

**АНАЛІЗ СТРУКТУР ГАЗОПОРШНЕВИХ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК  
СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ****Н. Г. Лазаренко, О. В. Бялобржеський**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: natali\_alex\_2008@mail.ru

Робота присвячена аналізу структур газопоршневих когенераційних установок середньої потужності. Розглянуто структуру газопоршневого електроагрегату, систему регулювання частоти обертання, систему збудження генератора. Для регулювання кількості виробництва тепла, електроенергії та контролю їх якості використовують декілька видів регулювання газопоршневим електроагрегатом: регулювання частоти обертання, регулювання напруги в енергосистемі, регулювання складу газоповітряної суміші. Для управління сучасними газопоршневими електроагрегатами широко застосовують комплексні мікропроцесорні системи, створювані, як правило, для типового ряду агрегатів одного виготовлювача. Використання когенераційних установок і керування режимами їх роботи залежить від структури самої когенераційної установки, та системи тепло- і електропостачання, в складі якої когенераційна установка повинна працювати. При цьому ефективність роботи когенераційних установок залежить від алгоритмів і пристроїв управління первинним двигуном та електрогенератором, а також від режимів споживачів, які підключаються до когенераційних установок, і характеру тарифікації теплової і електричної енергії.

**Ключові слова:** когенерація, газопоршневий електроагрегат, генератор, регулювання збудження, автоматичне управління.

**АНАЛІЗ СТРУКТУР ГАЗОПОРШНЕВИХ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК  
СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ****Н. Г. Лазаренко, О. В. Бялобржеський**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: natali\_alex\_2008@mail.ru

Работа посвящена анализу структур газопоршневых когенерационных установок средней мощности. Рассмотрена структура газопоршневого электроагрегата, система регулирования частоты вращения, система возбуждения генератора. Для регулирования количества теплоты, электроэнергии и контроля их качества используют несколько видов регулирования газопоршневом электроагрегатом: регулировка частоты вращения, регулирования напряжения в энергосистеме, регулирования состава газозоудушной смеси. Для управления современными газопоршневыми электроагрегатами широко применяют комплексные микропроцессорные системы, создаваемые, как правило, для типового ряда агрегатов одного изготовителя. Использование когенерационных установок и управления режимами их работы зависит от структуры самой когенерационной установки, и системы тепло- и электроснабжения, в составе которой когенерационная установка должна работать. При этом эффективность работы когенерационных установок зависит от алгоритмов и устройств управления первичным двигателем и электрогенератором, а также от режимов потребителей, которые подключаются к когенерационным установкам, и характера тарификации тепловой и электрической энергии.

**Ключевые слова:** когенерация, газопоршневой электроагрегат, генератор, регулирование возбуждения, автоматическое управление.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Мала енергетика є не тільки альтернативою централізованій системі – вона стає основою для швидкого розвитку знову освоєваних районів, нових виробництв і розширення існуючих. Дуже часто через зношеність обладнання існуючих електромереж ускладнено підключення нових промислових споживачів, а іноді й просто економічно недоцільно (у разі великого віддалення споживача від ЛЕП). У результаті застосування автономних енергоджерел із комбінованим виробництвом електричної і теплової енергії (когенерація) забезпечується певний енергетичний резерв в централізованій системі [1].

На сьогоднішній день виникло безліч аргументів для впровадження когенераційних технологій. Когенераційні установки (КГУ) мають корисні особливості: дешева електрична і тепла енергія (порівняно з купованою з мережі), близькість до споживача, відсутність необхідності в дорогих ЛЕП і підстанціях, екологічна безпека, мобільність, легкість монтажу і т.д. [2].

Залежно від існуючих вимог роль первинного двигуна в КГУ можуть виконувати газопоршневий двигун, парова турбіна, газова турбіна, парогазова установка, мікротурбіни. При виборі первинного двигуна і в цілому КГУ звертають увагу на кілька факторів: яке паливо буде використовувати установка (за простотою підведення його до когенераторів), яка потужність необхідна, яку кількість електроенергії та теплоти необхідно виробити [3].

Для можливості ефективного використання когенерації на відносно малих потужностях і можливості швидкого пуску в експлуатацію, обґрунтовано використання газопоршневих електроагрегатів [4]. Вони роблять когенераційні установки ефективним джерелом електроенергії для покриття пікових навантажень. Газопоршнева установка розрахована на роботу на різних складах природного газу, включаючи газ, одержуваний з промислових відходів (біогаз, шахтний газ).

Як показано в роботах [5, 6], використання КГУ та керування режимами їх роботи залежить від структури самої КГУ та системи тепло- і електропо-

стачання, в складі якої КГУ повинна працювати. При цьому ефективність роботи КГУ залежить від алгоритмів і пристроїв управління первинним двигуном та електрогенератором, а також від режимів споживачів, які підключаються до КГУ, та характеру тарифікації теплової і електричної енергії [5].

Мета роботи – виявлення особливостей функціонування когенераційних установок середньої потужності, особливостей їх регулювання для вироблення необхідної кількості енергії.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Всі газопоршневі електроагрегати залежно від області їх застосування поділяються на агрегати базового (основного), пікового і резервного живлення (рис. 1,а–в). До кожної з груп висувуються конкретні вимоги.

До електроагрегатів базового (основного) живлення (рис. 1,а) висувують деякі вимоги:

- періоди між переборками, термін служби деталей і ресурс повинні бути максимальними. Величина навантаження, якою може бути одномоментно («наброс») або плавно навантажений прогрітий агрегат відразу після досягнення ним номінальної швидкості обертання, має бути номінальною, для максимального використання можливостей двигуна і, зокрема, зменшення його установочної потужності;

- витрата палива і масла на одиницю виробленої електроенергії повинна бути мінімальна.

Вимоги, яким повинні задовольняти пікові агрегати (рис. 1,б), мало відрізняються від пропонувананих до агрегатів базового (основного) живлення, що визначає можливість використання останніх як пікових. Більш жорсткими є вимоги до надійності запуску (кількість відмов на один запуск, що відбувся не більше 0,001–0,002), а також часу прийому навантаження [6].

Необхідна потужність пікових агрегатів повинна визначатися з урахуванням виду навантаження, характеру навантаження (плавне або миттєвий «наброс»), приємності базового (основного) і пікового агрегатів, а також наявності пристрою рівномірного (за різних потужностей базового та пікового агрегатів пропорційного) розподілу навантаження.

Резервні агрегати електроживлення (рис. 1,в) призначені для забезпечення гарантованої роботи відповідальних споживачів при перервах основного живлення. Такі агрегати представляють собою пристрої, що використовують енергію, запасену в акумуляторних батареях (статичні агрегати), а також вироблену газопоршневими електроагрегатами, які запускаються.

Для регулювання кількості виробництва тепла та електроенергії використовують декілька видів регулювання газопоршневим електроагрегатом.

Регулювання частоти обертання поряд з регулюванням напруги газопоршневих електроагрегатів є одним з найважливіших завдань, від методів вирішення якого залежить якість електроенергії в сталих і перехідних режимах роботи системи електропостачання споживачів.

Технічні засоби регулювання частоти обертання газопоршневих електроагрегатів в даний час представлені регуляторами чотирьох типів:

- відцентрові регулятори прямої і непрямої дії;
- аналогові електронні регулятори;
- цифрові електронні регулятори;
- цифрові регулятори, які є органічною частиною комплексних мікропроцесорних систем управління двигуном або генераторним агрегатом у цілому.

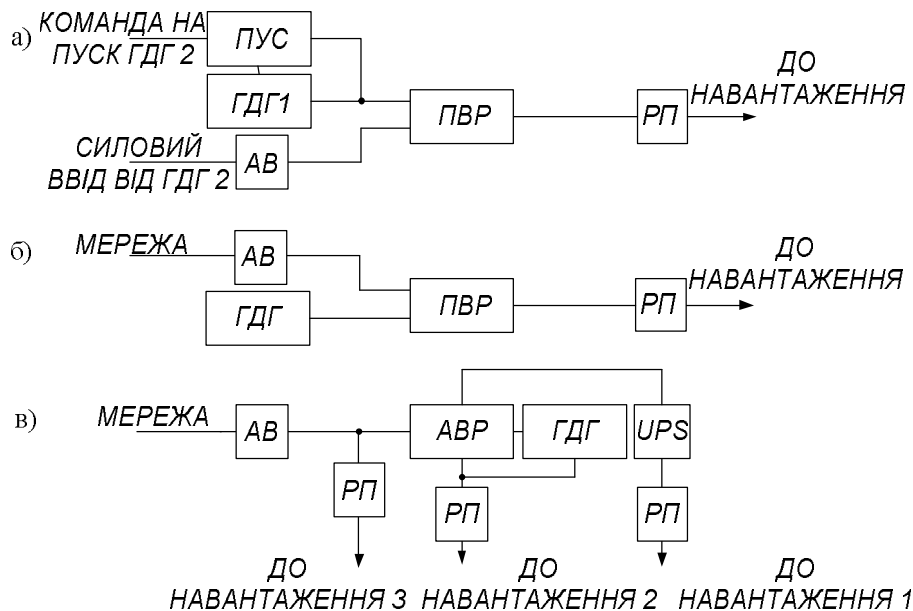


Рисунок 1 – Структурна схема живлення споживачів з використанням когенераційних установок: а) структурна схема електроживлення з одним газопоршневим двигуном з генератором; б) структурна схема резервного електроживлення з двома газопоршневими двигунами з генераторами; в) структурна схема газопоршневого електроагрегату живлення різних категорій споживачів; ГДГ – газопоршневий двигун з генератором; ПВР – перемикач ввімкнення резерву; РП – розподільчий пристрій; АВР – автоматичне ввімкнення резерву; UPS – статичний агрегат резервного електроживлення (з акумуляторними батареями); ПУС – панель управління і сигналізації; АВ – автоматичний вимикач

Особливістю газопоршневих електроагрегатів є можливість застосування декількох виконавчих пристроїв, керованих одним електронним блоком регулювання частоти обертання, так як багато двигунів мають декілька агрегатів наддуву і, відповідно, декілька дросельних заслінок з індивідуальним приводом (рис. 2).

Крім того, існують схеми наддуву з паралельною роботою кількох турбокомпресорів на загальний впускний колектор. У таких двигунах часто застосовують паралельно включені дросельні заслінки, кожна зі своїм керованим приводом. Це дозволяє застосовувати виконавчі пристрої, які мають невеликі габарити і масу. У цьому випадку при малих навантаженнях агрегату керують однією заслінкою, а при збільшенні навантаження – двома заслінками.

Регулювання складу газоповітряної суміші є одним з ефективних способів впливу на робочий процес газопоршневого двигуна з метою забезпечення заданих ефективних, економічних й екологічних показників електроагрегату. Основним параметром горючої суміші, що створює істотний вплив на ці показники, є співвідношення палива і повітря в цій суміші, зване паливоповітряним відношенням, відношенням «газ–повітря» або «повітря–газ», що відповідає прийнятому в зарубіжній практиці найменуванню «air–fuel ratio» (AFR) [7].

Регулювання напруги в енергосистемі здійснюється регулюванням напруги на виводах генератора шляхом дії на його збудження.

Генератори, що використовуються в когенераційних установках можуть бути синхронними або асинхронними. Синхронний генератор може працювати в автономному режимі або паралельно з мережею. Асинхронний генератор може працювати тільки паралельно з мережею.

Якщо стався обрив або інші неполадки в мережі, асинхронний генератор припиняє свою роботу. Тому, для забезпечення гнучкості застосування розподілених когенераційних енергосистем частіше використовуються синхронні генератори [8].

За способом виконання систем збудження генератори умовно можна розділити на два принципово різних виконання: генератори, забезпечені щітковим апаратом для передачі струму від нерухомої системи управління до обертаючої обмотки збудження, іменовані надалі «щіткові» (лапки далі опускаються) і генератори, позбавлені такого апарату, іменовані надалі безщіткові (рис. 3). У свою чергу, щіткові генератори підрозділяються на оснащені статичною системою з прямим фазовим компаундуванням і забезпечені збудником постійного струму з непрямим фазовим компаундуванням, як правило, висковольтні генератори, виконання прямого компаундування в яких важко. Щіткові генератори зі статичною системою збудження з корекцією напруги поділяються на варіанти: з дроселем відбору, з керованим трансформатором фазового компаундування і з тиристорним відбором. У сучасних системах корекція напруги здійснюється напівпровідниковим коректором напруги.

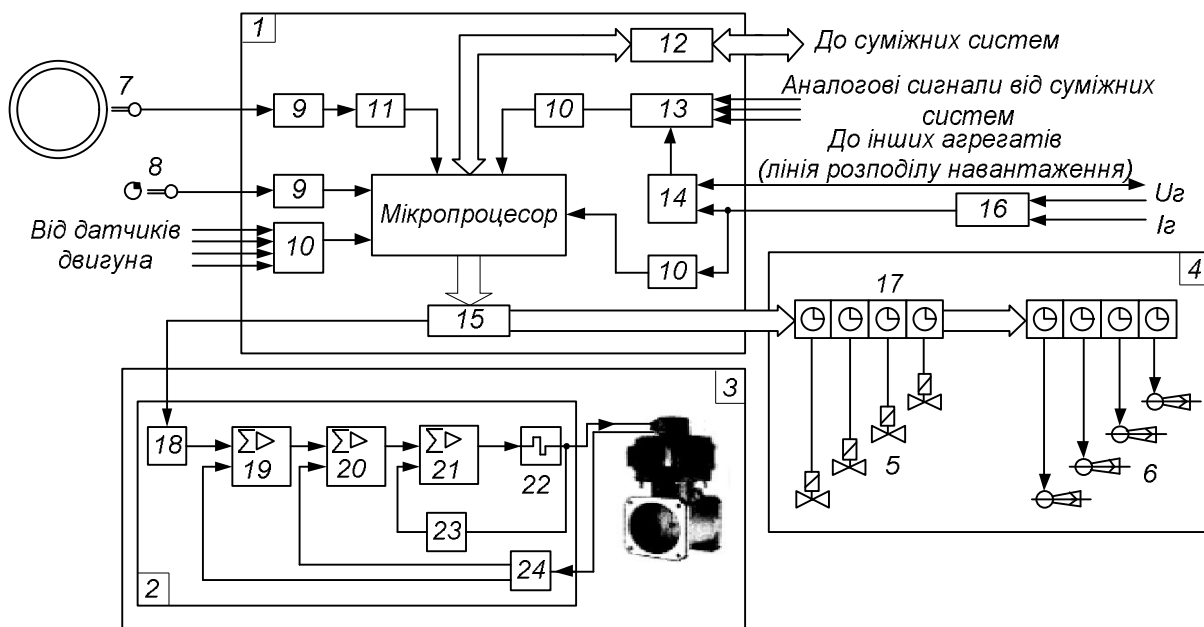


Рисунок 2 – Схема електронного регулятора частоти обертання: 1 – мікропроцесорний блок; 2 – модуль управління дросельною заслінкою; 3 – привід дросельної заслінки; 4 – модуль розподіленого управління подачею газу; 5 – електромагнітний газовий клапан; 6 – форсунка; 7 – датчик частоти обертання; 8 – датчик положення розподільчого валу; 9 – вхідний перетворювач; 10 – аналого-цифровий перетворювач; 11 – перетворювач частоти в код; 12 – інтерфейсний перетворювач; 13 – аналоговий задатчик частоти обертання; 14 – модуль розподілення навантаження; 15 – вихідний модуль; 16 – датчик активного навантаження; 17 – таймер; 18 – перетворювач сигналу управління; 19 – підсилювач контуру зворотного зв'язку по положенню; 20 – підсилювач контуру зворотного зв'язку по швидкості; 21 – підсилювач контуру зворотного зв'язку по току; 22 – широтно-імпульсний модулятор; 23 – датчик струму; 24 – перетворювач сигналу зворотного зв'язку

У системі збудження (рис. 3) група статичних випрямлячів перетворює змінний струм збудника GE із частотою 50 Гц у постійний. Збудником є синхронний генератор, розташований на одному валу зі збуджуваним генератором (незалежне збудження). Статична випрямна установка складається з керованих напівпровідникових кремнієвих випрямлячів – тиристорів.

При високих значеннях напруги збудження зазвичай застосовують дві групи тиристорів – робочу VS1 і прискорюючу VS2. Обидві групи з'єднують паралельно за трифазною мостовою схемою. За рахунок комутації тиристора однієї групи на тиристор іншої групи зворотна напруга тиристорів робочої групи зменшується. Робоча група тиристорів забезпечує основне збудження генератора в нормальному режимі, прискорююча група – прискорення і гасіння поля в аварійних режимах, тому в нормальному режимі вона працює з невеликими струмами (20–30 % номінального струму ротора); при прискоренні прискорююча група (повністю або частково) відкривається і забезпечує весь струм прискорення, а робоча група тиристорів замикається більш високою напругою прискорюючої групи.

Для живлення двох груп тиристорів обмотку кожної фази збудника виконують з двох частин: частини низької напруги, перетин провідників якої розрахований на тривале проходження робочого струму, і частини високої напруги, перетин провідників якої розрахований на короткочасне проходження струму прискорення. До першої підключені тиристори робочої групи VS1, а до другої – прискорюючої групи VS2.

Незалежна система збудження зі збудником змінного струму і статичними перетворювачами володіє високою швидкодією, так як вона має високу граничну напругу збудження і, внаслідок безінерційності тиристорів, малі постійні часу. До недолі-

ків цієї системи збудження слід віднести наявність збудника змінного струму, який ускладнює експлуатацію і збільшує вартість всієї системи збудження, а також наявність ковзних контактів (у ній зберігаються контактні кільця і щітки ротора).

Найбільш поширеним є виконання безщіткового генератора зі зверненим синхронним збудником і підбудником на постійних магнітах, які в свою чергу діляться на виконання, звані умовно «доданими» і «тиристорним» (лапки надалі опускаються). У діодному варіанті напруга якірної обмотки зверненого синхронного збудника через обертовий доданий перетворювач прикладається до обмотки збудження генератора, а регулювання здійснюється в ланцюзі обмотки збудження збудника; в тиристорному варіанті напруга до обмотки збудження прикладається через обертовий тиристорний перетворювач, і регулювання здійснюється шляхом дії на тиристорний перетворювач. Іноді обидва варіанти в цілях резервування реалізуються в одному генераторі.

Для управління сучасними газопоршневими електроагрегатами широко застосовуються комплексні мікропроцесорні системи, створювані, як правило, для типового ряду агрегатів одного виготовлювача.

У перелік таких пристроїв входять один або кілька блоків збору та обробки сигналів датчиків (тиску, температури, детонації), головний (базовий) керуючий блок, виконуючий регулювання частоти обертання і керування послідовністю операцій пуску і зупинки двигуна, блок регулювання складу паливоповітряної суміші і блок управління запалюванням. Структурна схема газопоршневого електроагрегату приведена на рис. 4.

На ній показані зв'язки систем (управління, регулювання і т.д.) з електроагрегатом та наведено перелік підсистем, які можуть входити до відповідних систем [9].

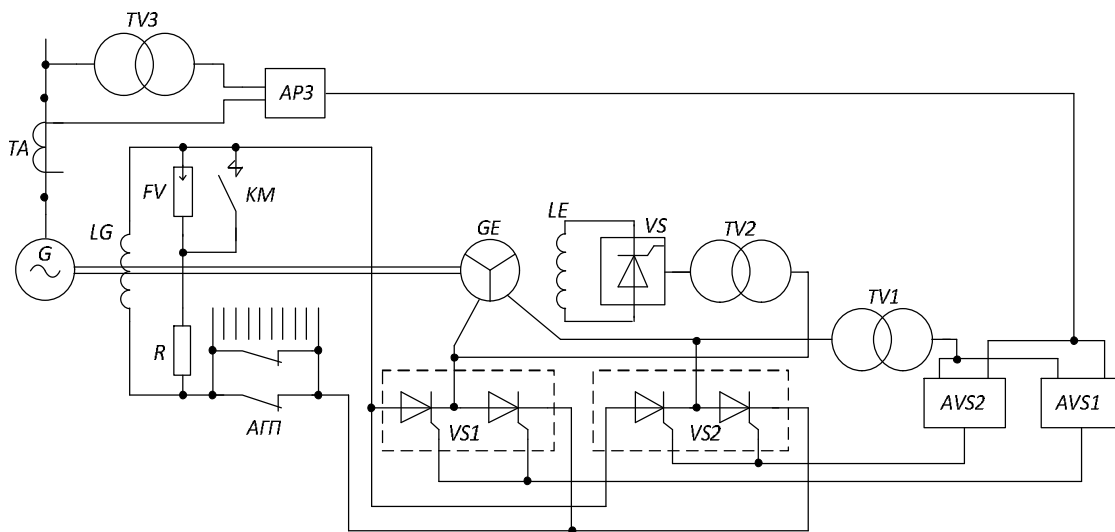


Рисунок 3 – Статична тиристорна система незалежного збудження:

TA1 – трансформатор, який живить системи керування вентилями робочої групи AVS1 і прискорюючої групи AVS2; TA2 – трансформатор самозбудження збудника; VS – вентилі системи збудження збудника; AP3 – автоматичне регулювання збудженням

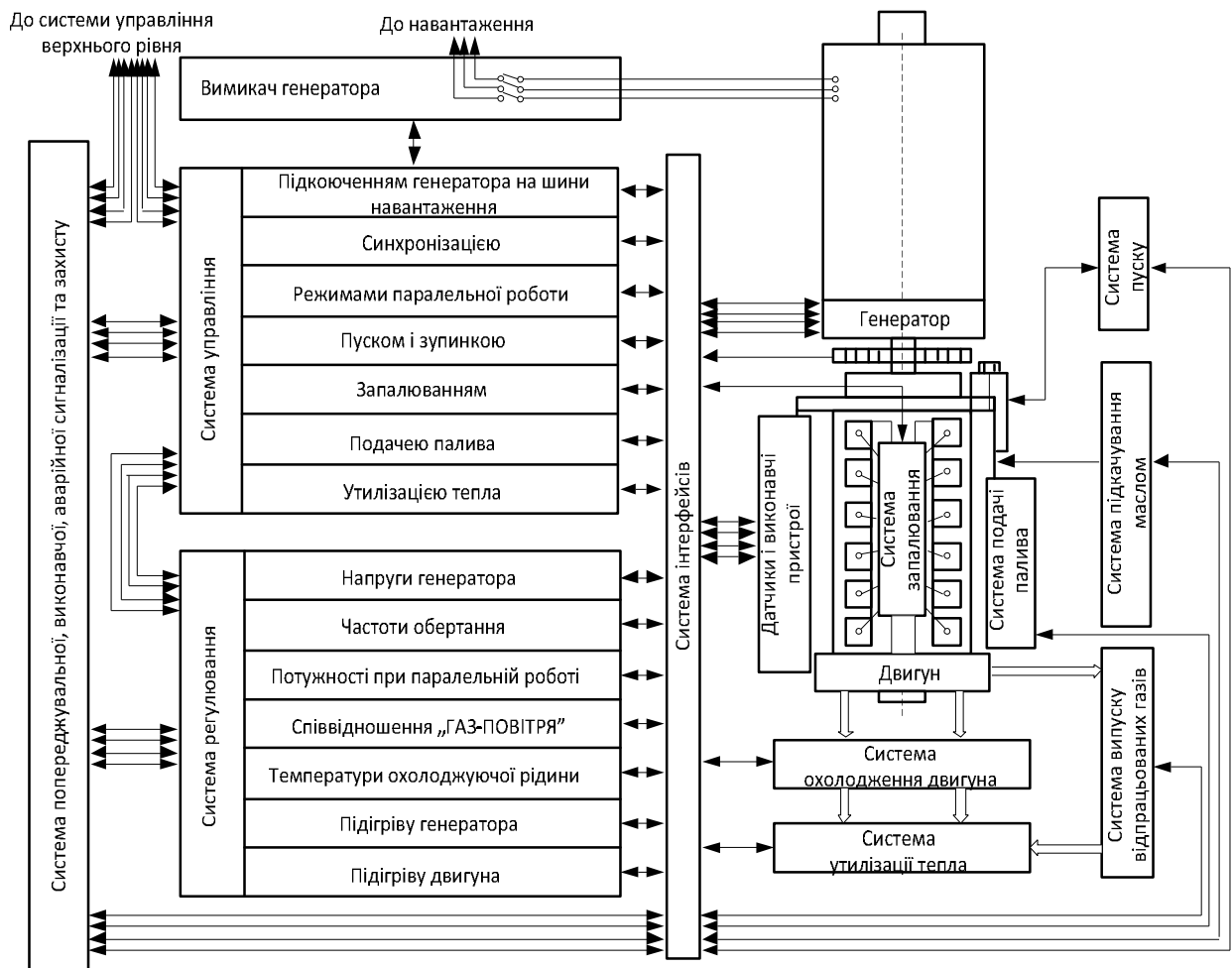


Рисунок 4 – Структурна схема газопоршневого електроагрегата

Часто функції останніх двох блоків виконує базовий керуючий блок. Для двигунів із розподіленою подачею палива виявляється доцільним розробляти окремі модулі управління кожним циліндром (або групою циліндрів). При цьому середні по двигуну значення керуючих впливів визначає базовий блок, а модулі управління циліндрами коригують їх для кожного циліндра на підставі інформації про параметри, що характеризує робочий процес у даному циліндрі.

**ВИСНОВКИ.** Проведено аналіз структур газопоршневих електроагрегатів. Виявлено, що сучасні КГУ є багатофункціональними електро- та теплоенергетичними пристроями. Структуру цих пристроїв з позиції регулювання та управління поділяють на дві частини, які виступають, відповідно, об'єктами управління: механічна і електрична. При чому на першу покладають ефективне регулювання частоти та моменту обертових частин, а на другу – регулювання електричної напруги. Управління вказаними системами відбувається автоматичними блоками, що контролюють параметри КГУ в цілому.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бублиенко А.А. Технология когенерации и тригенерации // Технология когенерации и тригене-

рации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ekvent.com.ua/> – Название заголовка с экрана.

2. Паньків В.В. Когенерация: как это работает. Обзор рынка // Журнал «Сети и бизнес». – 2010. – № 4. – С. 96–101.

3. Басок Б.И., Базеев Е.Т., Диденко В.М., Коломейко Д.А. Анализ когенерационных установок. 1. Классификация и основные показатели // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 3. – С. 83–89.

4. Почему выгодна когенерация // Экологические системы: электронный журнал энергосервисной компании. – 2003. – № 4, апрель, 2003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://esco-ecosys.htm> – Название заголовка с экрана.

5. Голдинер А.Я., Цыркин М.И., Бондаренко В.В. Газопоршневые электроагрегаты. – СПб.: Галей Принт, 2006. – 240 с.

6. Матюнина Ю.В., Харитонов Д.А. Использование газопоршневых установок при регулировании нагрузки предприятия // Вестник МЭИ. – 2007. – № 2. – С. 111–113.

7. Петров С.П. Автоматизация когенерационных систем теплоснабжения с распределенными пико-

выми нагрузками: монография / Под общ. ред. д.т.н., проф. А.И. Суздальцева. – М.: Машиностроение, 2007. – 304 с.

8. Круг А.Е. Параллельная работа синхронного генератора с сетью // Сборник „Электросила”. – 2000. – № 39.– С. 104–111.

9. Strickland, C. and Nyboer, J. (2002), Cogeneration Potential in Canada, Phase 2, completed for Natural Resources Canada, Ottawa.

## ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF MEDIUMPOWER GAS-PISTON COGENERATION SYSTEMS

**N. Lazarenko , O. Bialobrzeski**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: natali\_alex\_2008@mail.ru

The paper analyzes the structures of medium power gas-piston cogeneration plants (CHP), such as the structure of a gas-electrical machine, speed control system, excitation system of the generator. To control the amount of heat, electricity and its quality, several types of the gas-electrical machine adjustment are typical to use: speed control, power system voltage control, gas mixture composition control. To control the gas-electrical machine widely, an integrated microprocessor system is applied, which is usually intended for a standard series of devices of the same manufacturer. The use of CHP and its operation modes control depend on the structure of a cogeneration system, and a system of thermal and power supply that comprises the CHP within. In this case, efficiency of CHP depends on algorithms and control units of electric generator and prime mover, and, also, on the consumption modes of the consumers connected to the CHP, as well as on the character of heat and electricity tariffication.

**Key words:** cogeneration, gas-electrical, generator excitation adjustment, automatic control.

### REFERENCES:

1. Bublienko, A.A. (2014), “Cogeneration and trigeneration technology”, [electronic source], available at: <http://ekvent.com.ua> (accessed on March 15, 2014).

2. Pankiv, V.V. “Cogeneration: how it works. Market review” (2010), *Seti i biznes*, no. 4, pp. 96–101.

3. Basok, B.I, Baseev, E.T, Didenko, V.M, Kolomeiko, D.A. (2006), “Analysis of cogeneration facilities. 1. Classification and the key indices” *Promyshlennaja teplotehnika*, vol. 28, no. 3, pp. 83–89.

4. (2003), “Why cogeneration”, *Environmental systems: an electronic journal of an energy company*, [electronic source], available at: <http://esco-ecosys.htm> (accessed on February 25, 2014).

5. Goldiner, A.Y, Tsyarkin, M.I, Bondarenko, V.V. (2006), *Gazoporshnevye jelektroagregaty* [Gas-piston electrounits], Galea Prints, St.-Petersburg, Russia.

6. Matyunina, V. Kharitonov, D.A. (2007), “Use of gas-piston units for industrial load control”, *Vestnik MEI*, no. 2, pp. 111–113.

7. Petrov, S.P. (2007), *Avtomatizacija kogeneracionnyh sistem teplosnabzhenija s raspredelennymi pikovymi nagruzkami* [Automation of the cogeneration heating systems with distributed peak loads], Mashinostroenie, Moscow, Russia.

8. Krug, A. (2000), “A synchronous generator operation in parallel with a circuit”, *Elektrosila*, no. 39, pp. 104–111.

9. Strickland, C. and Nyboer, J. (2002), Cogeneration Potential in Canada, Phase 2, completed for Natural Resources Canada, Ottawa.

Стаття надійшла 24.04.2014.