

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОГЕНЕРАЦІЙНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ АПК

І.В.Феофілов, старший викладач

Проаналізовано можливості підвищення ефективності когенераційного енергопостачання об'єктів агропромислового комплексу при використанні як силового агрегату поршневого двигуна внутрішнього згорання.

Когенераційна установка, когенераційне енергопостачання, узгодження постачальника і споживача енергій, додавання води до палива, конденсаційні утилізатори теплоти.

Інтенсивне поширення і розвиток технологій комбінованого виробництва теплової та електричної енергії, що спостерігається протягом останніх десятиліть, є результатом усвідомлення того, що паливні ресурси планети можуть бути вичерпані, а подальше погіршення екологічної ситуації, викликане нарощуванням обсягів споживаного палива, – неприпустимо. В Україні актуальним нині є необхідність впровадження енергозберігаючих заходів у всіх галузях виробництва, в тому числі і в агропромисловому секторі, що пов'язано зі значною частиною імпортованого палива в енергобалансі країни. З цією проблемою нерозривно пов'язані питання: енергетичної безпеки країни, економного використання енергоресурсів та екології довкілля.

Одним із найефективніших шляхів енергозбереження, що дозволяє ефективно вирішувати всі три питання, є когенерація. Сенс когенерації полягає в тому, що при виробленні електричної енергії створюється можливість утилізувати супутнє тепло і тим самим значно підвищити сумарний ККД агрегату – до 90–92 %. У когенераційній установці (КГУ) перетворення енергії відбувається з більшою ефективністю, чим досягається суттєве скорочення питомих витрат палива – до 135 г у.п./кВт·год [14].

Теплові втрати в таких установках не перевищують 10 %, а первинного палива потрібно в 1,6–2 рази менше в порівнянні з окремим виробництвом тієї ж кількості теплової та електричної енергії [6]. Ефективне використання палива призводить до зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу. Згідно з оцінками зниження викидів, наприклад, CO₂ при виробництві електроенергії за комбінованою технологією в порівнянні з окремим виробництвом становить більше 600 кг/МВт·год [8]. Крім того, зменшується собівартість виробленої продукції, а також вартість генеруючого обладнання та його обслуговування в перерахунку на 1 кВт·год виробленої енергії.

Нині в Україні частка відпуску електроенергії, виробленої за комбінованою технологією (в основному – на ТЕЦ), в повному обсязі відпуску електроенергії всіма генеруючими станціями складає близько 2 % [9]. Що стосується теплоти, ТЕЦ України виробляють близько 70 млн Гкал теплоти на рік, що становить 21,6 % від загального вироблення теплоти у країні. Основним паливом для ТЕЦ є природний газ, що в переважній більшості є імпортованим паливом, частина якого в паливному балансі досягає 80 %. Проте ефективність використання палива є дуже низькою: на деяких ТЕЦ питомі витрати умовного палива на вироблення 1кВт·год електроенергії досягають 0,53–0,54 кг у.п., а на 1 Гкал відпущеної теплоти – 240–250 кг у.п. [23]. Це пояснюється великим зносом устаткування, величезними втратами в зношених і протяжних мережах, низькою економічністю працюючих паротурбінних блоків (нижче 30 %). Переважна частина ТЕЦ використовується для виробництва електроенергії менше, ніж наполовину, а за тепловою потужністю (за винятком невеликої кількості промислових ТЕЦ) коефіцієнт використання не перевищує 30 %. У ситуації, що складається, особливої актуальності, що має державне значення, набуває проблема створення і широкомасштабної реалізації ефективних децентралізованих джерел енергопостачання – в першу чергу КГУ на базі газотурбінних установок (ГТУ) і поршневих двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), оскільки при їх використанні створюються найбільш ефективні, конкурентоздатні технології, які відрізняються короткими термінами реалізації проекту [13]. Якщо порівняти між собою ці два види когенераційного обладнання, то КГУ на базі ДВЗ в порівнянні з КГУ на базі ГТУ, мають більше значення електричного ККД, що дозволяє найповніше використовувати ексергетичний потенціал первинного палива. При зниженні навантаження на 50 % електричний ККД газової турбіни знижується майже у 3 рази, в той час як для ДВЗ така зміна режиму навантаження практично не впливає як на загальний, так і на електричний ККД [5]. Електрична потужність ГТУ залежить від температури навколишнього повітря: при підвищенні температури від –30 °С до +30 °С електричний ККД ГТУ падає на 15-20 %. На відміну від газової турбіни ДВЗ має вищий і постійний електричний ККД у всьому інтервалі температур до +25 °С [7]. Крім того, КГУ на базі ДВЗ характеризуються меншою питомою вартістю і меншими експлуатаційними витратами, відносною простотою обслуговування та управління, найменшим часом запуску у роботу і високою надійністю в експлуатації [15]. Тому, саме КГУ на базі поршневих ДВЗ стали найперспективнішим когенераційним обладнанням для об'єктів АПК.

Проте ефективне вироблення енергоносіїв в КГУ ще не означає ефективне енергопостачання об'єктів АПК. Потреби споживача в електричній і тепловій енергії практично не збігаються з енергетичними можливостями КГУ, яка виробляє ці енергоносії в певній пропорції, що не відповідає, в переважній більшості випадків, пропорції споживання електричної і теплової енергії населеним пунктом. Добові та сезонні коливання в споживанні енергоносіїв (особливо це стосується теплової енергії) ще більше ускладнюють задачу енергопостачання населеного пункту. Крім того, час-

тина вироблених енергоресурсів може бути втрачена при їх транспортуванні до споживача.

Мета досліджень - аналіз можливостей підвищення ефективності когенераційного енергопостачання об'єктів агропромислового комплексу..

Матеріали та методика досліджень. Можливе підвищення ефективності когенераційного енергопостачання об'єкта АПК передбачає три етапи.

1. Забезпечення найефективнішого перетворення хімічної енергії первинного палива при генерації електричної і теплової енергії.

2. Мінімізація втрат енергоносіїв при передачі їх споживачеві.

3. Узгодження генеруючих можливостей КГУ та енергетичних потреб споживача, що дозволить мати найменші втрати вироблених у КГУ енергій при їх споживанні.

Роботи з підвищення ефективності когенераційного енергопостачання можуть бути проведені на кожному етапі окремо і результат цих робіт можна записати як:

$$k = k_1 k_2 k_3,$$

де k – загальний показник підвищення ефективності когенераційного енергопостачання; k_1, k_2, k_3 – показники підвищення ефективності когенераційного енергопостачання на етапах вироблення енергоносіїв, транспортування енергоносіїв та на етапі узгодження енергетичних потреб споживача і можливостей КГУ, відповідно.

Результати досліджень. Головним показником енергоефективності КГУ на етапі вироблення енергоносіїв є сумарний коефіцієнт корисної дії (ККД). В одиницях потужності він може бути записаний так:

$$\eta = \frac{N_e + Q_m}{Q_{ког}} = \eta_e + \eta_m,$$

де N_e – електрична потужність КГУ, Вт; Q_m – тепла потужність КГУ, Вт; $Q_{ког}$ – теплота, що виділяється при спалюванні палива в когенераційній установці за одиницю часу, Вт; η_e і η_m – електричний і тепловий ККД КГУ, відповідно.

З точки зору термодинаміки ефективність КГУ на базі поршневих ДВЗ можна підвищити за рахунок:

1) збільшення електричної та / або теплової потужності при тих самих витратах первинного палива;

2) зменшення витрат первинного палива при збереженні сталими показників електричної та теплової потужності КГУ;

3) збільшення вироблення електричної та/або теплової енергії при одночасному зменшенні витрат первинного палива.

Однак поліпшення цих характеристик є серйозною проблемою, яка обумовлена низкою факторів.

1. Термодинамічні показники сучасних поршневих ДВЗ близькі до теоретично можливого граничного рівня [10] і цей граничний рівень забезпечує перетворення в корисну роботу не більше 45–46 % хімічної енергії первинного палива. Інша теплота, що виділилася при згорянні палива, ро-

зсіюється в навколишньому середовищі або з поверхні двигуна та його систем, або викидається з відпрацьованими газами. Для КГУ це не є фатальним, оскільки більша частина цієї теплоти може бути повернута споживачеві в котлах-утилізаторах у вигляді теплової енергії.

2. Значна частина теплоти первинного палива, що не використовується в ДВЗ для отримання роботи, припадає на відпрацьовані гази. В КГУ теплота відпрацьованих газів використовується частково (до 150–160 °С) у силу того, що використання теплоутилізаторів при температурах менше вказаних призводить до значного збільшення теплообмінної поверхні при незначних кількостях отриманого тепла, а також наближення температури до точки роси. Внаслідок цього, при подальшому зниженні температури можлива конденсація водяної пари у відхідному тракці, яка може утворювати агресивні сполуки з речовинами відпрацьованих газів та призводити до руйнування елементів конструкції.

3. Відпрацьовані гази ДВЗ, що викидаються в атмосферу, містять велику кількість токсичних речовин і сажі [4]. І хоча тепла утилізація в КГУ на основі поршневих ДВЗ зменшує кількість шкідливих речовин у відпрацьованих газах, їх величина залишається ще значною в порівнянні з іншими КГУ.

Напрямом подальшого розвитку ДВЗ як основи КГУ на базі поршневих ДВЗ є підвищення їх питомої потужності та зниження шкідливих викидів у навколишнє середовище, що пов'язано з подальшою інтенсифікацією процесів сумішоутворення і згоряння. Одним із дієвих методів вдосконалення сумішоутворення та інтенсифікації процесу згоряння палива є використання води як присадки до палива.

Додавання води в цикл поршневого ДВЗ можна здійснити введенням води у рідкому стані, у вигляді водо-паливної емульсії (ВПЕ), а також у вигляді водяної пари.

Введення води у рідкому стані нині використовують, в основному, для внутрішнього охолодження двигунів при форсуванні їх роботи за рахунок значної прихованої теплоти пароутворення води. Прикладом такого способу додавання води є використання вприскування води для форсування двигунів гоночних автомобілів та мотоциклів [25]. Основними недоліками додавання води у рідкому стані є: нерівномірний розподіл води по робочій суміші у зв'язку з незначним часом перебування палива в циліндрах двигуна (0,05–0,001 с залежно від частоти обертання колінчастого вала) ; відкладення солей при використанні недистильованої води, що призводить до порушень у роботі двигуна вже через 100–200 год роботи або необхідність у спеціальній системі водопідготовки та додаткових витратах енергії при використанні дистильованої води.

Використання ВПЕ в ДВЗ дозволяє економити паливо та знизити димність відпрацьованих газів [12] і розглядається як один із способів вдосконалення процесу сумішоутворення [16]. Найповніше різні аспекти роботи ДВЗ та процеси, що там протікають, досліджені при додаванні води у цикли ДВЗ саме у вигляді ВПЕ. Зафіксовано як збільшення, так і зменшення індикаторних показників двигуна, що свідчить про наявність як по-

зитивного, так і негативного впливу ВПЕ на робочий процес. Позитивний вплив на цикл ДВЗ полягає у зростанні питомого об'єму та кількості суміші газів в індикаторному процесі при пароутворенні з води, негативний – поглинання частини теплоти, що виділилася при згорянні палива. Введення води як додаткового робочого тіла сприяє зростанню індикаторного ККД, але оцінюється величиною значно меншою, ніж відведення теплоти за рахунок випаровування і нагріву [17]. Крім того, на показники циклу та індикаторний ККД впливає момент введення присадки води [18]. На рис.1 показано характер зміни індикаторного ККД залежно від моменту введення присадки води при її додаванні у кількості $\zeta = G_{H_2O}/G_{П} = 0,2$.

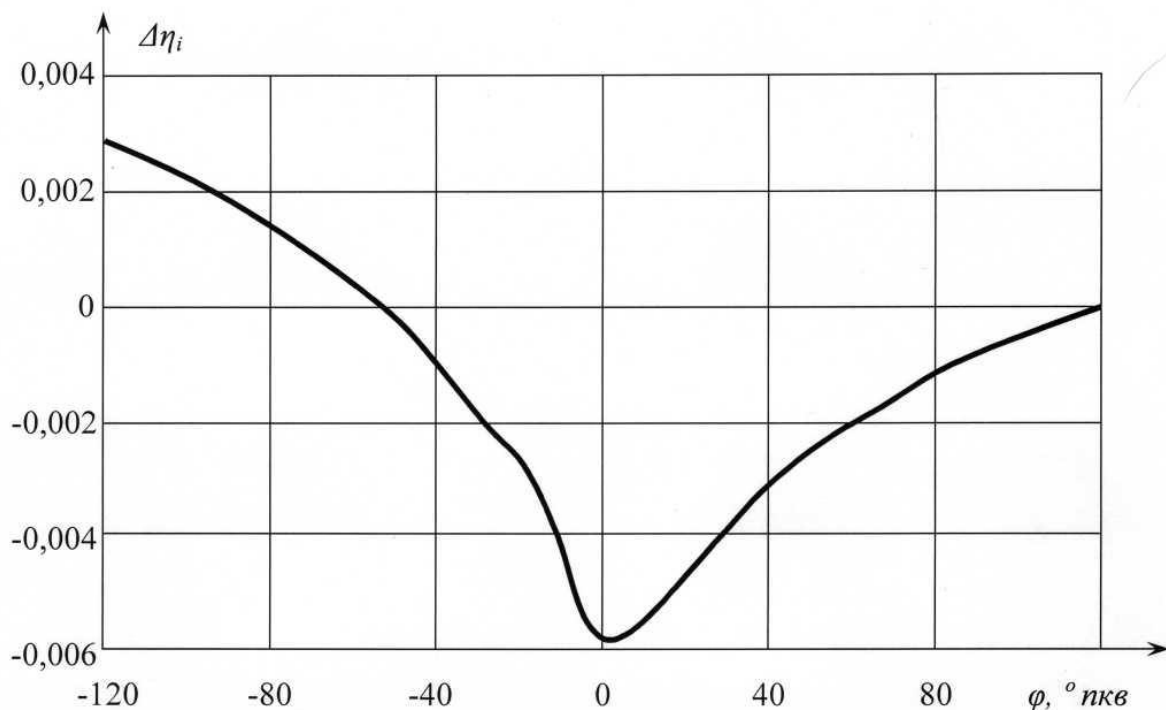


Рис.1. Вплив моменту введення присадки води на зміну індикаторного ККД для $\zeta=0,2$

Тобто, з термодинамічної точки зору найефективніше вводити присадку води на лінії стискання раніше -60° пкв, а найбільш несприятливим моментом для присадки води є місце в районі ВМТ. При використанні ВПЕ її введення відбувається за $10-20^\circ$ до ВМТ – у самому несприятливому місці, внаслідок чого введення води має негативний вплив на ККД циклу і призводить до його зниження. Крім цього, існують також інші негативні сторони від використання води в ДВЗ у вигляді ВПЕ, а саме: можливість збільшення зносу та виникнення корозії деталей паливної апаратури; нестабільність ВПЕ і можливість її розшарування з часом у зв'язку зі значною різницею в густині палива і води, що призводить до погіршення якості ВПЕ та зменшення її позитивного впливу на процеси в ДВЗ; негативний вплив поверхнево-активних речовин (ПАР), що є невід'ємною складовою ВПЕ, на процеси, які протікають у ДВЗ.

Розглядаючи наслідки від присадки води, слід зазначити і те, що в усіх вищезазначених варіантах додавання води застосовується дистиллят, отримання якого пов'язано з додатковими істотними енерговитратами і наявністю відповідного обладнання.

Більшість недоліків від використання води в ДВЗ при збереженні її позитивного впливу на процес згоряння може бути усунено, якщо застосовувати воду у вигляді водяної пари. У випадку використання водяної пари розподіл води в циліндрах двигуна більш рівномірний в порівнянні з вприскуванням води, що забезпечує ефективне згоряння паливної суміші, стабільну і надійну роботу двигуна. Значним позитивним моментом від додавання водяної пари є можливість роботи двигуна без використання ПАР, що запобігає утворенню відкладень у двигуні, які пов'язані із ними. Крім того, зволожене повітря не призводить до сольових відкладень у циліндрах двигуна, що позитивно позначається на його безаварійній роботі. Але застосування води у вигляді пари потребує великих енергетичних витрат на її отримання, пов'язаних зі значною величиною прихованої теплоти пароутворення води, і відповідного парогенеруючого обладнання. Ці питання можуть бути вирішені шляхом отримання водяної пари у складі зволоженого дуттьового повітря при використанні тепла охолоджуючої рідини ДВЗ або тепла відпрацьованих газів [1,19]. На рис.2 показана схема циклу поршневого ДВЗ без додавання води та з додаванням води у вигляді зволоженого повітря на прикладі дизельного двигуна. За рахунок більшої теплоємності води при всмоктуванні зволоженого повітря відбувається охолодження стінок циліндрів до більш низької температури, внаслідок чого зменшується мінімальна температура циклу. Всі інші температури циклу також знижуються, тобто цикл двигуна здійснюється в діапазоні менших температур. У процесі спалювання палива вода, що знаходиться в повітряно-паливній суміші, затягує процес згоряння палива, що сприяє деякому подовженню процесу 2 – 3 на Pv -діаграмі, як і в випадку використання ППЕ. Таким чином, зростанню ККД двигуна при використанні зволоженого повітря на відміну від використання ПВЕ сприяють обидва фактори: як затягування процесу згоряння палива, так і зменшення мінімальної температури циклу. Крім того, за відсутності процесів випаровування води при згорянні палива в випадку використання зволоженого повітря зниження максимальної температури циклу не таке значне, як у випадку використання ПВЕ, що також сприяє збільшенню ККД двигуна.

За рахунок зазначених вище факторів при додаванні води у вигляді зволоженого повітря можна отримати збільшення ККД поршневих ДВЗ на 2,5–4,5 %. При цьому загальне зменшення температур циклу відкриває можливість використовувати паливо з меншим октановим числом i , відповідно, більш дешеве. Ще більших значень ККД циклу i , відповідно, більшої економії палива можна досягти при роботі на стандартному паливі зі зволоженням дуттьового повітря шляхом збільшення ступеня стискання робочої суміші до тисків, як у циклах ДВЗ без додавання води. В цьому випадку при додаванні води у кількості 20 % від маси палива приріст електричної потужності становить близько 10–15 %.

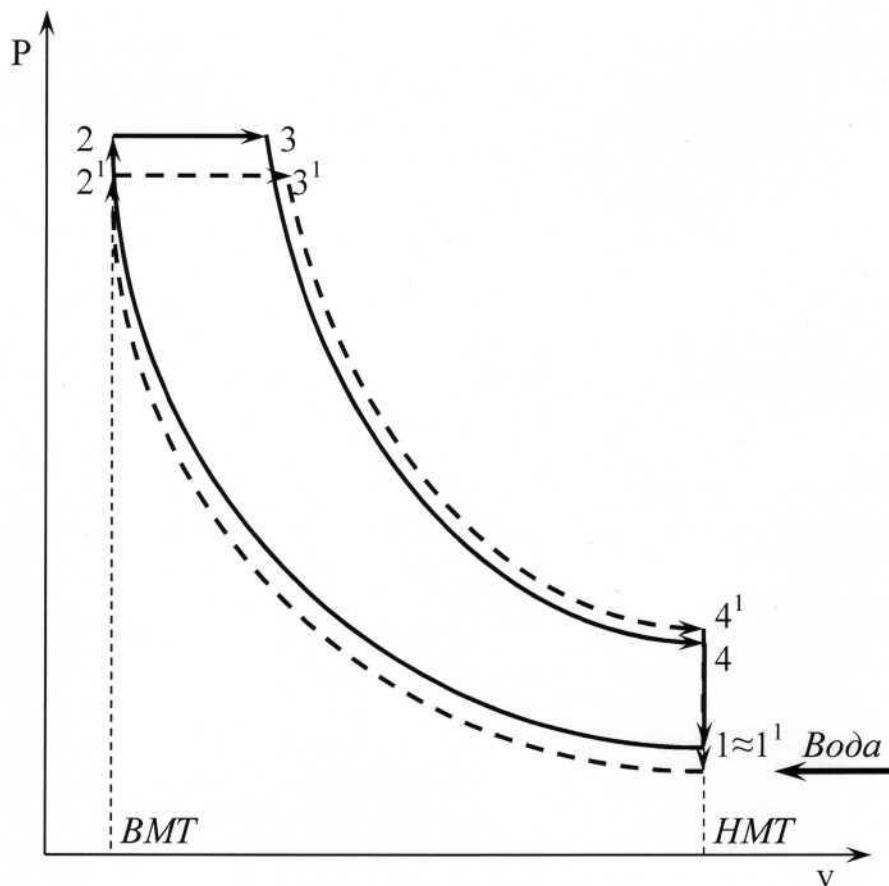


Рис.2. Схема циклу дизельного ДВЗ без додавання води (12341) та з додаванням води (1¹2¹3¹4¹1¹) у вигляді зволоженого повітря

Треба зауважити, що додана вода впливає не тільки на процеси, що протікають у камері згоряння двигуна та змінює екологічні показники відпрацьованих газів, але й покращує умови для інтенсифікації процесів теплообміну в теплоутилізаторах КГУ. Збільшення концентрації водяної пари у відпрацьованих газах сприяє збільшенню температури точки роси, що дозволяє проводити теплообмін у більш ефективному конденсаційному режимі та отримати більші теплові потужності КГУ. Таким чином, КГУ на базі ДВЗ, що працює з додаванням водяної пари, має більшу електричну і теплову потужності, сумарний ККД може досягати 0,98 за вищою теплою згоряння в порівнянні з 0,82 для існуючих КГУ [20]. Показник підвищення ефективності когенераційного енергопостачання на етапі вироблення енергоносіїв може досягати, відповідно, $k_1=1,1-1,2$ залежно від використаного палива і кількості доданої води.

Втрати енергоносіїв при передачі їх споживачеві можна мінімізувати розташуванням КГУ поблизу споживача та проведенням періодичних регламентних робіт з виявлення та усунення витоків енергій. Що стосується АПК, то розташування КГУ в безпосередній близькості до об'єкта забезпечує надійність його енергопостачання. Відомо, що енергогенеруючі

об'єкти розташовуються або поблизу постачальників палива, або поблизу великих споживачів виробленої енергії – значних промислових підприємств, великих міст і т.д., до яких об'єкти АПК не належать. Тому, поки тепла або електрична енергія доходить до споживача, частина її втрачається – і чим більше відстань, тим більше втрати. Раціональна відстань, наприклад, від постачальника теплової енергії у вигляді нагрітої води до споживача за вітчизняними даними не перевищує 10 км [3], а за рекомендаціями закордонних вчених – не повинна перевищувати 1 км [24]. В Україні втрати теплової енергії при транспортуванні складають 10–25 % залежно від довжини теплотраси. За цих умов більшість потенційних споживачів тепла в АПК вимушені користуватися тепловою енергією, виробленою у місцевих котельних агрегатах, що мають значно меншу ефективність використання палива, ніж при використанні КГУ. З усієї кількості газу, що споживається в енергетиці України, приблизно дві третини витрачаються у районних котельних виключно для вироблення теплоти. Що стосується електричної енергії, то постачання цим видом енергії віддаленого населеного пункту залежить не тільки від місцевих втрат при подоланні відстані до споживача (до 10 %), але й від несприятливих погодних умов, які можуть суттєво впливати на надійність електропостачання, а іноді й залишити населений пункт зовсім без електроенергії, що в деяких випадках категорично недопустимо – наприклад, у лікарняних закладах або в будь-яких виробництвах з безперервним електропостачанням. За таких умов енергетична самостійність і самодостатність віддаленого об'єкта АПК може бути забезпечена за допомогою організації когенераційного способу вироблення енергій у самому об'єкті або в безпосередній близькості до нього з використанням переважно місцевих видів палива. При цьому показник підвищення ефективності когенераційного енергопостачання на етапі транспортування енергоносіїв в порівнянні з когенераційним енергопостачанням від ТЕЦ становитиме $k_2=1,1-1,25$.

Необхідною умовою ефективного когенераційного енергопостачання є узгодження генеруючих можливостей КГУ та енергетичних потреб споживача з метою максимального використання вироблених енергій. Зважаючи на те, що надлишкову електричну енергію, вироблену в КГУ, в силу прийнятого в Україні закону про когенерацію [11], можна направити до єдиної електромережі, а надлишкова тепла енергія, що вироблена в КГУ, – викидається в навколишнє середовище і втрачається, найперспективнішим вважають узгодження потужностей КГУ та споживача за тепловою енергією. При такому виді узгодження потужності КГУ регулюються так, що вироблена нею тепла енергія відповідає тепловим потребам споживача. Що стосується електричної енергії, то зв'язок КГУ з єдиною електромережею дозволяє вирішити питання як надлишкової, так і недостатньої для споживача електроенергії. При використанні КГУ на базі ДВЗ можна регулювати потужність КГУ відповідно до добових коливань енергоспоживання. Проте потреби споживача в тепловій енергії в різні періоди року суттєво відрізняються – для об'єктів АПК споживання теплової енергії в опалювальний період збільшується у 3–4 рази в порівнянні з неопалювальним періодом.

лювальним періодом при практично незмінному електроспоживанні протягом всього року [2]. В існуючих схемах енергопостачання на базі КГУ нарощування теплопостачання в опалювальний період відбувається за рахунок додаткових теплових потужностей, що не є ефективним використанням первинного палива.

У роботі [21] запропоновано більш ефективну схему когенераційного енергопостачання (рис.3), в якій КГУ складається з декількох агрегатів.

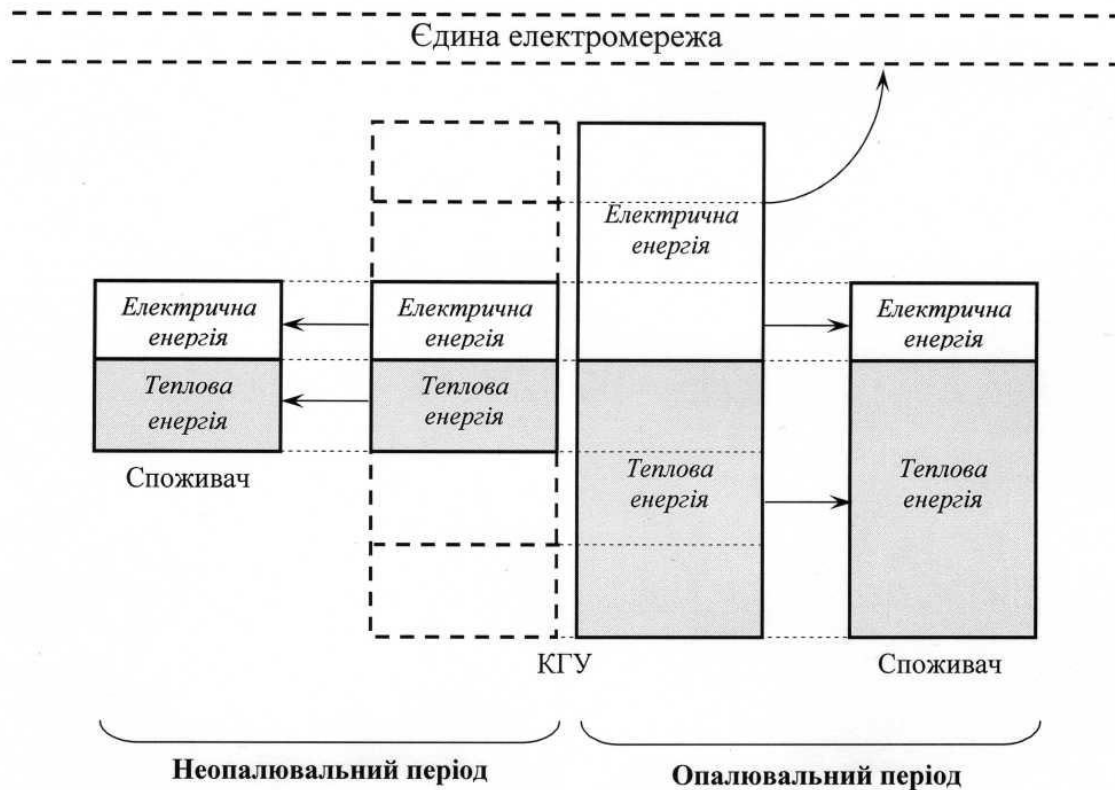


Рис.3. Схема енергопостачання на базі КГУ

Дроблення енергетичних потужностей КГУ дозволяє забезпечити цілорічне постачання споживача енергоносіями, виробленими за когенераційною технологією, в порівнянні з існуючим варіантом. Порівняння різних схем когенераційного енергопостачання дозволило підтвердити високу ефективність запропонованої схеми, яка, незважаючи на більшу початкову вартість обладнання, має приблизно однаковий строк окупності. Це відбувається завдяки більш значній економії первинного палива (більше ніж у 2 рази), що приводить до вагомих зменшень фактичних витрат і отримання більших доходів після закінчення строку окупності когенераційного обладнання [22]. Крім того, запропонована схема підвищує надійність когенераційного енергопостачання та дозволяє проводити регламентні ремонтні роботи окремих агрегатів без зупинки всієї КГУ. Таким чином, виконання КГУ у складі декількох агрегатів і організація відповідним чином узгодження енергетичних потреб споживача і можливостей КГУ дозволяє підвищити ефективність когенераційного енергопостачання у декілька разів: $k_3=2-2,3$.

Висновки

Враховуючи показники підвищення ефективності на кожному етапі когенераційного енергопостачання отримуємо загальний показник можливого підвищення його ефективності $k = 2,42\text{--}3,45$. Тобто, завдяки описаним вище заходам ефективність когенераційного енергопостачання можна збільшити у декілька разів.

Список літератури

1. А.с. 1347602 СССР, МКИ³ F 02 В 43/00. Способ работы двигателя внутреннего сгорания / А.А.Долинский, А.И.Гуров, И.В.Феофилов (СССР).– №4020981 ; заявл. 12.02.86; опубл. 07.08.87, Бюл. № 39.
2. Баласанян Г.А. Ефективність перспективних інтегрованих систем енергозабезпечення на базі установок когенерації малої потужності: автореф. дис. на здобуття наук ступеня д-ра техн. наук / Г.А.Баласанян. – Одеса, 2007. – 36 с.
3. Батуев Б.Б. Система теплоснабження підприємства / Б.Б.Батуев, В.Э.Матханова. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2005. – 10 с.
4. Воинов А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях/ А.Н.Войнов. – М.: Машиностроение, 1977. – 276 с.
5. Гайстер Ю.С. Опыт проектирования миниТЭЦ с газопоршневыми агрегатами / Ю.С.Гайстер // Малые и средние ТЭЦ. Современные решения: материалы науч.-практ. конф. / НПО «Ростеплоснабжение». – Голицино, Москов. обл.: УМЦ, 2005. – 6 с.
6. Горобець В.Г. Когенераційні установки та їх використання в агропромисловому комплексі / В.Г.Горобець, І.В.Феофілов. – К.: ЦП «Компринт», 2012. – 294 с.
7. Гриценко Е. Разработка малоэмиссионных камер сгорания для ГТУ авиационного типа / Е.Гриценко, В.Орлов, В.Павлов //Газотурбинные технологии. – 2001. – № 6. – С. 6-8.
8. Гуменюк А.Е. Киотский протокол и инвестиции: возможности для Украины / А.Е.Гуменюк, Е.А.Алтухов, И.В.Антипов // Энергоснабжение. – 2003. – №10. – С. 9–15.
9. Дубовський С.В. Сучасний стан і перспективи розвитку комбінованого виробництва електричної і теплової енергії в Україні / С.В.Дубовський // Матеріали першої міжнар. конф. «Когенерація в промисловості і комунальній енергетиці». – К.:Теза, 2004. – 266 с.
- 10.Дьяченко Н.Х. Теория двигателей внутреннего сгорания/ Н.Х.Дьяченко. – Л.: Машиностроение, 1974. – 552 с.
- 11.Закон України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу» від 5 квітня 2005 року №2509-IV // Вісник Верховної Ради України (ВВР). – 2005. – №20. – С.278.
- 12.Кветковский В.И. Исследование динамики тепловыделения в судовых среднеоборотных дизелях: автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / В.И.Кветковский. – Одесса, 1980. – 17 с.
- 13.Клименко В.Н. Когенерационные системы с тепловыми двигателями: справ. пособие: [в 3 ч.]. Ч. 1: Общие вопросы когенерационных технологий / В.Н.Клименко, А.И.Мазур, П.П.Сабашук – К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2008. – 560 с.
14. Когенерационные технологии производства тепловой и электрической энергии (вопросы и ответы) [Электронный ресурс] / В.Ф.Гершкович, И.В.Плачков, В.Н.Клименко, Б.Д.Билека. – Режим доступа: http://www.truba.ua/artic/ru_31.

15. Коломейко Д.А. Энергоэкономичный анализ когенерационных схем на основе поршневых тепловых двигателей: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Д.А.Коломейко. – К., 2009. – 31 с.

16. Лебедев О.Н. Исследование и повышение эффективности объемного смесеобразования в судовых четырехтактных дизелях: автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора техн. наук / О.Н.Лебедев. – Л., 1979. – 34 с.

17. Покровский Е.А. Исследование особенностей рабочего процесса дизеля при впрыске воды в цилиндры: дисс... канд. техн. наук / Покровский Е.А. – Калининград, 1978. – 217 с.

18. Тактак А. Улучшение рабочего процесса дизеля присадкой воды к топливу: автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / А.Тактак. – Барнаул, 2005. – 16 с.

19. Феофілов І.В. Зволожувач дуттьового повітря для двигуна внутрішнього згорання / І.В.Феофілов // Науковий вісник НУБіП України. – 2013. – №184, ч.1.- С.233–240.

20. Феофілов І.В. Підвищення ефективності когенераційної установки на основі двигуна внутрішнього згорання за рахунок зволоження повітря / І.В.Феофілов // Науковий вісник НУБіП України. – 2013. – №185, ч.1.– С.161–171.

21. Феофілов І.В. Підвищення ефективності роботи когенераційної установки на основі дроблення її енергетичних потужностей / І.В.Феофілов // Науковий вісник НУБіП України. – 2012. – №174, ч.1. – С.75–80.

22. Феофілов І.В. Порівняння різних схем когенераційного енергопостачання за наявності зв'язку з єдиною електромережею / І.В.Феофілов // Науковий вісник НУБіП України. – 2013. – №184, ч.2. – С.265–274.

23. Шпак Я. Загальна ситуація, основні проблеми та перспективи запровадження когенераційних систем в Україні // Матеріали першої міжнародної конференції «Когенерація в промисловості і комунальній енергетиці». – К.:Теза, 2004. – 266 с.

24. Pierce M. The history of cogeneration - the dawning of the age of electricity // Cogeneration and On-Site Power Production. – 2000. – July-August. – P. 26-31.

25. RSR 440 Turbo Water Injection [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rbracing-rsr.com/waterinjection.html>

Проанализированы возможности повышения эффективности когенерационного энергоснабжения объектов агропромышленного комплекса при использовании в качестве силового агрегата поршневого двигателя внутреннего сгорания.

Когенерационная установка, когенерационное энергоснабжение, согласование поставщика и потребителя энергий, добавление воды к топливу, конденсационные утилизаторы теплоты.

The analysis of opportunities of increase of efficiency of the cogeneration of energy supply of objects of the agro-industrial complex when used as a power plant of piston internal combustion engine.

The cogeneration plant, a cogeneration power supply, agreement of the supplier and the consumer energies, adding water into fuel, condensing recovery of heat.