

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора

ГАНЖІ Антона Миколайовича

на дисертацію **ЯЛЕЧКА Володимира Івановича**

**„Підвищення ефективності енерготехнологічного процесу спалювання
здрібненої деревної біомаси”**,

яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова
теплоенергетика

1. Актуальність теми дисертації та її зв'язок з науковими програмами, планами, темами

У лісовому господарстві України знаходиться значна кількість невикористаної деревини і її відходів. Сьогодні, коли ціни на викопні джерела енергії (газ, нафту, вугілля) зростають, необхідно приділяти достатню увагу раціональному використанню відновлювальних джерел енергії. Спалювання деревних відходів на сучасному обладнанні відноситься до екологічно прийнятних методів її ефективного використання. Саме тому сучасні проблеми енергетичного генерування можуть бути частково вирішені при раціональному використанні відновлювальних джерел палива, вагоме місце серед яких займає деревна біомаса.

Таким чином, у сучасних умовах дисертаційна робота Ялечка В.І. «Підвищення ефективності енерготехнологічного процесу спалювання здрібненої деревної біомаси» є актуальною працею, у якій вирішується важливе для енергетичної галузі України завдання.

Дисертаційна робота виконувалася згідно з тематичними планами науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт Національного університету „Львівська політехніка”, зокрема відповідно до напрямку наукової діяльності кафедри теплоенергетики, теплових та атомних електричних станцій «Підвищення ефективності та надійності теплоенергетичного і тепловикористовуючого устаткування». Окремі результати роботи отримані при виконанні держбюджетних, а також госпдоговірних науково-дослідних робіт.

Як впливає з поданих в дисертації даних Ялечко В.І. був безпосереднім виконавцем цих робіт.

2. Аналіз структури та змісту дисертаційної роботи

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Матеріали дисертації викладено на 149 сторінках. Зокрема робота проілюстрована 22 рисунками, містить 21 таблицю, 115 найменувань використаних літературних джерел та 6 додатків.

У вступі наведено загальну характеристику роботи, окреслено проблему та обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету, об'єкт та предмет дослідження, висвітлено наукову новизну, практичну цінність та особистий внесок здобувача в отриманні результати, подано відомості про їх апробацію, публікацію та впровадження.

Перший розділ присвячений огляду теоретичних, експериментальних робіт, пов'язаних з аналізом сучасного стану досліджень процесу спалювання здрібненої деревної біомаси, результати яких представлені у науково-технічних джерелах.

У **другому розділі** представлено результати аналізу відомих математичних моделей процесу спалювання деревної біомаси, а також представлено удосконалену математичну модель цього процесу.

За результатами аналізу встановлено, що математична модель процесу спалювання здрібненої деревної біомаси може бути розроблена на основі рівняння нестационарного процесу самозапалювання деревної біомаси, розробленого професором Хзмаляном Д.М. на основі теоретичних положень хімічної кінетики перебігу процесу самозагоряння академіка Семенова Н.Н.

Моделювання процесу самозагоряння виконано для подрібненої деревної біомаси швидкоростучої верби *Salix*. За результатами моделювання встановлено, що розвиток процесу самозагоряння проявляється зміною по довжині камери трьох параметрів: росту температури, зменшення концентрацій деревинних частинок і кисню. Зокрема, визначено діапазони зміни безрозмірних параметрів (безрозмірного коефіцієнта тепловіддачі Ω , безрозмірної температури стінок камери згоряння Θ_1), які відповідають реальним діапазнам зміни параметрів процесу спалювання здрібненої деревної біомаси: $\Omega = 0 \div 0,05$; $\Theta_1 = 0,045 \div 0,1$. Таким чином уточнено умови застосування математичної моделі процесу спалювання здрібненої деревної біомаси, що дало можливість обґрунтовано застосувати цю модель для дослідження процесів горіння подрібненої деревної біомаси.

Третій розділ присвячений розробленню методики експериментальних досліджень процесу спалювання здрібненої деревної біомаси для отримання кінетичних констант цього процесу та застосуванню цієї методики для дослідження зразків здрібненої деревної біомаси.

У розділі представлено розроблену здобувачем методику яка поєднує метод диференційної термогравіметрії (ТГ) і диференційного термічного аналізу (ДТА); виконано низку експериментальних досліджень зразків здрібненої деревини, зокрема, верби енергетичної швидкоростучої *Salix*.

Застосування цієї методики передбачає поступове підвищення температури зразка деревини, поміщеного у спеціальну піч, а, відповідно,

вимірювання та реєстрування маси зразка m (крива ТГ), швидкості зміни маси зразка dm/dt (крива ДТГ) в залежності від температури T .

Виконано елементний аналіз досліджуваних зразків методом прямого нагрівання за допомогою індикаторів наявності певного хімічного елементу. Елементний аналіз виконано для 27-и зразків деревини різних порід. Наявність даних про елементний склад деревини дає можливість обчислити теплоту згорання деревини та підвищити точність використаної математичної моделі. Виконано експериментальні дослідження процесу горіння таких матеріалів: верба швидкоростуча (*Salix viminalis*), осика, вільха, суміші деревини різних порід.

За результатами виконаних експериментальних досліджень визначено якісно вплив віку та ступеня подрібнення верби енергетичної на процес її горіння та сформовано базу для визначення кінетичних констант процесу спалювання різних сортів здрібненої деревини.

Четвертий розділ присвячений обробці та аналізу результатів експериментальних даних, отриманих для досліджених зразків здрібненої деревної біомаси.

Дослідження основних теплофізичних характеристик подрібненої деревної біомаси проводилися на експериментальній установці Q-1500 D системи Paulik-Erdey. На основі дериватограм, отриманих під час експериментальних досліджень, розроблено аналітичні залежності втрати маси зразків деревини від часу. Наявність аналітичної залежності втрати маси зразка від часу дає можливість виконати моделювання перебігу процесу спалювання у часі, що важливо під час розроблення конструкції паливневих пристроїв.

Під час виконання четвертого розділу автор застосував розроблену методику визначення кінетичних констант, що представлена у розділі 3, та отримав значення кінетичних констант для зразків верби енергетичної *Salix*. Дослідження для цього виду деревини виконано в області ступенів перетворення взірця верби $\alpha \leq 0,55$.

На основі результатів термогравіметричного аналізу вперше отримано аналітичні залежності відносної втрати маси зразка верби енергетичної *Salix* від оберненої температури зразка, що дає можливість проаналізувати перебіг стадій процесу горіння зразка та сформулювати вимоги до умов спалювання цієї породи.

П'ятий розділ присвячений аналізу процесу спалювання здрібненої деревної біомаси із застосуванням уточненої математичної моделі та отриманих значень кінетичних констант процесу горіння. Також у п'ятому розділі представлено результати удосконалення конструкцій паливневих пристроїв для спалювання здрібненої деревної біомаси.

За результатами експериментальних досліджень процесів спалювання здрібненої деревної біомаси, а саме за результатами аналізу складу

димових газів підтверджено, що для формування ефективного процесу горіння, а, отже, й отримання високого коефіцієнт корисної дії котлоагрегату потрібно забезпечити значення коефіцієнта η_p у діапазоні від 1,1 до 1,35.

На основі результатів виконаних досліджень розроблено конструкції паливель для забезпечення максимального ККД під час спалювання здрібненої деревної біомаси. Зокрема, розроблено конструкцію паливні зі стелею півсферичної форми для основної камери спалювання та камери допалювання, а також з додатковим пальником у камері допалювання для котлів малої та середньої потужності.

Розроблено також конструкцію паливні з обертовою колосниковою решіткою для спалювання твердого палива (кора, тирса, тріска тощо) у шарі, що дає змогу спалювати паливо з вологістю до 65% без зниження потужності. Удосконалену конструкцію камерної паливні з обертовою колосниковою решіткою впроваджено на Україно-чеському СП «Ройек-Львів». Використання запропонованої конструкції паливні у кінцевому результаті забезпечило підвищення коефіцієнта корисної дії експериментального зразка котельного агрегату на 1,4%.

Завершують дисертаційну роботу **висновки, список літературних джерел**, на які є посилання в роботі, та **додатки**.

В додатках наведено результати дослідження математичної моделі процесу самозаймання за допомогою ППП Mathcad; результати дослідів з визначення впливу коефіцієнту надлишку повітря на економічні та екологічні характеристики роботи експериментального зразка котла; результати комплексного термогравіметричного та диференційного термогравіметричного аналізів взірців деревини інших порід (осики, вільхи, тополі); документи про впровадження результатів дисертаційної роботи.

Слід відзначити, що Дисертація Ялечка В.І. „Підвищення ефективності енерготехнологічного процесу спалювання здрібненої деревної біомаси”, є завершеною науковою працею. Дисертація написана доброю технічною українською мовою із застосуванням спеціальної термінології галузі теплоенергетики та оформлена відповідно до діючих вимог. Робота добре ілюстрована і надто не перевантажена зайвим матеріалом.

Зміст дисертаційної роботи цілком відповідає паспорту спеціальності 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика, зокрема за напрямками «Дослідження процесів спалення палива» і «Створення нових ефективних, удосконалення наявних теплотехнічних апаратів та установок».

3. Наукова новизна результатів дослідження

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

- уточнено умови застосування математичної моделі процесу теплового самозаймання деревної біомаси, що дало змогу дослідити особливості перебігу цього процесу з урахуванням та без урахування тепловідведення

та сформувати вимоги до ефективного спалювання деревної біомаси в паливневих пристроях;

- шляхом застосування сукупно рівняння кінетики реакції горіння та методу найменших квадратів розроблено систему рівнянь для обчислення значень кінетичних констант реакції горіння деревини на основі неізотермічного методу дослідження процесу горіння;

- на основі результатів термогравіметричного аналізу вперше отримано аналітичні залежності відносно втрати маси зразка верби енергетичної *Salix* від оберненої температури зразка, що дає можливість проаналізувати перебіг стадій процесу горіння зразка та сформувати вимоги до умов спалювання цієї породи деревини в паливневих пристроях;

- отримано залежності параметрів процесу самозагоряння генетично модифікованої деревини від коефіцієнта надлишку повітря, що дає змогу обрати режимні параметри процесу спалювання такої деревини для підвищення ефективності паливневих пристроїв та зниження рівня викиду шкідливих речовин.

4. Практичне значення отриманих в дисертації результатів

Практичне значення роботи полягає в тому, що отримані нові наукові результати і теоретичні положення дозволили:

1. Розроблено методику обчислення кінетичних констант процесу спалювання здрібненої деревної біомаси на основі результатів експериментальних досліджень цього процесу за допомогою методу дериватографії.

2. За результатами експериментальних досліджень зразків верби енергетичної *Salix* визначено кінетичні параметри (енергію активації, передекспоненційний множник) процесу її горіння, що дає можливість проаналізувати кінетику спалювання цієї породи деревини у паливневих пристроях енергетичних установок.

3. Удосконалено конструкцію паливневого пристрою для спалювання здрібненої біомаси, яка відрізняється наявністю виступів в основній камері згорання та півсферичною стелею камер згорання та допалювання для створення додаткового вихору спалюваної деревної суміші, що забезпечує більш ефективний розподіл теплових потоків і повне спалювання здрібненого деревного палива. Використання паливень запропонованої конструкції дозволяє підвищити ефективність роботи шляхом інтенсифікації спалювання деревної біомаси.

4. Удосконалено конструкцію паливневого пристрою для спалювання здрібненої деревної біомаси шляхом введення конусної рухомої колосникової решітки, що забезпечує активний контакт поверхні здрібнених частинок деревини та кисню та дає змогу зменшити втрати з механічним

недопалом. Використання паливень запропонованої конструкції дозволяє підвищити ККД котельного агрегату на 1,0–2,0%.

5. Впроваджено вдосконалення паливного пристрою під час переходу міні-котельні з спалювання природного газу на спалювання відходів деревини на підприємстві ПАТ «ДМЗ». Запропоновані вдосконалення разом із заміною виду палива забезпечили зменшення витрат на оплату енергоносіїв, одночасно зменшуючи шкідливий вплив продуктів згорання на екологічний стан довкілля.

6. Впроваджено вдосконалену конструкцію камерної паливні з обертовою колосниковою решіткою на Україно-чеському СП «Ройек-Львів». Використання запропонованої конструкції паливні у кінцевому результаті забезпечило підвищення ККД експериментального зразка котельного агрегату на 1,4%.

Результати досліджень можуть бути застосовані на підприємствах, які займаються проектуванням та виробництвом котельного устаткування, а також підприємствами, установами й організаціями, які експлуатують котельні установки, що використовують як паливо здрібнену деревну біомасу.

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації та достовірність отриманих результатів

Наукові положення дисертаційної роботи, результати досліджень, висновки та рекомендації мають достатню обґрунтованість і достовірність. Вони забезпечуються коректністю і відповідністю розроблених наукових положень отриманим результатам експериментальних досліджень, що виконані автором. Одержані результати підтверджені апробацією на багатьох наукових конференціях а також практичною реалізацією. Достовірність отриманих експериментальних результатів забезпечена використанням у роботі сучасних приладів, устаткування та перевірених методик дослідження, а також застосуванням загальновідомих методів математичної статистики та обробки експериментальних даних.

6. Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих працях. Впровадження результатів дослідження

Основні положення та результати дисертаційної роботи викладені у 21 науковій праці, а саме: 3 – у фахових виданнях України (2 - входять до міжнародної науково-метричної бази Index Copernicus International), 1 – у закордонних виданнях (розділ у колективній монографії (США)), 2 – у патентах на корисні моделі, 15 – у збірниках доповідей міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій.

Результати дисертації впроваджено та застосовано в організаціях, що займаються проектуванням, розробленням та виготовленням енергетичного

обладнання. Зокрема, впровадження результатів роботи на підприємствах ПАТ «ДМЗ» та СП «Роск-Львів» підтверджено актами про впровадження, що представлені у додатках до дисертаційної роботи.

Автореферат дисертації адекватно відображає основний зміст, положення, висновки, рекомендації дисертаційної роботи та відповідає вимогам, які встановлені відповідними нормативними документами та положеннями до авторефератів.

7. Дискусійні положення та зауваження щодо оформлення дисертації

1. У тексті дисертації до рівнянь (1.7)–(1.9) при переході від складу робочої до сухої маси палива невідомо куди поділась сірка.

2. Помилка у розмірності формули Менделєєва для розрахунку теплоти згоряння палива (1.10), вона є кДж/кг, а не кДж/м³. У формулі (1.11) розмірність повинна бути МДж/кг, а не кДж/кг.

3. З тексту на стор. 57-59 розділу 2 недостатньо зрозумілі умови проведення експерименту, погрішність приладів, результати обробки методом найменших квадратів.

4. Не описано, яким чином у формулі (3.3) можна визначити теплоємність посудини та її вмісту.

5. Незрозуміло, навіщо було у розділі 3 так детально описувати різні методи термічного аналізу.

6. На стор.99 приведені загальновідомі викладки формули для теоретично необхідного кисню повітря. Можна було б привести тільки кінцеву залежність (5.6).

7. З тексту незрозуміло, як з рис. (5.1) можна визначити раціональне значення коефіцієнту надлишку повітря при спалюванні верби Salix. Незрозуміло за якими критеріями і як визначались оптимальні значення з дослідних даних коефіцієнту надлишку повітря.

8. У дисертації присутні недосконалості у оформленні ілюстрацій, орфографічні і стилістичні помилки.

Однак, виявлені зауваження не знижують загальної наукової та практичної значимості дисертаційної роботи, що дозволяє в цілому позитивно оцінити її.

8. Висновок

Дисертаційна робота **Ялечка В.І.** „Підвищення ефективності енерготехнологічного процесу спалювання здрібненої деревної біомаси”, є завершеною науковою працею, яка вносить суттєвий вклад у вирішення важливої для України задачі – ефективного та екологічно прийняттого використання деревної біомаси.

Дисертаційна робота відповідає науковому рівню робіт, що подаються до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. За актуальністю, науковим рівнем розробок та їх практичним втіленням, наявністю необхідної кількості та обсягу публікацій дисертаційна робота „Підвищення ефективності енерготехнологічного процесу спалювання здрібненої деревної біомаси”, відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів” затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567, а її автор – **Ялечко Володимир Іванович** заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри теплотехніки
та енергоефективних технологій
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»,
доктор технічних наук, професор

