

ІНЖЕНЕРНІ МЕРЕЖІ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

УДК 621.182

DOI 10.31649/2311-1429-2020-2-108-112

Д. В. Степанов
Н. Д. Степанова
С. О. Білик

ЕНЕРГОМОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВОЇ КОТЕЛЬНОЇ

Вінницький національний технічний університет

Проаналізовано сучасний стан енергетичного господарства, виявлено фізичну та моральну застарілість основного обладнання, підвищені втрати електроенергії в мережах. Спалювання вугілля на електростанціях супроводжується підвищеним техногенним навантаженням на навколишнє середовище.

Для підвищення енергетичної, економічної та екологічної ефективності енергопостачання промислових підприємств запропоновано використання децентралізованої когенерації на базі газових промислових котельнь або використання котлів на біомасі. Розглянуті варіанти енергомодернізації на прикладі промислової котельні молочного заводу.

Запропоновано 8 варіантів підвищення надійності, енергоефективності, економічності та екологічності роботи, а саме встановлення котлоагрегатів на біомасі, газотурбінних та газопоршневих теплових двигунів, створення ТЕЦ з паротурбінною установкою на насиченій та перегрітій парі. Виконано аналіз переваг та недоліків варіантів, а також раціональності їх впровадження на котельні промислового підприємства.

Результати розрахунків економічних показників різних варіантів енергомодернізації котельні дозволили виявити ефективні методи підвищення ефективності енергетичного обладнання. Враховано можливість диверсифікації енергопостачання та зменшення залежності від постачальників електроенергії.

Ключові слова: енергомодернізація, промислова котельня, котлоагрегат на біомасі, газотурбінна установка, газопоршневий тепловий двигун, паротурбінна установка, енергоефективність

Вступ. Постановка задачі

Промисловість України має один з найвищих показників енергоемності в Європі. Для підвищення конкурентоспроможності вітчизняних промислових підприємств необхідно впроваджувати енергоефективні та природозбережні заходи [1]. В той же час велика теплоенергетика оснащена обладнанням, яке вичерпало свій ресурс, є фізично та морально застарілим, що погіршує надійність енергопостачання. Спалювання кам'яного вугілля на електростанціях спричиняє значні екологічні наслідки. Згідно звітів [2], наприклад, Ладижинська ТЕС є найбільшим джерелом шкідливих техногенних викидів у Вінницькій області. Кожна мегават-година електроенергії, яка вироблена не з кам'яного вугілля, в середньому зменшує викиди в атмосферу на 4,2 кг твердих частинок, на 5,65 кг оксидів сірки, на 1,76 кг оксидів азоту. Крім того, електромережі характеризуються значними втратами в процесі транспортування електроенергії до споживачів.

Таким чином, на одне з перших місць виходить питання когенерації, яка дозволяє забезпечити підвищення надійності, децентралізацію та диверсифікацію енергопостачання, і може бути вирішена з використанням обладнання з високою енергетичною, екологічною та економічною ефективністю. У відповідності зі стратегією розвитку енергетики в країнах ЄС "White Paper" близько 19 % загального енергоспоживання повинно вироблятися не на великих теплових електростанціях, а з використанням когенерації та поновлюваних джерел енергії [1].

Децентралізована когенерація забезпечує ряд переваг в порівнянні з роздільним виробленням електричної та теплової енергії, а саме: підвищення коефіцієнта корисної дії; зменшення емісії парникових газів; зменшення грошових витрат під час життєвого циклу обладнання; можливість використання поновлюваних джерел енергії; можливість забезпечення широкого діапазону потужності; можливість часткового балансування роботи енергосистеми України; зменшення втрат в мережах; зменшення споживання викопного палива та залежності від постачальника; забезпечення додатковими робочими місцями.

В м. Іллінці Вінницької області розташований високотехнологічний молочний завод [3], що випускає продукцію за міжнародними стандартами якості. Для забезпечення підприємства тепловою енергією використовується промислова парова котельня.

Мета роботи – аналіз ефективності енергомодернізації промислової котельні на прикладі підприємства в м. Іллінці Вінницької області.

Результати досліджень

На котельні Іллінецького молочного заводу ТОВ «Люстдорф» встановлено два парогенератори «Viessman», марки Vitomax 200 hs паровидатністю 10 та 24 т/год. В якості основного палива використовують природний газ. За рік котельня заводу споживає близько 380 МВт·год електроенергії. Значні витрати на природний газ та електроенергію призводять до високої собівартості виробництва теплоти, що складає 354,6 грн/ГДж.

Для зменшення енергоємності вироблення продукції та собівартості відпускання теплоти, покращення екологічних та економічних показників запропонований ряд варіантів енергомодернізації.

1. Заміна газових парових котлів на твердопаливні парогенератори, наприклад, на біомасі.

Такий варіант матиме перевагу завдяки дешевшому місцевому паливу, але недоліки цього варіанту більш значні. Заміна газових парових котлів на твердопаливні вимагає, по-перше, великих інвестицій. По-друге, твердопаливні котли значно більші за габаритами, ніж газові, тому необхідно буде перебудувати котельню. Річна витрата твердого палива буде значною, що вимагатиме будівництва великого критого сховища для палива, і, відповідно, значних площ та інвестицій [4].

2. Встановлення додаткового твердопаливного водогрійного котла на біомасі для забезпечення потреб опалення, вентиляції, гарячого водопостачання та власних потреб котельні.

Даний варіант енергомодернізації є, на нашу думку, раціональним, тому що інвестиції відносно невеликі (котел, димова труба, невелике сховище для палива). Але потужність твердопаливної частини схеми котельні обмежена споживанням теплоти на опалення, вентиляцію, ГВП та власні потреби, яке складає не більше 850 кВт. Тому такий варіант не дозволить суттєво покращити енергетичні, екологічні та економічні показники котельні.

3. Встановлення на базі молочного заводу біогазової установки для перероблення його відходів із отриманням біогазу і подачею його в існуючі котли через замінені вентиляторні пальники.

Наведений варіант пов'язаний із покращенням екологічного стану навколо заводу, підвищенням культури виробництва за рахунок енергоефективного екологічно чистого перероблення відходів молочного виробництва. З іншого боку створення біогазового комплексу вимагає значної території та інвестицій. Заміна природного газу на біогаз вимагає реконструкції чи заміни вентиляторних пальників, а також встановлення додаткового котла, оскільки паровидатність котлів на біогазі дещо нижче. Такий варіант є перспективним, але він вимагає більш детального обґрунтування щодо сировинної бази для функціонування.

4. Встановлення на котельні газотурбінної установки для виробництва власної електроенергії і скидання теплоти відхідних газів в додатково встановлений паровий котел-утилізатор.

На нашу думку, даний варіант енергомодернізації для заводу не є раціональним, оскільки інвестиції в систему високі (газова турбіна, котел-утилізатор, додаткове обладнання), габаритні розміри котельні не дозволять розмістити в ній все обладнання, а екологічні показники котельні погіршаться в зв'язку із значними викидами в атмосферу під час роботи газових турбін [5].

5. Встановлення когенераційної установки на базі газопоршневого двигуна для виробництва власної електроенергії і додаткового відпускання теплоти на потреби опалення, вентиляції, гарячого водопостачання та власні потреби котельні.

Такий варіант є, на нашу думку, раціональним. Недоліками цього варіанту є значно підвищення рівню шуму в приміщенні котельні, незначне збільшення витрати природного газу, достатньо високі інвестиції. Перевага – можливість вироблення власної електроенергії з достатньо високою енергетичною та екологічною ефективністю [6]. Потужність когенераційної установки обмежена споживанням теплоти на потреби опалення, вентиляції, гарячого водопостачання та власні потреби котельні

6. Встановлення теплонасосної установки для виробництва теплоти на потреби опалення, вентиляції, гарячого водопостачання та власні потреби котельні, використовуючи теплоту систем охолодження оборотної води молочного заводу.

Реалізація даного варіанту дозволяє відпускати обмежену кількість теплоти з високою енергетичною та економічною ефективністю за рахунок використання скидної теплоти систем охолодження компресорів та конденсаторів холодильних машин. Перевага – зменшення

шкідливих викидів за рахунок використання електроенергії в теплових насосах, недолік значні інвестиції в теплонасосне обладнання [7].

7. Встановлення протитискової парової турбіни на насиченій парі для виробництва власної електроенергії.

Раціональність такого варіанту енергомодернізації полягає в можливості виробляти невелику кількість власної електроенергії з використанням існуючого котельного обладнання за рахунок встановлення протитискової парової турбіни, що працює на насиченій парі. Недоліком є необхідність заміни живильних насосів на більш потужні та встановлення резервної редуційно-охолоджувальної установки.

8. Встановлення протитискової парової турбіни на перегрітій парі для виробництва власної електроенергії.

Особливістю такого варіанту енергомодернізації є необхідність встановлення пароперегрівників на парогенераторах [8], резервної редуційно-охолоджувальної установки та заміни насосів. Встановлення пароперегрівника дозволяє перегріти пару на виході з котла на 50°C, що відповідно збільшить вироблення електроенергії на тому ж тепловому споживанні [9].

Для аналізу економічних показників енергомодернізації обрані такі варіанти: встановлення додаткового твердопаливного водогрійного котла (варіант 2); когенераційної установки на базі газопоршневого двигуна (варіант 5); протитискової турбіни на насиченій (варіант 7) та перегрітій парі (варіант 8). Розрахунки, виконані за методиками, наведеними в [10, 11], показано в табл. 1.

Таблиця 1

Результати оцінювання економічних показників варіантів енергомодернізації газової парової промислової котельні

| Найменування величини | твердопаливний котел | газопоршневий двигун | турбіна на насиченій парі | турбіна на перегрітій парі |
|---|----------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------|
| Орієнтовні інвестиції, млн. грн | 1,2 | 9,5 | 3,5 | 4,8 |
| Річна перевитрата (+) або економія (-) природного газу, тис.м ³ /рік | - 332 | +234 | +117 | +914 |
| Витрата додаткового палива, т/рік | 968 | --- | --- | --- |
| Річна перевитрата (+) або відпускання (-) електроенергії, МВт·год | +74,5 | -1899 | -526 | -4 467 |
| Економічний ефект, млн. грн/рік | 3,32 | 4,37 | 1,21 | 10,3 |
| Збільшення експлуатаційних витрат, млн. грн/рік | 2,247 | 3,348 | 1,575 | 9,698 |
| Простий термін окупності додаткових капіталовкладень, років | 1,15 | 9,5 | не окупується | 5,32 |
| Чиста приведена вартість NPV (i = 15%, t = 5,5%), млн.грн | 8,62 | - 0,192 | - 6,84 | 0,438 |

Отже з таблиці 1 видно, що найкращі показники економічної ефективності має варіант з встановленням твердопаливного котла для покриття потреб опалення, вентиляції, ГВП та власних потреб котельні. Крім того такий варіант сприяє використанню місцевих видів палива, в тому числі біомаси. Варіанти із встановленням протитискової парової турбіни, що працює на насиченій парі не окупується. Показники варіантів із встановленням пароперегрівників на котли та протитискової турбіни, що працює на перегрітій парі, а також варіанту встановлення газопоршневої когенераційної установки на даний момент балансують на межі ефективності.

Слід відмітити, що під час оцінювання не враховано ефект диверсифікації енергопостачання та зменшення залежності від постачальників електроенергії. Наявність такої переваги робить такі проекти більш перспективними.

Висновки

Проаналізовано сучасний стан великої теплоенергетики, виявлено, що обладнання теплових електростанцій фізично та морально застаріло, в електромережах відбуваються значні втрати електроенергії, що погіршує надійність та ефективність енергопостачання промисловості. Вказано, що

децентралізоване вироблення електроенергії не з кам'яного вугілля дозволить значно зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище.

В роботі розглянуті 8 варіантів енергомодернізації парової газової котельні промислового підприємства для підвищення надійності, енергетичної, екологічної та економічної ефективності енергопостачання, виконано аналіз раціональності їх впровадження, переваг та недоліків. Взято до уваги технічні рішення щодо: заміни газових парових котлів та твердопаливних парогенераторів; встановлення додаткового твердопаливного теплогенератора для покриття потреб опалення, гарячого водопостачання, вентиляції та власних потреб котельні; переведення котельні заводу на біогаз, вироблений з відходів молочного виробництва; створення ТЕЦ на базі котельні заводу та газотурбінного або газопоршневого двигуна або паротурбінної установки на насиченій чи перегрітій парі.

Для чотирьох з запропонованих варіантів проведено аналіз економічних показників. При цьому виявлено, що найвищу чисту приведену вартість має варіант з додатковим котлом на біомасі. Встановлення паротурбінної установки на насиченій парі згідно виконаних розрахунків не окуповується. А варіанти з газопоршневим тепловим двигуном та паровою турбіною на перегрітій парі знаходяться на межі ефективності. Додатковим плюсом когенераційних систем на промисловому підприємстві є диверсифікація енергопостачання та зменшення залежності від постачальників електроенергії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Варламов Г.Б. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії / Г. Б. Варламов, Г. М. Любчик, В. А. Маляренко. – К : Політехніка, 2003. – 232 с.
2. Аналітично-описова частина до Стратегії регіонального розвитку Вінницької області на період до 2027 року. Режим доступу: http://vin.gov.ua/images/doc/vin/ODA/strategy/CEanaliz_.pdf.
3. Про компанію «Люстдорф». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.loostdorf.com>
4. Степанов Д. В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності. Монографія / Д. В. Степанов, Л. А. Боднар – Вінниця: ВНТУ, 2011 – 148 с.
5. Чепурний М. М. Розрахунки теплових схем ТЕЦ та їх ефективності при модернізації / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко. – Вінниця: ВДТУ, 1997. – 61с.
6. Full assessment of the potential use of high-efficiency cogeneration and efficient district heating and cooling systems. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ESArt14_1EN.pdf.
7. Мокляк В.Ф. Теплонасосні установки в харчовій та інших галузях. Серія навчально-методичних матеріалів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_12.pdf.
8. Технічний паспорт котла «Viessman» Vitomax 200 hs. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://teplo.com/goods/pdf/viessmann_viessmann-vitomax-200-hs-m235-teh-pass.pdf.
9. Характеристики протитискової турбіни Howden Base. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.howden.com/en-gb/products/steam-turbines/steam-turbine-base>.
10. Лялюк О. Г. Економіка енергетики : практикум / О. Г. Лялюк. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 118 с.
11. Ткаченко С. Й. , Чепурний М. М. , Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел тепlopостачання – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 137 с.

REFERENCES

1. Varlamov H.B. Teploenergetychni ustanovky ta ekolohichni aspekty vyrobnytstva enerhiyi /H. B. Varlamov, H. M. Lyubchik, V. A. Malyarenko. – K : Politekhnik, 2003. – 232 s.
2. Analitichno-opysova chastyna do Stratehiyi rehional'noho rozvytku Vinnyts'koyi oblasti na period do 2027 roku. Rezhym dostupu: http://vin.gov.ua/images/doc/vin/ODA/strategy/CEanaliz_.pdf.
3. Pro kompaniyu «Lyustdorf». [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.loostdorf.com>.
4. Stepanov D. V. Energetychna ta ekolohichna efektyvnist' vodohriynykh kotliv maloyi potuzhnosti. Monohrafiya / D. V. Stepanov, L. A. Bodnar – Vinnytsya: VNTU, 2011 – 148 s.
5. Chepurnyy M. M. Rozrakhunky teplovykh skhem TETS ta yikh efektyvnosti pry modernizatsiyi / M. M. Chepurnyy, S. Y. Tkachenko. – Vinnytsya: VDTU, 1997. – 61s.
6. Full assessment of the potential use of high-efficiency cogeneration and efficient district heating and cooling systems. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ESArt14_1EN.pdf.
7. Moklyak V.F. Teplonasosni ustanovky v kharchoviy ta inshykh haluzyakh. Seriya navchal'no-metodychnykh materialiv. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: http://www.reee.org.ua/download/trainings/%D0%A2%D0%9C_12.pdf.
8. Tekhnichnyy pasport kotla «Viessman» Vitomax 200 hs. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: http://teplo.com/goods/pdf/viessmann_viessmann-vitomax-200-hs-m235-teh-pass.pdf.
9. Kharakterystyky protytytskovoyi turbiny Howden Base. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.howden.com/en-gb/products/steam-turbines/steam-turbine-base>.
10. Lyalyuk O. H. Ekonomika enerhetyky : praktykum / O. H. Lyalyuk. – Vinnytsya: VNTU, 2009. – 118 s.
11. Tkachenko S. Y. , Chepurnyy M. M. , Stepanov D. V. Rozrakhunky teplovykh skhem i osnovy proektuvannya dzherel teplopостачання – Vinnytsya: VNTU, 2005. – 137s.

Степанов Дмитро Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Stepanovdv@ukr.net. ORCID 0000-0002-2806-3180.

Степанова Наталія Дмитрівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Stepanovand@i.ua.

Білик Сергій Олександрович – студент, Вінницький національний технічний університет, bilykso@gmail.com.

Д. В. Степанов
Н. Д. Степанова
С. А. Билык

ЭНЕРГОМОДЕРНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ КОТЕЛЬНОЙ

Винницкий национальный технический университет

Проанализировано современное состояние энергетического хозяйства, выявлено физическую и моральную устарелость основного оборудования, повышенные потери электроэнергии в сетях. Сжигание угля на электростанциях сопровождается повышенной техногенной нагрузкой на окружающую среду. Для повышения энергетической, экономической и экологической эффективности энергоснабжения промышленных предприятий предложено использование децентрализованной когенерации на базе газовых промышленных котельных или использования котлов на биомассе. Рассмотрены варианты энергомодернизации на примере промышленной котельной молочного завода. Предложено 8 вариантов повышения надежности, энергоэффективности, экономичности и экологичности работы, а именно установление котлоагрегатов на биомассе, газотурбинных и газопоршневых тепловых двигателей, создание ТЭЦ с паротурбинной установки на насыщенной и перегретом паре. Выполнен анализ преимуществ и недостатков вариантов, а также рациональности их внедрения на котельной промышленного предприятия. Результаты расчетов экономических показателей различных вариантов энергомодернизации котельные позволили выявить эффективные методы повышения эффективности энергетического оборудования. При анализе учтены также возможность диверсификации энергоснабжения и уменьшения зависимости от поставщиков электроэнергии.

Ключевые слова: энергомодернизации, промышленная котельная, котлоагрегат на биомассе, газотурбинная установка, газопоршневой тепловой двигатель, паротурбинная установка, энергоэффективность.

D. Stepanov
N. Stepanova
S. Bilyk

ENERGY MODERNIZATION OF INDUSTRIAL BOILER HOUSE

Vinnitsia National Technical University

The current state of the energy sector is analyzed, the physical and moral obsolescence of the main equipment is revealed, the losses of electricity in the networks are increased. Coal combustion at power plants is accompanied by increased man-made load on the environment.

To increase the energy, economic and environmental efficiency of energy supply of industrial enterprises, the use of decentralized cogeneration based on gas industrial boilers or the use of biomass boilers is proposed. Options for energy modernization on the example of an industrial dairy boiler house are considered.

8 variants of increase of reliability, energy efficiency, economy and environmental friendliness are offered, namely installation of boilers on biomass, gas turbine and gas-piston heat engines, creation of thermal power plant with steam turbine installation on saturated and superheated steam. The analysis of advantages and disadvantages of variants, and also rationality of their introduction on boiler houses of the industrial enterprise is executed.

Calculations of economic indicators of different options for energy modernization of the boiler house allowed to identify effective methods to increase the efficiency of energy equipment. The analysis also takes into account the possibility of diversification of energy supply and reduction of dependence on electricity suppliers.

Keywords: energy modernization, industrial boiler house, biomass boiler, gas turbine unit, gas piston heat engine, steam turbine unit, energy efficiency

Stepanov Dmitry – candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of power engineering, Vinnitsia National Technical University, e-mail: Stepanovdv@ukr.net.

Stepanova Natalija – candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of power engineering, Vinnitsia National Technical University, e-mail: Stepanovand@i.ua.

Bilyk Sergiy – student of Vinnitsia national technical University, bilykso@gmail.com.