

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ЧАСТИНИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Робота присвячена питанням підвищення енергетичної ефективності та екологічної безпеки системи енергопостачання військової частини. Проведено огляд літературної інформації за темою досліджень. Показано, що найбільш дієвим способом підвищення енергетичної ефективності теплогенераторів на твердому паливі є інтенсифікація теплообміну в елементах котла. Проведено дослідження впливу геометричних параметрів різних інтенсифікаторів на інтенсивність теплообміну та гідравлічний опір в газотрубному теплообміннику водогрійного котла на щепі деревини. Показано, що встановлення інтенсифікаторів теплообміну, призводить, до економії палива, а , отже, до зменшення викидів парникових газів.

В роботі проаналізовано методи розрахунку теплофізичних властивостей генераторного газу. На основі огляду літературної інформації, запропоновано раціональні методи газогенерації, що дозволяють отримати практично безсольний синтез-газ. Це дозволило запропонувати раціональну схему когенераційної установки на синтез газу. Встановлення когенераційної установки на базі газогенератора та двигуна внутрішнього згорання дозволило забезпечити потреби військової частини в електричній енергії. З використанням визначених в роботі теплофізичних властивостей генераторного газу, спроектовано теплообмінник з інтенсифікованим теплообміном для охолодження генераторного газу. Показано, що запропонований варіант виробництва електричної енергії дозволив покращити екологічну безпеку системи енергопостачання.

Було проведено розробку документації на монтаж когенераційної установки, до якої входять газогенератор ДВЗ та допоміжне обладнання. Визначено техніко-економічні показники запропонованих технічних рішень. Запропоновано заходи з охорони праці.

Ключові слова: водогрійний котел, щепи, спалювання, інтенсифікація теплообміну, генераторний газ, когенераційна установка, температура точки роси смоли, газогенератор.

Abstract

Master's qualification work is devoted to questions of increasing energy efficiency and environmental safety of the energy supply system of the military unit. A review of literary information on the topic of research. It is shown that the most effective way to increase the energy efficiency of heat generators on solid fuels is to intensify heat transfer in the boiler elements. The study of the influence of geometrical parameters of various intensifiers on the intensity of heat transfer and hydraulic resistance in the gas pipe heat exchanger of a water heating boiler on wood chips is carried out. It has been shown that the establishment of heat exchangers intensifies, leads to fuel economy, and, consequently, reduces greenhouse gas emissions.

Methods of calculating the thermophysical properties of generator gas are analyzed in this work. On the basis of the review of literary information, rational methods of gas generation are proposed, which allow to obtain practically insensitive synthesis gas. This allowed us to propose a rational scheme of the cogeneration unit for the synthesis of gas. The installation of the cogeneration unit on the basis of the gas generator and the internal combustion engine allowed to meet the needs of the military unit in electric energy. Using the thermophysical properties of the generator gas determined in the work, a heat exchanger with an intensified heat exchange for cooling the generator gas was designed. It is shown that the proposed version of the electric power generation allowed to improve the ecological safety of the power supply system.

The development of documentation for the installation of a cogeneration unit was carried out, which includes a gas generator for internal combustion engines and auxiliary equipment. The technical and economic indicators of the proposed technical solutions are determined. Proposed measures for occupational safety.

Keywords: heat exchange intensification, generator gas, cogeneration unit, temperature of dew point of tar, gas generator.

Вступ

Проблема забезпечення енергетичної ефективності й екологічної безпеки енергетичних об'єктів є складною (проекування, експлуатація, експертиза, прогнозування та ін.) і багатозначною. Це пов'язано з потребою визначити рівень використання паливно – енергетичних ресурсів, технічного стану устаткування енергооб'єктів, рівня їх експлуатації, застосування природоохоронних заходів. Складність вирішення цієї проблеми зумовлена різноманітністю визначальних параметрів, факторів і показників екологічної безпеки.

Значний розвиток котлів малої і середньої потужності на альтернативних видах палива, необхідність підвищення вимог до їхнього технічного рівня, а також забезпечення екологічної безпеки такого обладнання обумовлює пошук шляхів вдосконалення їх конструкцій.

В сучасних котлах знайшли застосування трубні пучки з інтенсифікованим теплообміном. Методи і ефекти інтенсифікації теплообміну для теплообмінників газотрубних котлів викликають значний інтерес і велике значення, оскільки від ефективності охолодження димових газів в теплообміннику значною мірою залежить коефіцієнт корисної дії котла. Застосування раціональних в енергетичному і технологічному сенсі методів інтенсифікації теплообміну в теплообміннику газотрубного котла дозволить підвищити його коефіцієнт корисної дії та зменшити габарити. Тому обраний напрямок дослідження є актуальним.

Необхідність скорочення природного газу в Україні на сьогоднішній день є загальнодержавною задачею, направленою на підвищення енергетичної безпеки держави. В Україні спостерігається значний дефіцит енергоносіїв, тому використання альтернативних видів палив, зокрема низькосортних, для виробництва теплової та електричної енергії є актуальним. У зв'язку з постійним зростанням тарифів на електроенергію, багато підприємств прагнуть забезпечити власне вироблення електроенергії з метою покриття власних потреб. Використання біомаси в когенераційних установках дозволяє отримати електричну і теплову енергію з максимальним енергетичним та екологічним ефектом. Найбільш перспективним є використання когенераційних установок малої потужності (до 1МВт) на базі двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) з попередньою газифікацією біомаси. Отриманий шляхом газифікації генераторний газ містить значну кількість смол і перед використанням в ДВЗ повинен бути очищений і охолоджений. В науково-технічній літературі питанням синтезу систем виробництва і спалювання генераторного газу в двигунах внутрішнього згорання приділено обмаль уваги. Відсутні практичні рекомендації по вибору обладнання, по способах охолодження генераторного газу та по його теплофізичним властивостям. В зв'язку з вище наведеним, тема роботи є **актуальною**.

Мета роботи – вдосконалення системи енергопостачання військової частини шляхом підвищення енергетичної ефективності водогрійного котла на щепі деревини та встановлення когенераційної установки на синтез – газі.

Основна частина

Проведено огляд літературної інформації за темою досліджень "Підвищення енергетичної ефективності та екологічної безпеки системи енергопостачання військової частини".

Найбільш дієвим способом підвищення енергетичної ефективності теплогенераторів на твердому паливі є інтенсифікація теплообміну в елементах котла.

Показано, що використання біомаси в когенераційних установках дозволяє отримати електричну і теплову енергію з максимальним енергетичним та екологічним ефектом. Найбільш перспективним є використання когенераційних установок малої потужності (до 1МВт) на базі внутрішнього двигуна згорання (ДВЗ) з попередньою газифікацією біомаси. Отриманий шляхом газифікації генераторний газ містить значну кількість смол і перед використанням в ДВЗ повинен бути очищений і охолоджений. В якості ДВЗ для когенераційних установок можуть використовуватися: газові ДВЗ; модернізовані дизельні ДВЗ що працюють на 100% генераторному газі; модернізовані дизельні ДВЗ, що працюють на одночасно на дизельному паливі і на генераторному газі в різних співвідношеннях; модернізовані ДВЗ, що працюють на одночасно на бензині і на генераторному газі в різних співвідношеннях.

В роботі проаналізовано методи розрахунку теплофізичних властивостей генераторного газу. На основі аналізу літературної інформації для розрахунку в'язкості газової суміші запропоновано

формулу Хеннінга, а для розрахунку коефіцієнту теплопровідності суміші формулу Лемана. Проведено розрахунок густини, теплоємності, коефіцієнту динамічної в'язкості, кінематичної в'язкості, коефіцієнту теплопровідності, критерію Прандтля генераторного газу з таким складом $H_2=9,1\%$, $CO=20,4\%$, $N_2=57,7\%$, $CO_2=10,1\%$, $CH_4=1,4\%$, $O_2=1,3\%$.

Розроблений водогрійний котел, що працює на щепі. Універсальна конструкція котла дозволяє якісно спалювати низькокалорійне паливо та максимально використовувати отриману енергію, що позитивно впливає на коефіцієнт корисної дії. Розраховані теоретичні об'єми продуктів згорання та повітря, визначені, складений тепловий баланс, знайдено ККД котла, що становить $88,645\%$, витрата палива – $183,6$ кг/год

Проведено дослідження впливу відносного кроку закручування інтенсифікатора на коефіцієнт корисної дії водогрійного котла на щепі деревини потужністю 550 кВт та на гідравлічний опір. Досліджено вплив кроку закручування інтенсифікатора за змінного навантаження котла. Встановлення інтенсифікатора суттєво покращує енергетичні показники котла, температура димових газів зменшується в $1,2\dots 1,5$ рази, а ККД котла зростає на $2 - 6\%$, втрати тиску збільшуються в $1,33 - 2,23$ разів.

В роботі визначено, що температура точки роси водяної пари в димових газах становить 64 °С, а середня температура стінки труби теплообмінника з боку газів становить 94 °С (за максимального навантаження). Тобто в теплообміннику котла з інтенсифікацією теплообміну конденсації водяної пари не буде.

Проведено оцінку впливу встановлення інтенсифікаторів теплообміну на зменшення викидів парникових газів. Як показали результати розрахунків, зменшення викидів вуглекислого газу становить 16.65 т/опалувальний сезон при встановленні в котел інтенсифікатора з кроком закручування $s/d=6$ і $16\dots 49$ тон при $s/d=12$.

Проведено дослідження впливу геометричних параметрів інтенсифікатора теплообміну (L/V та W/D) на температуру відхідних газів, ККД та гідравлічний опір. Розглянутий спосіб досить суттєво покращує теплообмін (в $2\dots 4$ рази порівняно з варіантом без інтенсифікації). Це призводить до суттєвого зменшення температури відхідних газів. Найбільш раціональним геометричним параметром інтенсифікатора для даної конструкції є крок $L/D=6$ та $W/D=0,15$. При цьому температура відхідних газів становитиме 137 °С при максимальному навантаженні. Гідравлічний опір в досліджуваному діапазоні зміни параметрів збільшується в $1,16\dots 4,79$ рази.

В роботі набули подальшого розвитку методи розрахунку газотрубних водогрійних котлів на альтернативних видах палива з інтенсифікаторами теплообміну, що дозволило запропонувати раціональні методи інтенсифікації, які дозволяють підвищити енергетичну ефективність котлів в широкому діапазоні зміни геометричних параметрів інтенсифікаторів і виключають конденсацію водяної пари в теплообміннику та забезпечують зменшення викидів парникових газів в навколишнє середовище.

На основі огляду літературної інформації, запропоновано раціональні методи газогенерації, що дозволяють отримати практично безсольний синтез-газ. Це дозволило запропонувати раціональну схему когенераційної установки на синтез газі. Електрична потужність когенераційної установки 70 кВт. До складу установки входить таке обладнання: газогенератор для виробництва синтез-газу, система теплообмінників для охолодження генераторного газу, золотворлювач для очищення генераторного газу, ДВЗ марки 100 GF-PWJG фірми "SHENGDONG", а також охолодник димових газів після двигуна. Когенераційна установка забезпечуватиме електричною та тепловою енергіями військову частину. Основну частину теплової енергії постачатиме водогрійна котельня.

З використанням визначених в роботі теплофізичних властивостей генераторного газу, спроектовано теплообмінник з інтенсифікованим теплообміном для охолодження генераторного газу. Потужність теплообмінника $7,11$ кВт, площа поверхні теплообміну $2,09$ м². В якості інтенсифікаторів теплообміну в кільцевому каналі використовується дровове оребрення, у внутрішній трубі матричний дрововий інтенсифікатор типу HiTran компанії CalGavin. Використання інтенсифікаторів дозволило збільшити інтенсивність теплообміну в 2 рази і зменшити площу поверхні теплообміну на 29% , порівняно з конструкцією теплообмінника без інтенсифікації.

Було проведено розробку документації на монтаж когенераційної установки, до якої входять газогенератор ДВЗ та допоміжне обладнання.

Було виконано компоновку обладнання, схеми прокладення трубопроводів, враховані відомості по виконанню робіт, визначена трудоемкість монтажних робіт. Визначено необхідну кількість виробів та матеріалів для монтажу когенераційної установки, потребу в допоміжних матеріалах, підібрані машин, механізми та пристосування для виконання монтажних робіт.

В роботі складено кошторисну документацію – локальний кошторис на влаштування обладнання, який розрахований в цінах 2018 року на основі підібраних матеріалів та ресурсних елементних кошторисних норм, на основі поточних цін на матеріали та ресурси. Для складання кошторису використано програму “АВК”. Капіталовкладення в проект становлять 408,897 тис. грн, а термін окупності 2,81 року.

Розроблено функціональну схему автоматизації водогрійного котла на твердому паливі, що побудована на базі контролера SIEMENS Simatic S7-1200 CPU 1214.

Було розроблено оптимальну функціональну схему автоматизації водогрійного котла та відповідні засоби автоматизації, застосування програмного регулювання з допомогою мікропроцесорної техніки дозволяє скоротити витрати людської праці та електроенергії, а також зменшити вплив людського фактору.

ВИСНОВКИ

В роботі розроблено напрямки підвищення енергетичної ефективності та екологічної безпеки системи енергопостачання військової частини. В ході виконання роботи отримані такі науково-практичні результати: набули подальшого розвитку методи розрахунку газотрубних водогрійних котлів на альтернативних видах палива з інтенсифікаторами теплообміну, що дозволило запропонувати раціональні методи інтенсифікації, які дозволяють підвищити енергетичну ефективність котлів в широкому діапазоні зміни геометричних параметрів інтенсифікаторів і виключають конденсацію водяної пари і смол в теплообміннику та забезпечують зменшення викидів парникових газів в навколишнє середовище. Крім того в роботі набули подальшого розвитку методи аналізу і синтезу когенераційних установок малої потужності на альтернативних видах палива (з використанням процесів газогенерації), що дозволило розширити обсяг вихідних даних необхідних для вдосконалення таких систем: по способах охолодження генераторного газу, раціональних методах газогенерації, по способах визначення теплофізичних властивостей генераторного газу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Попов И. А. Промышленное применение интенсификации теплообмена – современное состояние проблемы (озор) / И. А. Попов, Ю. Ф. Гортышов, В. В. Олимпиев // Теплоэнергетика. – 2012. – №1. – с. 3 – 14.
2. Боднар Л. А. Ефективність інтенсифікації теплообміну в теплогенераторі на щепі деревини /Л. А. Боднар, І. В. Лепетан. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/egeu2017/paper/view/3329>
3. V. Nirmalan. Investigation of turbulence promoting inserts for augmenting heat transfer from gases in tubes. Dissertation. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/8101>.
4. Степанов Д. В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності. Монографія / Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, 2011 – 151 с.
5. Боднар Л. А. Особливості розрахунку теплофізичних властивостей генераторного газу/Л. А. Боднар, І. В. Лепетан // Електронне наукове видання матеріалів XLVII Науково-технічної конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання (2018). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/4953/4077>
6. Боднар Л. А. Когенераційна установка на синтез-газі / Л. А. Боднар, І. В. Лепетан// Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції Інноваційні технології в будівництві – 2018 р. – С. 55-60.
7. Боднар Л. А. Раціональні методи інтенсифікації теплообміну в газотрубних котлах/Л. А. Боднар, І. В. Лепетан // Електронне наукове видання матеріалів конференції (2018). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/view/6097>

Боднар Лилия Анатольевна, к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики Вінницького національного технічного університету, Bodnar06@ukr.net

Лепетан Иван Васильович, студент групи ТЕ-17 м, факультет будівництва, теплоенергетики та теплогазопостачання, Вінницький національний технічний університет. e-mail: lepetan94@gmail.com

Bodnar Lilia, Ph.D, associate professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Bodnar06@ukr.net

Lepetan Ivan – Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University.