

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ПЕРЕДТОПКИ ДЛЯ ПАРОГЕНЕРАТОРА CONDOR HD 01-12

Вінницький національний технічний університет

## *Анотація*

Розроблено математичну модель передтопки на гранулах деревини та проведені дослідження показників її роботи. Проведено моделювання показників роботи з різними коефіцієнтами надлишку повітря та різною вологістю деревини. Проведено оцінку техногенного навантаження на навколишнє середовище процесів спалювання природного газу та деревини за допомогою програмного забезпечення SimaPro 9.5.0.2.

**Ключові слова:** передтопка, коефіцієнт надлишку повітря, вологість деревини, адіабатна температура, природний газ, техногенне навантаження.

## *Abstract*

A mathematical model of the pre-furnace on wood pellets has been developed and studies of its performance indicators have been carried out. Simulation of performance indicators with different coefficients of excess air and different moisture content of wood was carried out. An assessment of the man-made load on the environment of natural gas and wood burning processes was carried out using the SimaPro 9.5.0.2 software.

**Keywords:** pre-furnace, coefficient of excess air, moisture content of wood, adiabatic temperature, natural gas, man-made load.

## **Вступ**

Залучення поновлюваних видів палив для виробництва теплової та електричної енергій – актуальна задача, що постає перед енергетичним сектором України. Її вирішення дозволить розширити паливну базу енергоустановок і знизити дефіцит енергоресурсів. Ефективне використання нових видів палив, як правило, супроводжується створенням нових конструкцій топкових пристроїв, в ході проектування яких необхідні дані про основні закономірності їх термічної конверсії, а також відповідні нормативні документи, згідно яких можна проектувати такі установки [1].

Значний ріст цін на природний газ призвів до необхідності розробки заходів по скороченню його споживання. Тому доцільно переводити котлоагрегати на спалювання твердого палива. Одним із шляхів модернізації існуючих котлоагрегатів є встановлення передтопок для спалювання твердого палива. Передтопки – це спеціальні пристрої, які приєднуються до існуючих котлів з метою більш ефективного спалювання палива.

Тому розробка таких пристроїв є **актуальним** завданням.

**Мета роботи:** на основі математичного моделювання дослідити показники роботи передтопки для спалювання гранул деревини, а також оцінити ці показники при роботі на інших видах палива.

## **Результати дослідження**

Для дослідження показників роботи передтопки розроблено математичну модель.

Ця модель є нелінійною, вона складається з 48 лінійних та нелінійних алгебраїчних рівнянь, за параметрами моделювання така модель є детермінованою, структурною, також дискретною з зосередженими кількісними параметрами, крім того, статичною, одномірною. Дана модель є описовою, алгебраїчною і розв'язується аналітичним методом [2].

Розроблена математична модель реалізована в середовищі Microsoft Excel.

Її математичний опис складається з рівнянь теплових та енергетичних балансів, кінетичні рівняння інтенсивності теплообміну в топці, використовуються ітерації для визначення температури

газів на виході з передтопки з метою співставлення теплової потужності теплообмінної поверхні, розрахованої за рівнянням теплового балансу та основним рівнянням теплопередачі. В моделі використані методи визначення інтенсивності теплообміну випроміненням з Нормативного методу теплового розрахунку котлоагрегатів. Основні рівняння, що використані в математичному описі моделі, наведені в [3, 4].

В розрахунках прийнято, що втрати теплоти від хімічної неповноти згорання складають 0,5 %, з механічним недопалюванням 1 %, втрати теплоти в навколишнє середовище 0,5%. Досліджено роботу передтопки на гранулах деревини вологістю 9,5%, а також звичайної деревини вологістю від 10 до 40%. Результати відповідних досліджень показані на рис. 1 – 3.

Змінним параметром в дослідженнях є коефіцієнт надлишку повітря, який варіювався в межах від 1,3 до 1,6. Досліджено вплив коефіцієнта надлишку повітря на адіабатну температуру в топці при спалюванні гранул деревини (рис. 1).

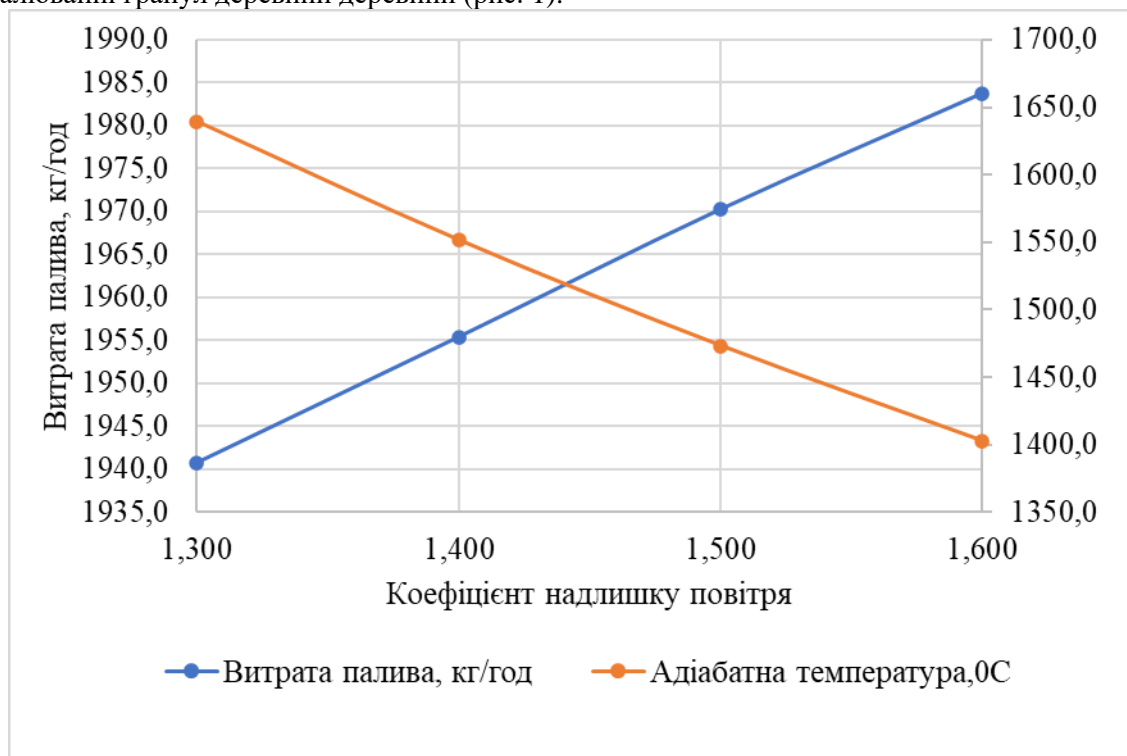


Рисунок 1 – Вплив коефіцієнта надлишку повітря на адіабатну температуру та витрату палива

При збільшенні коефіцієнта надлишку повітря, адіабатна температура зменшується, що пояснюється тим, що в топку надходить більша кількість повітря. При збільшенні коефіцієнта надлишку повітря з 1,3 до 1,6 адіабатна температура зменшується на 1,8 %, а витрата палива збільшується.

В роботі досліджено вплив коефіцієнта надлишку повітря на температуру газів на виході з топки (рис. 3.2). Коефіцієнт надлишку повітря взято від 1,3 до 1,6. При менших надлишках повітря можливе хімічне і механічне недопалювання палива. При надлишку повітря паливо згорає повністю, але частина теплоти витрачається на підігрів надлишкового повітря. Відбувається зниження температури газів на виході і зменшення ККД. Надлишкове повітря, що надходить в газовий тракт котла, викликає збільшені втрати теплоти з відхідними газами, збільшується опір тракту, викликає перенавантаження димососів і вентиляторів і внаслідок цього може знизитись продуктивність котла і його ККД.

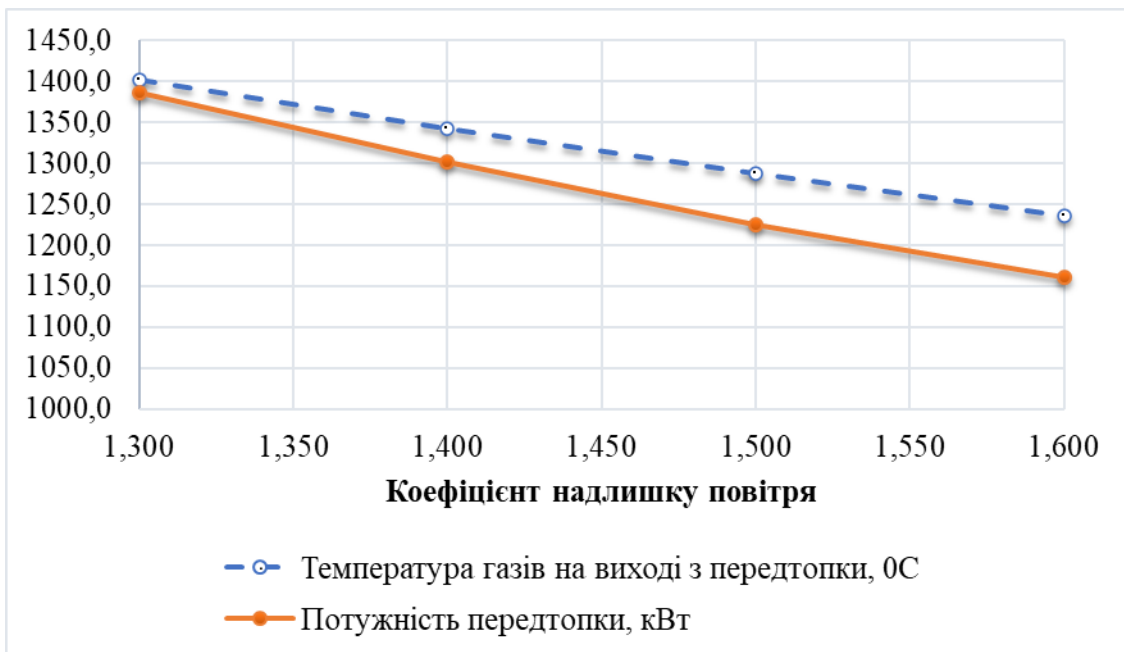


Рисунок 2 – Дослідження впливу коефіцієнта надлишку повітря на температуру газів на виході з передтопки і потужність передтопки

Досліджено вплив коефіцієнта надлишку повітря на необхідну кількість гранул деревини для заміщення 1000 м<sup>3</sup> природного газу з теплою згорання  $Q_H^p = 34,5$  МДж/м<sup>3</sup> (рис.3).

Збільшення необхідної кількості дров становить 2,2 %. Слід зазначити, що за низької вологості палива (9,5 %) і для обраного діапазону зміни коефіцієнта надлишку повітря основні параметри показників передтопки суттєво не змінюються.

У процесі експлуатації котлоагрегатів умови роботи часто відрізняються від розрахункових: змінюються навантаження котла, якість палива, коефіцієнт надлишку повітря. Перераховані зміни можуть відбуватися одночасно в різних напрямках. За цих обставин персонал який експлуатує обладнання повинен знати як впливають ці зміни на показники роботи котельного агрегату і вміти регулювати його роботу обираючи економні режими, а в деяких випадках попереджувати порушення нормальної роботи.

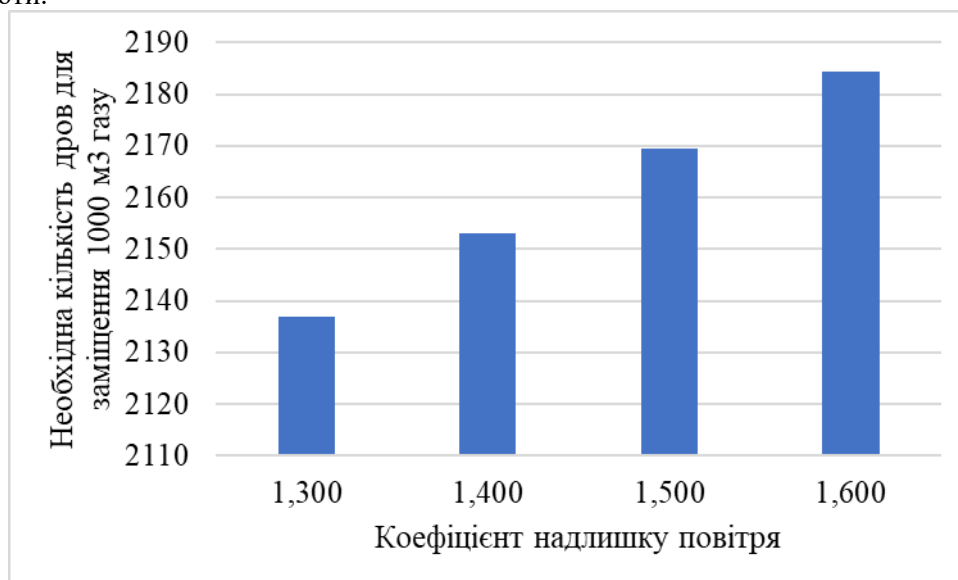


Рисунок 3 – Вплив коефіцієнта надлишку повітря на необхідну кількість дров для заміщення 1000 м<sup>3</sup> природного газу.

Проведено оцінку техногенного навантаження на навколишнє середовище під час спалювання природного газу і деревини. Розрахунки проведено на 1000 м<sup>3</sup> природного газу. Для заміщення такої кількості газу потрібно 2138 кг гранул деревини. Використано програмне забезпечення SimaPro 9.5.0.2.[5].

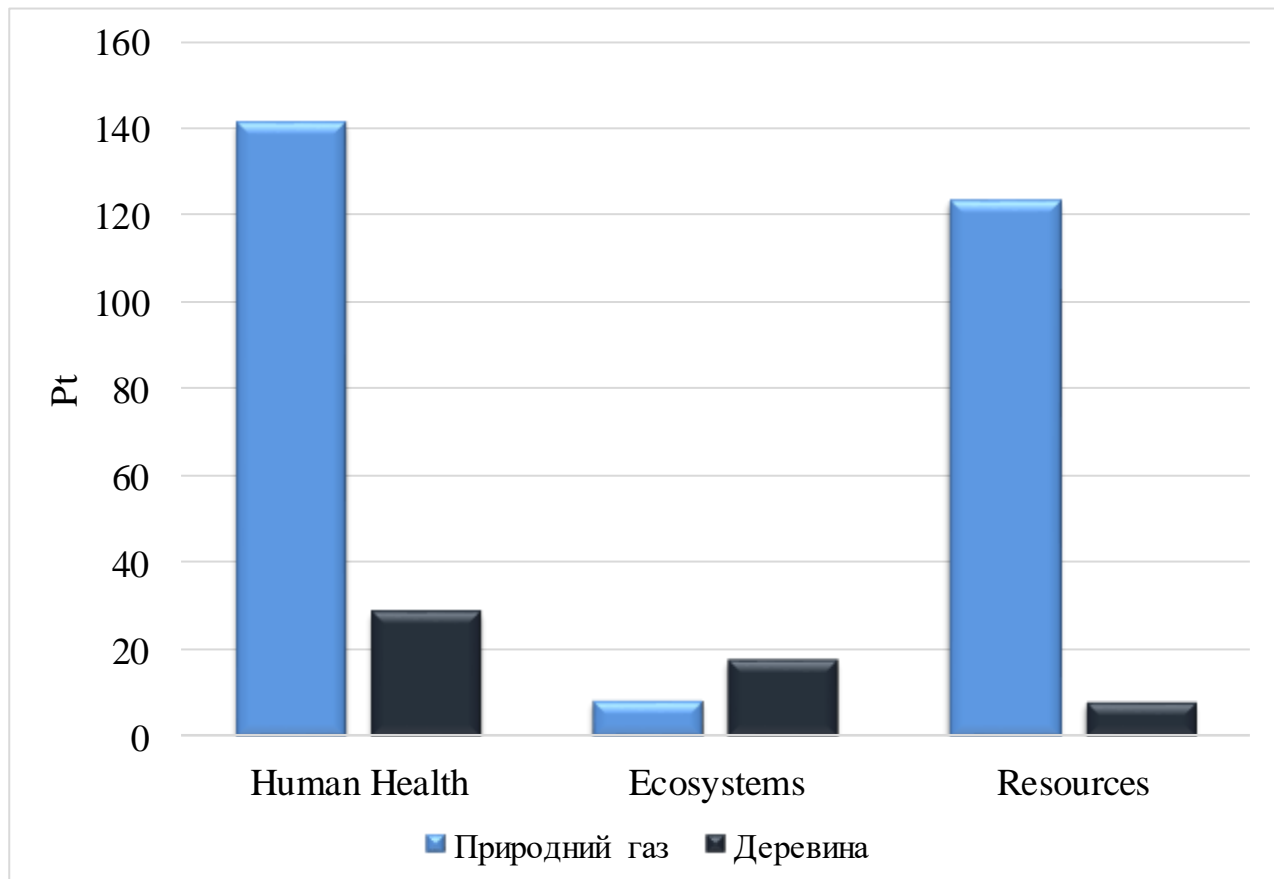


Рисунок 4 – Порівняння впливу спалювання деревини і природного газу на на людське здоров'я, якість екосистеми, і на вичерпання ресурсів в програмі SimaPro (Pt –єкоодиниця)

Отримані результати показують, що спалювання природного газу має більший вплив на людське здоров'я (в 4,95 рази) та вичерпання ресурсів (в 15,7 рази). Спалювання деревини в 2,1 негативніше впливає на екосистему.

### Висновки

Розроблено математичну модель для визначення показників роботи передтопки для парогенератора CONDOR HD 01-12, що має потужність 8000 кВт.

З використанням математичної моделі виконано дослідження впливу коефіцієнта надлишку повітря в передтопці на ряд величин: потужність передтопки, адіабатну температуру, температуру газів на виході з передтопки, витрату палива. Показано, що за низької вологості палива (9,5 %) і для обраного діапазону зміни коефіцієнта надлишку повітря від 1,3 до 1,6 основні параметри показників передтопки суттєво не змінюються.

Значний вплив на показники роботи передтопки має вологість деревини. При збільшенні робочої вологості палива адіабатна температура згорання помітно зменшується з 1543 °С до 1312 °С, що становить 15 %, при цьому відбувається суттєве збільшення витрати палива з 1985 кг/год до 3273 кг/год. Температура знижується в основному через збільшення витрат корисної теплоти на випаровування води. Зі збільшенням вологості зменшується інтенсивність виділення летких, а також по-

гіршуються умови їх згоряння через розведення парами води зони протікання хімічних реакцій горіння.

Проведено оцінку заміщення природного газу гранулами деревини та звичайною деревиною вологістю від 10 до 40 %. Показано, що для заміщення 1000 м<sup>3</sup> природного газу необхідно спалити 2138 кг гранул вологістю 9,5 %, і 3604 кг деревини вологістю 40 %.

Проведено оцінку техногенного навантаження на навколишнє середовище під час спалювання природного газу і деревини. Для цього використано програмне забезпечення SimaPro 9.5.0.2. Отримані результати показують, що спалювання природного газу має більший вплив на людське здоров'я (в 4,95 рази) та вичерпання ресурсів (в 15,7 рази). Спалювання деревини в 2,1 негативніше впливає на екосистему.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боднар Л. А., Сологуб Т. А. Показники роботи парогенератора Е-1-9 при переведенні на спалювання твердих видів палив. Науково-технічний журнал "Сучасні технології матеріали і конструкції в будівництві". 2019. №2. – С. 187-193.
2. Степанов Д.В., Степанова Н.Д. Математичні методи і моделі теплоенергетичного обладнання. Вінниця : 2017. 81 с.
3. Чепурний М.М., Степанов Д. В., Корженко Є. С. Теплові розрахунки парогенераторів: навчальний посібник – Вінниця : ВНТУ, 2011. 155 с.
4. Степанов Д. В., Боднар Л. А. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності. Вінниця: Універсум, 2011. 132 с.
5. LCA software for informed chagemakers/ URL <https://pre-sustainability.com/solutions/tools/simapro/> (дата звернення 20.12.2023 р).

**Боднар Лілія Анатоліївна** – к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики ВНТУ. e-mail: [Bodnar06@ukr.net](mailto:Bodnar06@ukr.net)  
**Боднар Дмитро Сергійович** – студент групи ТЕ-23м, e-mail: [dima.bondar.vn@gmail.com](mailto:dima.bondar.vn@gmail.com)

**Bodnar Liliya**, Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [Bodnar06@ukr.net](mailto:Bodnar06@ukr.net).  
**Bondar Dmutro** – student, e-mail: [dima.bondar.vn@gmail.com](mailto:dima.bondar.vn@gmail.com)