

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТВЕРДОПАЛИВНОЇ ВОДОГРІЙНОЇ КОТЕЛЬНІ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*В роботі розроблено заходи по підвищенню ефективності твердопаливної водогрійної. Встановлення геліо-установки у тепловій схемі твердопаливної водогрійної котельні дозволить досягти економії вичерпних ресурсів за рахунок відновлювальної енергії. Виконано розрахунок теплової схеми котельні з геліоустановкою та підбір відповідного обладнання. Розроблено функціональну схему автоматизації та технологію монтажу теплогенерувального обладнання котельні. Проаналізовано умови праці при виконанні монтажних робіт та експлуатації котельні, а також проаналізовано і визначено, які фактори є небезпечними та шкідливими для життя людини, які можуть бути присутні при виконанні монтажних робіт, експлуатації котлів. Складено локальний кошторис та розраховані основні показники ефективності інвестицій в інноваційний проект: чисті грошові надходження, чиста поточна вартість, термін окупності, розрахований за кумулятивним методом та методом усереднених параметрів.*

**Ключові слова:** котел, тверде паливо, дрова, теплообмінник, тепла схема, математична модель, багатоваріантний аналіз, тепловий розрахунок.

### *Abstract*

*The work developed measures to increase the efficiency of solid fuel water heating. The establishment of helio installation in the thermal scheme of a solid fuel water boiler house will allow to achieve the economy of exhaustive resources due to renewable energy. The calculation of the heating circuit with a helio installation and selection of the appropriate equipment is executed. The functional diagram of automation and the technology of installation of heat generating equipment boiler houses has been developed. The conditions of labor in the performance of mounting works and exploitation of the boiler house are analyzed, as well as analyzed and determined which factors are dangerous and harmful to human life that may be present in the performance of mounting works, operating boilers. Folded local estimates and calculated the main indicators of investment efficiency in the innovation project: net cash receipts, net current cost, payback period, calculated by the cumulative method and the method of averaged parameters.*

**Keywords:** boiler, solid fuel, firewood, heat exchanger, thermal circuit, mathematical model, multivariate analysis, thermal calculation..

### Вступ

Потреба в теплі є актуальною проблемою у холодну пору року для кліматичного регіону м. Запоріжжя. Аналізуючи екологічні, експлуатаційні та економічні фактори виробництва теплоти перевага у виборі джерела теплоти для системи опалення віддається котлам на природньому газі. Передусім це можна пояснити високим коефіцієнтом корисної дії (ККД) сучасних газових котлів (перевищує 91%), їх відносною екологічністю та простотою експлуатації. Суттєвою вадою котелень, що працюють на природньому газі є підвищена вибузонебезпека

На використання того чи іншого типу котельного обладнання суттєво впливає стан економіки країни. Так постійне зростання тарифів на газ змушує багатьох власників котелень переводити їх на інші види палива. Останнім часом у індивідуальному теплопостачанні популярними видами палива є дрова, деревні гранули та вугілля. Досить гідною заміною котельням, що спалюють органічне паливо, є електрокотельні та теплонасосні установки (ТНУ). Вибір того чи іншого варіанту джерел теплоти потребує детального вивчення у певних конкретних умовах. Тому тема роботи є актуальною.

### Результати дослідження

Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування використання поновлюваних джерел енергії, покращення екологічних показників та зменшення споживання викопного палива шляхом впровадження технології спалювання деревини та енергії Сонця у тепловій схемі котельні.

Узв'язку з цим поставлені задачі:

- розробити математичну модель та методику оцінки ефективності роботи твердопаливного котла та геліоустановки у тепловій схемі водоگрійної котельні;
- дослідити показники роботи твердопаливного котла потужністю 150 кВт на різних видах палива;
- дослідити вплив вологості твердого палива на показники роботи котла;
- дослідити показники роботи геліоустановки при різних кутах нахилу до горизонту;
- обґрунтувати вибір характеристик елементів теплової схеми котельні з геліоустановкою;
- розробити функціональну схему автоматизації теплової схеми твердопаливної частини котельні;
- розробити технологію монтажу теплової схеми котельні.

Об'єкт дослідження – твердопаливна водоگрійна котельня.

Предмет дослідження – теплообмінні процеси у основному теплогенерувальному обладнанні твердопаливної водогрійної котельні.

Методи дослідження. Математичне моделювання для дослідження показників ефективності водо-грійного котла, геліоколекторів та котельні.

Науково-практична новизна одержаних результатів.

Набули подальшого розвитку і ефективного використання енергоносіїв на базі роботи твердопаливної котельні, за рахунок оцінки ефективності роботи котельні з різними джерелами енергії, за допомогою визначення співвідношення потужності енергетичного обладнання та експлуатаційних витрат. Доведено ефективність встановлення геліоколекторів для гарячого водопостачання. Показано, що застосування геліоустановок та твердопаливних котлів призводить до зниження споживання основного палива котельнею та зменшення надходження шкідливих речовин під час спалювання палива у навколишнє середовище ( $\text{NO}_x$ ) (на 20,62 %) у порівнянні із водогрійною котельнею на твердому паливі.

Практичне значення отриманих результатів. Результати роботи рекомендується використовувати для збереження паливно-енергетичних ресурсів в існуючій котельні за рахунок оцінки ефективності роботи твердопаливних котлів з різними джерелами теплової енергії шляхом визначення показників екологічної досконалості, запропонованою сонячною системою теплопостачання, витрат енергетичних ресурсів з урахуванням кліматичної зони об'єкту, складу та потужностей теплогенерувального устаткування та сучасних тарифів на енергоносії.

Проведено дослідження ефективності твердопаливної водогрійної котельні на різних видах палива. Як альтернативні палива для котла потужністю 150 кВт розглядалися : торф з вологістю 50%, буре вугілля вологістю 16%, торфобрикетів вологістю 19,2% та деревина вологістю 20%. Із розглянутих варіантів найвищий коефіцієнт корисної дії (рис. 1) мав котел з використанням торфобрикетів та бурого вугілля в якості палива, а найнижчий – торф. В усіх розглянутих варіантах палива і вихідних даних, окрім використання у якості палива дров, температура стінки конвективного пучка котла нижче температури конденсації водяної пари у димових газах, що може призвести до конденсації парів вологи на поверхнях нагріву котла, а отже і до їх корозії [1].

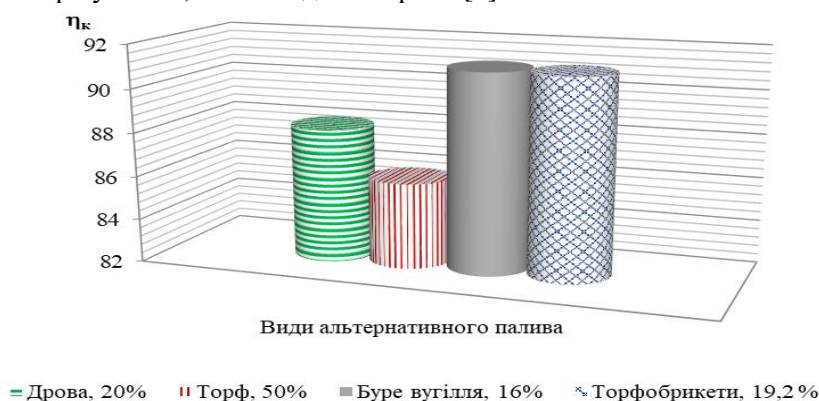


Рисунок 1 – Вплив виду альтернативного палива на ккд теплогенератора ( $\eta_k$ )

Досліджувався вплив вологості палива на показники роботи котла та аналізувалися показники роботи котла на різних видах палива. За результатами досліджень встановлено, що підвищення вологості палива із 20 до 40 % призводить до збільшення витрати палива на 45,7 %, зниження коефіцієнта

корисної дії котла на 2,8% (рис. 2), зростання температури відхідних газів на 7,5 %. Тобто ефективність роботи котла знижується і збільшується теплове забруднення навколишнього середовища [2, 3].

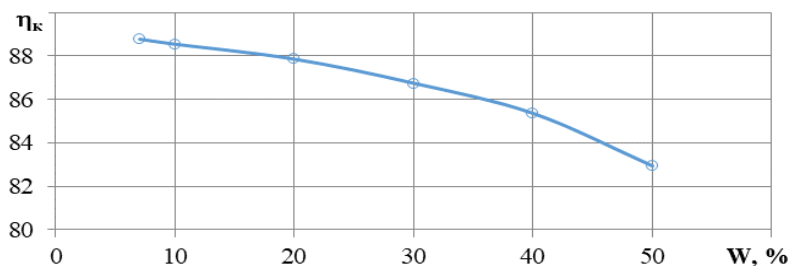


Рисунок 2 – Вплив вологості палива (W) на коефіцієнт корисної дії теплогенератора (ηк)

Оптимальним, на нашу думку, є варіант використання в якості палива для котла дров з вологістю 20 %. Оскільки використання більш сухих дров суттєво збільшує їх вартість, оскільки зростають затрати коштів на сушку та зберігання дров.

З врахуванням вимог [4] та даних [5] розроблено математичну модель теплообмінних процесів в системі сонячного теплопостачання. Дана модель дозволила провести оцінку інтенсивності сонячної радіації, що надходить на сонячний колектор спрямований на південь за різних кутів нахилу колектора до горизонту. Найбільш ефективний кут встановлення геліоколекторів для забезпечення теплою цілорічно склав 35° до горизонту. Теплоу вироблену геліоколекторами доцільно, на нашу думку, направляти на потреби гарячого водопостачання [6].

Оцінено техніко-економічні показники роботи котельні на різних видах палива [7 – 9]. Встановлено, що найвищу собівартість відпущеної теплоти є варіант – котельня на природному газі 1623 грн./ГДж, найнижчу – варіанти із котлами на вугіллі та деревних пеллетах 593 та 587 грн./ГДж відповідно. (рис. 3).

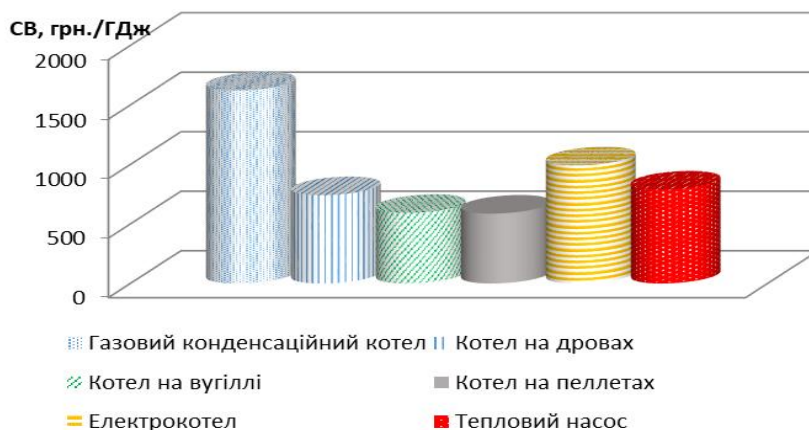


Рисунок 3 – Собівартість виробництва теплоти на котельні потужністю 225 кВт з різними джерелами теплоти

Зважаючи на екологічні та енергетичні показники роботи котла як джерело теплоти для водогрійної котельні обрано деревина (дрова) з вологістю 20%.

### Висновки

В даній роботі виконано аналітичний огляд літератури. Проаналізовано загальну характеристику та класифікацію котельнь, вимоги до технічної води, переваги та недоліки газових котельнь, промислові котельні комплекси на твердому паливі, твердопаливні та комбіновані котельні, еколого-економічні аспекти функціонування котельнь та сонячна енергія як вид відновлювальної енергії. В результаті сформовані задачі та мета досліджень.

Проведено дослідження ефективності твердопаливної водогрійної котельні. Досліджувався вплив

вологості палива на показники роботи котла та аналізувалися показники роботи котла на різних видах палива. Встановлено, що підвищення вологості палива із 20 до 40 % призводить до зростання температури відхідних газів на 7,5 %, зниження коефіцієнта корисної дії котла на 2,8% та збільшення витрати робочого палива (деревини) на 45,7 %. Вказані фактори свідчать про збільшення теплового забруднення навколишнього середовища. Тому обрано оптимальну з екологічної, енергетичної та економічної точки зору, на нашу думку, вологість деревини – 20 %.

Розглядалися такі альтернативні палива для котла потужністю 150 кВт : деревина вологістю 20 %, буре вугілля вологістю 16%, торф з вологістю 50%, торфобрикетки вологістю 19,2% . Із розглянутих варіантів найвищий коефіцієнт корисної дії мав котел з використанням торфобрикетів та бурого вугілля в якості палива, а найнижчий – торф. В усіх розглянутих варіантах палива і вихідних даних, окрім використання у якості палива дров, температура стінки конвективного пучка котла нижче температури конденсації водяної пари у димових газах, що може призвести до конденсації парів вологи на поверхнях нагріву котла, а отже і до їх корозії. Тому для подальшого розгляду прийнято деревину з вологістю 20% як основний вид палива на котельні.

Розроблено математичну модель теплообмінних процесів в системі сонячного теплопостачання, що дозволила провести оцінку інтенсивності сонячної радіації, що надходить на сонячний колектор спрямований на південь за різних кутів нахилу колектора до горизонту. Найбільш ефективний кут встановлення геліоколекторів для забезпечення теплою цілорічно склав 35° до горизонту. Теплоу вироблену геліоколекторами доцільно направляти на потреби гарячого водопостачання.

Розроблено теплову схему котельні, що працює на систему теплопостачання з характеристиками: максимальна потужність системи гарячого водопостачання 55 кВт, максимальна теплова потужність системи вентиляції 35 кВт, максимальна потужність системи опалення 128 кВт. Виконано розрахунок теплової схеми в різних режимах роботи з використанням в якості палива дров. Обґрунтовано вибір диничної потужності основного обладнання котельні, а саме твердопаливного водогрійного котла потужністю 150 кВт у кількості 2 шт. та емкісного теплообмінника для потреб ГВП потужністю 55 кВт.

Виконано тепловий розрахунок водогрійного котла потужністю 150 кВт. Проведені розрахунки об'ємів та ентальпій, повітря та продуктів згорання, теплового балансу, топки, водяного та повітряного жаротрубних пучків. В проекті також розраховано коефіцієнт корисної дії 87,96 %, витрату палива, що дорівнює 0,0138 кг/с.

Підібране основне та допоміжне обладнання для роботи сонячної підсистеми теплопостачання. Підібрано сонячні колектора Vaillant aurotherm vfk 145/2v в кількості 36 штук, насосна група Vaillant Auroflow VMS 70 в кількості 2 штуки, циркуляційний насос для забезпечення від дублера Wilo top s 50/10 в кількості 1 штука та емнісний бівалентний нагрівач Aurostor vih s 2000 в кількості 3 штуки.

В роботі було розроблено функціональну схему автоматизації водогрійної котельні на твердому паливі в м. Запоріжжя. Підібраний котловий регулятор RK2001a. Для регулювання системою опалення від твердопаливного котла - Vitodens 050 НК. Для регулювання системою опалення, теплопостачання та вентиляцією підібрано регулятор марки Vitotronic 300-K. Даними регуляторами відбувається регулювання температури на виході з твердопаливного котла до споживачів, автоматичний контроль і підтримання заданої температури. Регулювання температури за допомогою співвідношення витрати повітря-паливо. Автоматизація керування опалення та ГВП за допомогою датчиків температури, які посилають сигнали регулятору, відповідно який подає сигнал на змішувальний механізм та мережний насос. Підібрано засоби автоматизації. Проведено розрахунки триходового клапану.

Проаналізовано об'єкт який підлягає монтажу. Підібране основне та допоміжне обладнання для роботи твердопаливної водогрійної котельні. Встановлено, що маса обладнання, основних та допоміжних матеріалів і обладнання для монтажу складає 3976 кг. Витрата електроенергії на роботу допоміжного обладнання дорівнює 9167,774 кВт-год. Розроблений календарний графік монтажу системи, графік руху робітників, графік руху машин та механізмів. Визначено загальну трудомісткість яка становить 52,42 люд. дні. Тривалість встановлення обладнання дорівнює 22,71 днів.

В розділі охорона праці було проаналізовано умови праці при виконанні монтажних робіт та експлуатації котельні. Проаналізовано і визначено, які фактори є небезпечними та шкідливими для життя людини, які можуть бути присутні при виконанні монтажних робіт, експлуатації котлів, а саме: несприятливі параметри мікроклімату; підвищений рівень шуму, вібрації; недостатня освітленість на робочому місці; ураження електричним струмом, тощо.

В розділі економічна частина складено кошторисний документ – локальний кошторис. В локальному кошторисі пораховано: кошторисна вартість  $K_b = 2368,928$  тис. грн., кошторисна заробітна пла-

та ЗП = 22,535 тис. грн., кошторисна трудомісткість  $T = 1,088$  тис. люд –год., вартість матеріалів – 2331,248 тис. грн. Розраховали основні показники ефективності інвестицій в інноваційний проект: чисті грошові надходження – 3407,47 тис. грн.; чиста поточна вартість –1038,72 тис. грн.; термін окупності, розрахований за кумулятивним методом та методом усереднених параметрів – 2,69 роки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Степанова Н. Д., Коломієць І.О. Дослідження показників роботи твердопаливного котла на різних видах палива. Доповідь на міжнародній науково-технічній конференції "Енергоефективність в галузях економіки України-2019". Вінниця, 2019. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egcu/egcu2019/paper/viewFile/8315/6924> (22.11.2021).
2. Степанова Н. Д., Коломієць І.О. Вплив невизначеності характеристик палива на показники роботи твердопаливного котла. Матеріали XLVIII Науково-технічної конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання 2019. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2019/paper/view/7971/6654> (дата звернення 20.11.2021).
3. Степанова Н. Д., Коломієць І.О. Вплив вологості палива на показники роботи твердопаливного котла потужністю 150 кВт. Матеріали міжнародної наукової інтернет-конференції "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" Випуск 37. – 2019. URL: <https://drive.google.com/file/d/13zA7xuKPYIr93AZsbZYh78EveOXXecwj/view> (дата звернення 21.11.2021).
4. ДСТУ-Н Б В.2.5-43:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Настанова з улаштування систем сонячного тепlopостачання в будинках житлового громадського призначення. [Чинний від 2010-09-01]. Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2010. 32 с. (Національний стандарт України).
5. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2011. 123 с. (Національний стандарт України).
6. Степанова Н. Д., Коломієць І.О. Ефективність використання геліоколекторів для потреб гарячого водопостачання у тепловій схемі твердопаливної водогрійної котельні. Доповідь на міжнародній науково-технічній конференції "Інноваційні технології в будівництві - 2020". Вінниця, 2020. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2020/paper/viewFile/10876/9084> (23.11.2021).
7. Степанова Н.Д., Коломієць І.О. Обґрунтування вибору джерела теплоти для водогрійної котельні. Доповідь на XLIX Науково-технічній конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання ВНТУ. Вінниця, 2020. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2020/paper/view/9175/7523> (24.11.2021).
8. Степанова Н.Д., Коломієць І.О. Комбінована система тепlopостачання на основі твердопаливної котельні. Доповідь на міжнародній науково-технічній конференції "Енергоефективність в галузях економіки України". Вінниця, 2021. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egcu/egcu2021/paper/viewFile/14004/11874> (25.11.2021).
9. Степанова Н.Д., Коломієць І.О. Енергетичне, економічне та екологічне підґрунтя вибору палива для твердопаливного котла. Доповідь на L Науково-технічній конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання ВНТУ. Вінниця, 2021. URL : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2021/paper/view/12880/10824> (25.11.2021).

**Степанова Наталія Дмитрівна**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, [Stepanovand@i.ua](mailto:Stepanovand@i.ua)

**Коломієць Іван Олегович**, студент групи ТЕ-20м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [kolomawork@gmail.com](mailto:kolomawork@gmail.com).

**Stepanova Nataliya D.**, Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of the Department of Thermal Power Engineering, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsia, e-mail: [Stepanovand@i.ua](mailto:Stepanovand@i.ua)

**Kolomiets Ivan O.**, student of TE-20m group, Faculty of Construction, Thermal Power Engineering and Gas Supply, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: [kolomawork@gmail.com](mailto:kolomawork@gmail.com).