

# МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ БОЙЛЕРА НЕПРЯМОГО НАГРІВУ У СИСТЕМІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОМ НА БІОМАСІ

Вінницький національний технічний університет;

## *Анотація*

*У роботі розроблено математичну модель бойлера непрямого нагріву для потреб гарячого водопостачання у системі тепlopостачання з теплогенератором на біомасі. Проведено числове дослідження на основі розробленої математичної моделі, встановлено оптимальні параметри грійного теплоносія.*

**Ключові слова:** біомаса, теплогенератор тепlopостачання, гаряче водопостачання.

## *Abstract*

*The paper develops a mathematical model of an indirect heating boiler for hot water supply in a heat supply system with a biomass heat generator. A numerical study was carried out on the basis of the developed mathematical model, and the optimal parameters of the heating medium were determined.*

**Keywords:** biomass, heat generator, heat supply, hot water supply.

## Вступ

Сучасні вимоги до систем тепlopостачання громадських будинків в Україні викликають необхідність переходу до більш високоефективних та екологічно чистих рішень. Напрямок щодо зменшення викидів парникових газів та споживання енергії спонукає нас до пошуку інноваційних підходів у галузі тепlopостачання. Один з таких підходів - використання відновлювальних джерел енергії та біомаси.

Використання відновлюваних джерел енергії над первинними, а саме викопними паливами, має значний потенціал у забезпеченні сталого розвитку [1] та зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище.

Система тепlopостачання громадської будівлі може включати такі складові: система опалення, система вентиляції, система гарячого водопостачання, система кондиціонування повітря. На відміну від житлових будівель, у громадських будівлях споживання гарячої води має більш суттєву нерівномірність, тому використання теплообмінників накопичувального типу є обґрунтованим вибором. Крім того, ефективне використання енергії в теплообмінниках накопичувального типу (бойлерах непрямого нагріву) у системах з котлами на біомасі забезпечується за рахунок оптимізації процесів генерації, зберігання та споживання теплової енергії.

Метою роботи – числовими методами дослідити вплив температурних і швидкісних режимів грійного теплоносія на показники роботи бойлера непрямого нагріву.

## Основна частина

Котли на біомасі працюють з максимальною ефективністю, коли працюють у стабільному режимі, при постійному тепловому навантаженні. Однак реальне теплове споживання в системі не відповідає цим умовам. Бойлер непрямого нагріву достатньої ємності дозволяє поглинати надлишкову теплоту під час пікової генерації, запобігаючи втратам, що виникають при необхідності часто вмикати та вимикати котел. А наявність достатньої ємності дозволяє уникнути холостого витрачання палива, накопичуючи теплоту для подальшого використання.

Теплота, накопичена в бойлері, може бути передана до споживача в найбільш сприятливий момент, мінімізуючи втрати в магістралях. Це особливо актуально для системи тепlopостачання громадської будівлі, що працює в умовах непостійного навантаження (наприклад, вночі і рано вранці).

Розробка математичної моделі тепломасообмінних та гідродинамічних процесів у бойлері непрямого нагріву є складним завданням [2], яке включає кілька етапів: визначення основних

фізичних процесів, що відбуваються в теплообміннику, встановлення граничних умов, створення диференціальних рівнянь, що описують ці процеси [3, 4], та вирішення цих рівнянь для отримання аналітичних або чисельних результатів. Крім того ця розробка вимагає комплексного підходу та врахування багатьох факторів. Успішна реалізація моделі дозволяє оптимізувати роботу теплообмінника та підвищити ефективність процесу теплообміну.

Для дослідження розглянуто теплообмінник для потреб гарячого водопостачання потужністю 10 кВт. Теплообмінна поверхня (змійовик) виконана із тонкостінної трубки з нержавіючої сталі AISI 304. Ємність теплообмінника складає 0,35 м<sup>3</sup>.

Щоб з'ясувати, який температурний і швидкісний режими ємкісного теплообмінника будуть оптимальними проведено чисельне дослідження за допомогою математичної моделі, розробленої у попередньому підрозділі. Впливу температурних параметрів гарячого теплоносія та його швидкості на коефіцієнт теплопередачі та гідравлічний опір теплообмінника проілюстровано на рис. 1.

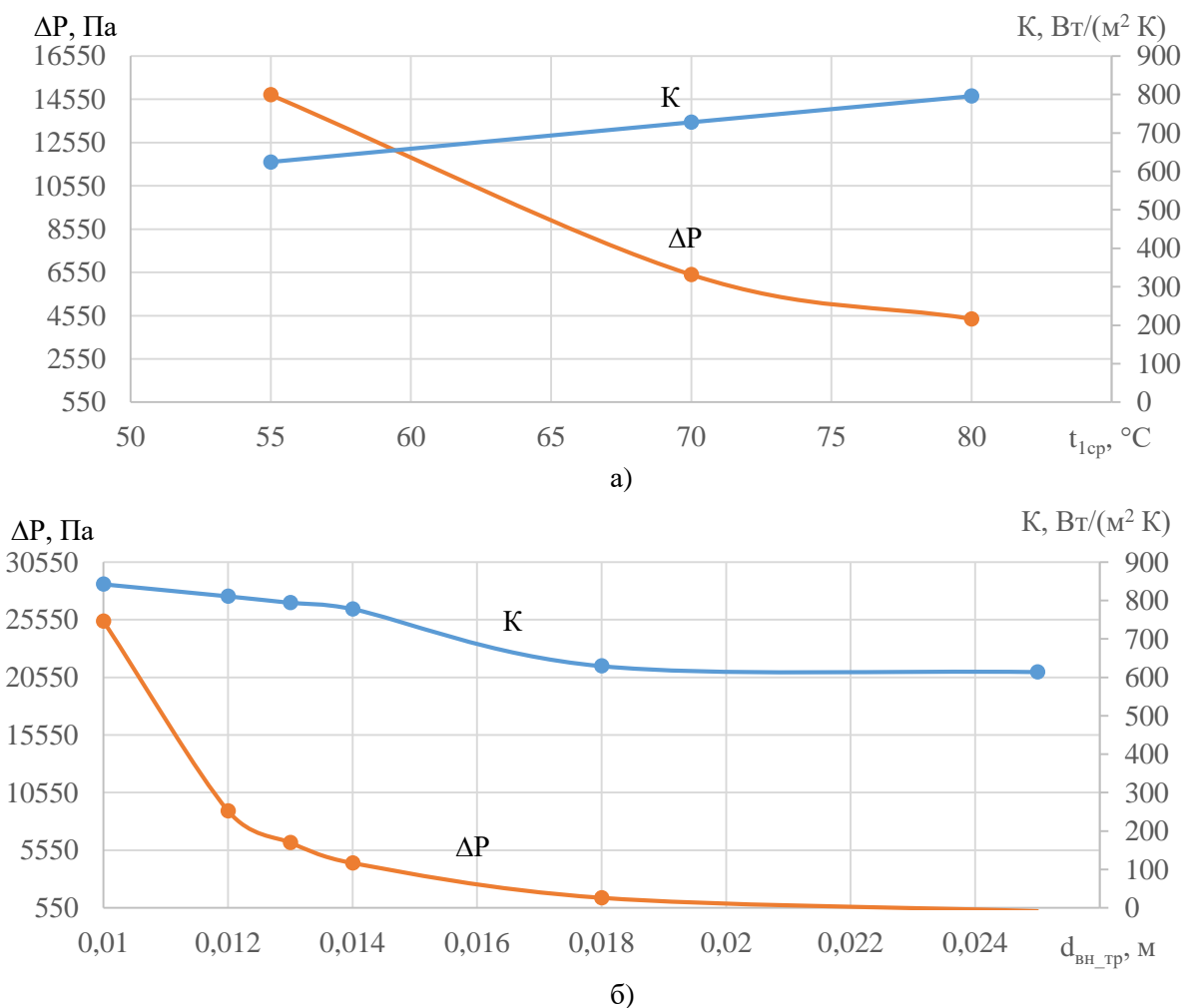


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта теплопередачі теплообмінника  $K$  та його гідравлічного опору  $\Delta P$  від середньої температури гріючого теплоносія  $t_{cp}$  (а) та діаметра теплообмінної трубки  $d_{vn\_tr}$  (б)

Крім того, на основі математичної моделі оцінено вплив швидкості гарячого теплоносія в трубці змійовика на капіталовкладення у теплообмінну поверхню та витрати на електроенергію за 10 років роботи (див. рис. 2).

Із рис.1 видно, що середня температура гріючого теплоносія зростає з 55 до 80 °С, що спричиняє зростання коефіцієнта теплопередачі на 27,4% і спадання гідравлічного опору на 70,2%.

Під час дослідження швидкісних режимів роботи теплообмінника температурний режим задишався незмінним і складав 90/70 °С. Так, швидкість гріючого теплоносія зростала від 0,25 до 1,57 м/с, відповідно зменшувався необхідний діаметр гріючої трубки, а коефіцієнт теплопередачі зріс на 37,2% та гідравлічний опір – у 101,2 рази.

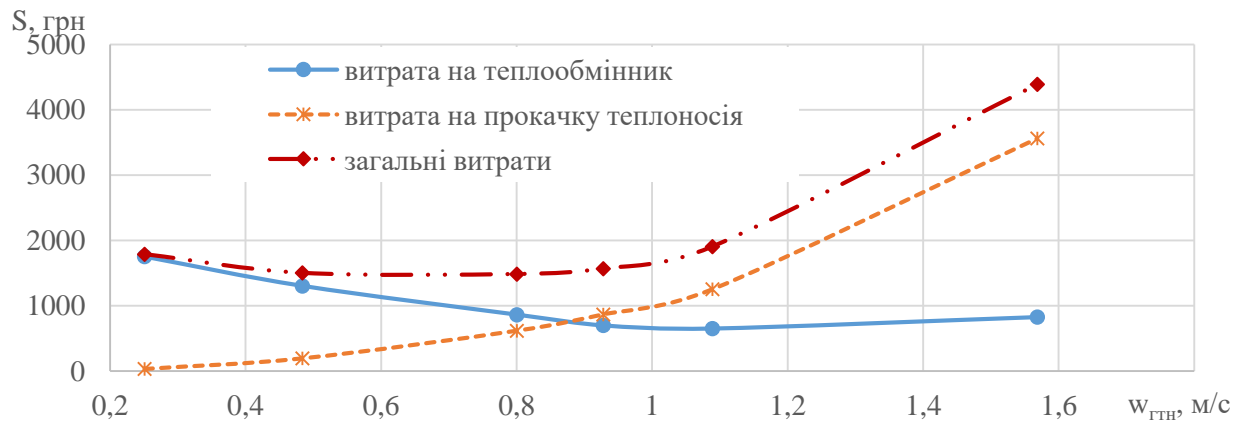


Рисунок 2 – Вплив швидкості гріючого теплоносія  $w_{гтн}$  на капітальні затрати на теплообмінну поверхню, експлуатаційні витрати протягом 10 років та загальні витрати

Аналізуючи рис. 3 встановлено, що швидкість гарячого теплоносія на рівні 0,8...0,93 м/с є економічно доцільним варіантом, це відповідає діаметрам теплообмінної труби 15×1 мм або 16×1 мм.

### Висновки

У роботі на основі тепломасообмінних та гідродинамічних процесів, що відбуваються у бойлері непрямого нагріву і їх математичного опису розроблено математичну модель ємкісного теплообмінника для потреб гарячого водопостачання у системі тепlopостачання з теплогенератором на біомасі.

Проведено числове дослідження на основі розробленої математичної моделі, встановлено, що найвищий коефіцієнт тепловіддачі і найменший гідравлічний опір відповідає найвищим із досліджуваних температурних режимів, а саме 90/70 °С. Крім того найбільшій швидкості відповідає і найвищий коефіцієнт теплопередачі, але і гідравлічний опір змійовика при цьому також найвищий. Встановлено оптимальну швидкість у трубках змійовика 0,8...0,93 м/с.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Перспективи розвитку ринку біомаси в ЄС і Україні. Вплив використання біомаси на зміну клімату. URL: <https://uabio.org/materials/328/>. (дата звернення 18.11.2024 р.)
2. Степанов Д. В., Степанова Н. Д. Математичні методи і моделі теплоенергетичного обладнання: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 81 с.
3. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й. Розрахунки тепломасообмінних апаратів. Вінниця: ВНТУ, 2006. 129 с.
4. Співак О. Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Частина I : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2021. 113 с.

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

*Блазина Владислав Вячеславович, студент групи ТЕ-24м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [blazinavlad@gmail.com](mailto:blazinavlad@gmail.com).*

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

*Blazyna Vladyslav V., student of TE-24m group, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnitsya National Technical University, Vinnitsya, e-mail: [blazinavlad@gmail.com](mailto:blazinavlad@gmail.com).*