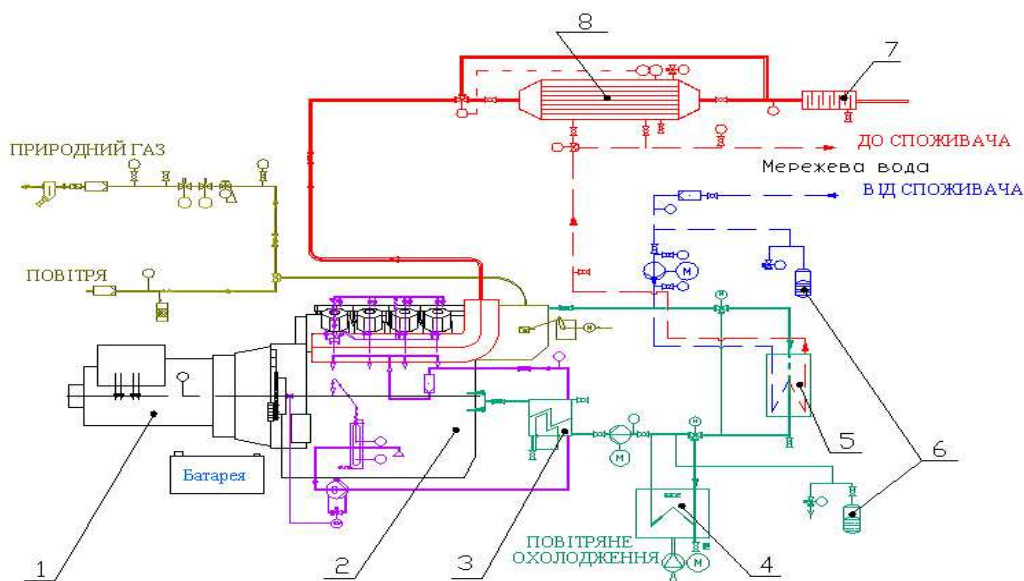


Рис. 1. Принципова схема когенераційної газової установки

На рис. 1 позначено: 1 – електричний генератор; 2 – газовий двигун; 3 – теплообмінник олива-мережева вода; 4 – радіатор аварійного охолодження; 5 теплообмінник охолодна рідина-мережева вода; 6 – рідинні ресивери надлишкового тиску; 7 – глушник; 8 – теплообмінник відпрацьовані гази-мережева вода.

В подальших експериментальних дослідженнях контур відбору теплоти від систем мащення не було реалізовано. Для зменшення вартості установки з електричною потужністю 30 кВт не встановлювали теплообмінник 3 і систему автоматики для цього контуру.

Розрахунок теплового балансу виконали для номінального режиму приводного газового двигуна (1500 хв^{-1}). При генерації 30 кВт електричної енергії можна отримати додатково до 162 МДж теплової енергії без залучення відбору теплоти від системи мащення. При виробленні лише електричної енергії к.к.д. установки за номінального режиму становить близько 30 %, а при когенерації – збільшується до 75 %.

Система автоматичного відбору теплоти від відпрацьованих газів для нагріву мережевої води спрацьовує за сигналами датчиків температури ВГ. Система відбору теплоти ВГ має два контури проходження ВГ: основний та обхідний без відбору теплоти. Ці контури приводили в дію заслінкою із приводом від шагового електродвигуна. Управління шагового двигуна здійснюється релейно від сигналів температури мережевої води на виході.

У випадку недостатнього нагріву мережевої води здійснюється автоматичне відведення теплоти від системи охолодження газового двигуна. Для цього через теплообмінник 5, до якого підводили теплоту від системи охолодження, було відведено мережеву воду для нагріву. Подача мережевої води здійснюється автоматично в залежності від потреб в мережі

за допомогою підкачуючого насоса. Для автономного підтримання тиску в системі мережевої води та системі охолодження двигуна було вмонтовано два ресивери б надлишкового тиску.

Система охолодження газової установки для захисту та автономної надійної роботи була забезпечена резервною системою рідинного охолодження. При перегріві газового двигуна включається контур подачі охолодної рідини до системи зовнішнього відбору теплоти, яка складається з радіатора 4 із електричним вентилятором та насосом аварійної підкачки охолодної рідини.

Для привода когенераційної установки розроблено автоматичну систему дозування газового палива на основі вузлів фірми HEINZMANN [2], схема якої показана на рис. 2.

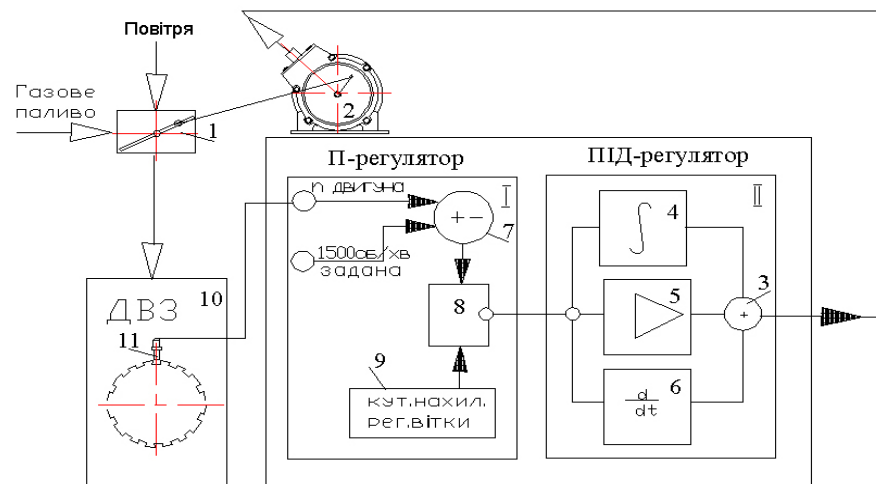


Рис. 2. Схема подачі та дозування газового палива

На рис. 2 позначено: 1 – дросельна заслінка; 2 – виконавчий механізм; 3 – суматор ПІД-регулятора; 4...6 – інтегральна, пропорційна, диференціальна складова ПІД-регулятора; 7...9 – програмні блоки для порівняння дійсної і заданої частот обертання двигуна; 10 – двигун; 11 – індуктивний датчик.

Газова система живлення двигуна складається із лінії подачі газового палива та контуру аварійної відсічки газу через електромагнітний клапан.

У випадку виникнення надлишкового тиску в лінії подачі газового палива встановлено електромагнітний клапан, який стравлює надлишковий тиск у відповідну систему. В разі відсутності газового палива автоматично перекривається загальна газова магістраль до двигуна.

Стабілізування тиску газового палива на вході до змішувача здійснювали за допомогою клапана нульового тиску. Регулювання та дозування складу газоповітряної суміші здійснювали за допомогою дросельної заслінки, яка була встановлена в спеціальному газовому змішувачі. Привід дросельної заслінки газового змішувача мав керування від електронного блоку управління Pandaros фірми HEINZMANN з виконавчим механізмом моделі StG 2010–SV [2].

Особливістю електронного блоку Pandaros є послідовне з'єднання П-регулятора (пропорційного) і ПІД-регулятора (пропорційно-інтегрально-диференціального) [3]. Вхідним сигналом є частота обертання колінчастого вала. Цей сигнал є регульовальним параметром. П-регулятор визначає величину відхилення фактичної частоти від заданої (1500 хв^{-1}). Можна задати настройками підтримання частоти обертання в межах $0...3\%$, що буде відповідати частоті виробленої електроенергії $50...51,5 \text{ Гц}$.

Подальший ПІД-регулятор, по суті, є регулятором виконавчого механізму StG 2010–SV, вал якого з'єднано з дросельною заслінкою. Особливістю виконавчого механізму є наявність

зворотного зв'язку за положенням вихідного вала і обмеження максимального значення сили струму управління.

Настройку ПІД-регулятора здійснювали в режимі холостого ходу з наступною перевіркою в динаміці – при збросі-набросі 100 % навантаження. Навантаження здійснювали реостатами. Було вибрано настройки ПІД-каналів: П – 10 %, І – 15 %, Д – 15 %. Кінцеву (індивідуальну) настройку ПІД-регулятора здійснювали впливом на два корегуючі коефіцієнта. Перший коефіцієнт корегує настройки ПІД-регулятора залежно температурного режиму двигуна, другий – залежно навантаження.

Газоелектрична установка була обладнана приладами для індицирування, призначена для дослідження робочих процесів згорання в газовому двигуні при зміні регульованих параметрів: кута випередження запалювання, складу газоповітряної суміші та ін.

Індицирування робочого процесу двигуна виконано за допомогою тензометричного датчика тиску МИДА-ДИ-12П-081, який мав робочий діапазон тисків в межах 0...10 МПа при температурі вимірювальної мембрани до 350 °С.

Досліджено особливості роботи двигуна при зміні кута випередження запалювання від 25...45° із кроком 5°. Механізми автоматичної корекції кута були відключені. Для визначення оптимального кута випередження запалювання за площею індикаторних діаграм було опрацьовано серію індикаторних діаграм при постійному навантаженні 75 %. Запис цифрових осцилограм виконали із частотою 250 кГц. Для зовнішнього дублювання значень кута був використаний стробоскоп. Результати обробки індикаторних діаграм наведено в табл.1.

Таблиця 1

Результати обробки усереднених індикаторних діаграм

Параметри	Кут випередження запалювання		
	25°	35°	45°
Площа індикаторної діаграми (за цикл), мм ²	1418	1541	1439
Максимальний тиск p_{max} , МПа	1,44	1,62	1,83
Температура відпрацьованих газів, К	863	793	773
Середній індикаторний тиск p_i , МПа	0,440	0,436	0,398
Індикаторна потужність N_i , кВт	30,41	30,13	27,53
Середній ефективний тиск p_e , МПа	0,340	0,336	0,296
Ефективна потужність, кВт	23,5	23,22	20,62

Визначений оптимальний кут випередження запалювання становив $\theta_{opt}=35^\circ$ для $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ при роботі на метані.

Було виконано фізичне моделювання подачі альтернативного газового палива, яке складається з метану і негорючої складової. На рис. 3 показані результати індицирування газового двигуна при роботі на суміші 85 % (за об'ємом) і 15 % негорючої складової.



Рис. 3. Результати індицирування газового двигуна

На рис.3 позначено: 1 – сигнал від тензодатчика тиску; 2 – мітка ВМТ; 3 – момент проскакування електронної іскри.

Газовий двигун було відрегульовано на збіднену суміш $\alpha = 1,31$. Зовнішнє навантаження складало 19 кВт (75 %). Кут випередження запалювання 35^0 . При накиданні 100 % навантаження (30 кВт) двигун працював нестабільно.

Визначені раціональні регулювальні параметри – це база для створення універсальної системи автоматичного регулювання і управління газовим двигуном для забезпечення енергетичних, а в подальшому, і екологічних показників без суттєвої зміни базової конструкції.

Висновки. Розроблено систему автоматичного управління утилізації теплоти від газового двигуна для когенераційної установки.

Розроблена мікроконтролерна система управління газовим двигуном забезпечує: автоматичний запуск двигуна, прогрів, підтримання частоти обертання 1500 хв^{-1} колінчастого вала в межах $0...3 \%$ з реалізацією ПІД-закону управління, настройку складу газоповітряної суміші в межах $\alpha = 1,0...1,55$, автоматичну зупинку та самодіагностику елементів систем двигуна в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Долганов К.Є. Система живлення для переобладнання дизеля в газовий двигун / К.Є. Долганов, А.А. Лісовал, О.І. П'ятничко, Ю.П. Майфет. // Вісник НТУ-ТАУ. – 2002. – Вип. №7. – С. 295 – 299.
2. Лісовал А.А. Виконавчі механізми для електронних регуляторів паливних насосів високого тиску / А.А. Лісовал, С.В. Костиця, О.В. Вербовський // Автошляховик України. – 2009. – №5. – С. 18 – 20.
3. Лісовал А.А. Автоматичне регулювання систем когенераційної установки на газовому паливі / А.А. Лісовал, М.Є. Нижник, В.С. Вербовський // Автоматика/ Automatics – 2013: Матеріали XX Міжнародної конференції з автоматичного управління // Миколаїв: НУК – 2013. – С. 248 – 249.

Лісовал А.А., Нижник М.Є., Вербовський А.В.

КОГЕНЕРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА С ГАЗОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

В статье описаны принципы работы и автоматические системы когенерационной газоэлектрической установки. Подробно описано автоматическую систему подачи и дозирования газового топлива, определены рациональные значения настройки регулятора фирмы Heinzmann.

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, газовое топливо, когенерация, система автоматического регулирования, искровое зажигание.*

Lisoval A., Nizhnik M., Verbovsky A.

COGENERATION POWER WITH GAS ENGINE

The paper describes the principles of co-generation systems and automatic gas-electric plant. Detailed automated feed systems and dosing of gaseous fuel, defined the rational values setting of the firm Heinzmann.

Keywords: *internal combustion engine, fuel gas, cogeneration, automatic regulation system, spark ignition.*