ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Тимощенка Андрія Володимировича

"Науково-технічні основи підвищення енергоефективності виробництва та використання теплоізоляційних матеріалів на основі базальтових волокон",

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

за спеціальністю 05.14.06 - Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Актуальність роботи.

Підвищення рівня енергетичної безпеки та незалежності є одним з сучасних викликів для України. Представлена робота спрямована на підвищення ефективності виробництва та покращення якості теплоізоляційних матеріалів, що виробляються з базальту. Досягнення поставленої мети покращує техніко-економічні показники впровадження проектів теплоізоляції промислових та житлових споруд та промислових агрегатів. Технологія, вдосконалення якої, є одним із завдань представленої роботи, забезпечує виробництво теплоізоляційних матеріалів, які у повній мірі відповідають вимогам: а) високих теплотехнічних характеристиках; б) екологічній безпеці; в) пожежній безпеці; г) довговічності; д) доступності. Розроблення наукових основ енергоефективних технологій виробництва базальтової теплоізоляції на сировинній та науково-технічній базі України сприяє раціональному використанню природних ресурсів, зменшенню витрат енергетичних ресурсів виробництві, так і покращення енергоефективності, пожежобезпечності та екологічності опалюваних споруд в Україні, при використанні даного матеріалу у будівництві, що визначає актуальність теми даного дослідження.

Ступінь обґрунтованості та вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Інститут технічної теплофізики
НАН України
Вхідний № 226
"19" 04 2021 р.

Наукові положення, висновки та рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі Тимощенко А.В., обґрунтовані та базуються на коректній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів теоретичного та експериментального дослідження, зіставленні та аналізі наукових результатів і якісному формулюванні отриманих висновків. Якість результатів практичної частини дисертації підтверджена також широким впровадженням у виробництво.

Дисертація та автореферат цілком відповідають паспорту спеціальності 05.14.06 - Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Основні положення наукової новизни отриманих результатів

У загальному вигляді ключові результати, які отримані вперше та розкривають наукову новизну дисертаційної роботи, можна викласти таким чином:

1. В наближенні моделі примежового шару на плоскій поверхні побудовано математичну теплофізичну модель гідродинаміки і теплопереносу при течії рідини з сильною залежністю надвисокої в'язкості від температури та з урахуванням дисипативних ефектів. Одержано нові закономірності течії аномально високов'язкої рідини при температурах 900...1450 °С. Визначено умови формування шару нерухомої рідини біля твердої поверхні. Встановлено, що дисипативним доданком в автомодельному рівнянні руху для умов, що розглядалися, можна знехтувати.

2. Вперше побудовано розрахункову тривимірну модель гідродинаміки та теплообміну високов'язкого розплаву базальту при ламінарному безнапірному усталеному русі з урахуванням залежності теплофізичних властивостей, як функцій від температури. Досліджено умови утворення гарнісажного шару в фідері модульної плавильної печі.

3. Встановлено причини порушення процесів витікання розплаву та формування струмин мікронного діапазону діаметрів в пластинчастому фільєрному живильнику. Вперше встановлено діапазон допустимих величин

густин теплових потоків в фідері плавильної печі, що на практиці дозволило ефективно сформулювати вихідні дані для модернізації фідеру плавильної печі.

4. Побудовано нову розрахункову тривимірну модель аеродинаміки та теплообміну повітря в вертикальному каналі з однобічним підведенням теплоти, складним теплообміном та змішаним природно-примусовим рухом.

5. Вперше за результатами експериментальних досліджень тепломасообміну при зневодненні жорстких (напівжорстких) плит на основі базальтових волокон та бентонітової глини визначено закономірності процесу їх сушіння. Побудовано узагальнену розрахункову залежність часу сушіння теплоізоляційних базальтових плит з бентонітовим в'яжучим від швидкості сушіння в першому періоді, а також від температури, швидкості теплоносія, безрозмірних товщини та густини матеріалу. Знайдено діапазон питомих витрат енергії для зневоднення цього матеріалу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Результати дисертаційної роботи було використано в межах виконання наступних бюджетних тематик Інституту технічної теплофізики НАН України:

№ 1.7.1.696 "Дослідження зневоднення теплоізоляційних плит на основі базальтових волокон та інших пласких матеріалів і розробка конкурентоспроможних технологій та сушарного обладнання" (0106U005456, 2006 – 2008 рр.),

№ 1.7.1.832 "Розробити технологію глибокого зневоднення екологічнобезпечних, вогнестійких теплоізоляційних виробів і головний зразок енергоефективної сушарки" (0109U001993, 2009 – 2011 рр.),

1.7.1.826 "Інтенсифікація тепломасообмінних процесів у технології розплавлення базальту та створення і відпрацювання головних зразків плавильних печей" (0109U001992, 2009 – 2011 рр.),

1.7.1.848 "Інтенсифікація тепломасообміну при термообробці твердих дисперсних матеріалів та виробів на їх основі" (0112U002743, 2012 – 2014 рр.), в яких автор був одним з відповідальних виконавців.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробленні сукупності заходів, методів, способів, конструкційних та схемних рішень для зниження витрат енергетичних і матеріальних ресурсів на базових стадіях виробництва базальтового волокна та створення на їх основі готових дослідно-промислових установок. До найбільш вагомих можна віднести:

– Вперше побудовано розрахункову тривимірну модель гідродинаміки та теплообміну високов'язкого розплаву базальту при ламінарному безнапірному усталеному русі з урахуванням залежності теплофізичних властивостей, як функцій від температури.

– Побудовано нову розрахункову тривимірну модель аеродинаміки та теплообміну повітря в вертикальному каналі з однобічним підведенням теплоти, складним теплообміном та змішаним природно-примусовим рухом.

– Створено дослідно-промисловий зразок нового енергоефективного агрегату з виробництва базальтового супертонкого волокна (БСТВ) за дуплекс-технологією. Агрегат у порівнянні з установками першого покоління дозволив знизити витрату природного газу на 30%.

– Створено нову енергоефективну модульну дослідно-промислову установку виробництва базальтової безперервної комплексної нитки (діректровінгу). Досягнуті результати дозволили знизити у 2 рази споживання природного газу на виробництво діректровінгу по відношенню до установок модульного типу. Крім того, середня міцність елементарного базальтового волокна, одержаного на дослідно-промисловій установці, у 1,2-1,4 рази вища за аналогічний показник для елементарних волокон, одержаних на існуючих модульних установках.

– Модернізовано конвеєрну установку для сушіння пласких напівжорстких теплоізоляційних виробів на основі базальтового супертонкого волокна. Проведені роботи дозволили на 25-35% збільшити

продуктивність установки по готовій продукції та на 15% знизити величину питомих енергетичних витрат на одиницю випареної вологи.

Впровадження результатів роботи у виробництво підтверджено актами ТОВ ВКП «Чернівецький завод теплоізоляційних матеріалів», м. Чернівці:

- акт впровадження від 25.11.2015 р. Впроваджено дослідно-промисловий зразок нового енергоефективного агрегату другого покоління з виробництва базальтового супертонкого волокна (БСТВ) за дуплекс-технологією;

- акт впровадження від 20.12.2016 р. Впроваджено модернізовану конвеєрну установку для сушіння пласких напівжорстких теплоізоляційних виробів на основі базальтового супертонкого волокна);

- акт впровадження від 27.08.2018 р. Впроваджено нову енергоефективну модульну дослідно-промислову установку виробництва базальтової безперервної комплексної нитки (діректровінгу).

Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджується використанням науково-обґрунтованих методик аналітичних та експериментальних досліджень, коректною постановкою задач, адекватністю математичної моделі з експериментальними даними, відтворюваністю результатів експериментальних досліджень, використанням сучасних програмних середовищ, а також використанням отриманих результатів у промисловості.

Повнота викладу основних наукових положень дисертації в опублікованих працях. Зміст дисертації відображено у 43 наукових працях, зокрема, 24 публікації у наукових (в тому числі електронних) фахових виданнях України та інших держав, з яких: 5 публікацій у наукових періодичних виданнях інших держав, які включені до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, РИНЦ, Web of Science, Scopus, 17 публікацій у фахових виданнях України, та 2 публікації у збірниках матеріалів міжнародних науково-технічних конференцій.

Апробація результатів дисертації. Результати та основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких заходах: Міжнародна науково-технічна конференція „сучасні екологічно безпечні тепломасообмінні процеси в технологіях легкої промисловості", м. Київ 2006 р.; Міжнародні конференції «Проблеми промислової теплотехніки», м. Київ 2009, 2011, 2013, 2017, 2019 рр.; Міжнародний базальтовий форум, м. Москва 2016 р.; 19th та 20th Shaoxing overseas talents program competition, Shaoxing, China;
The third session of Shanxi talent leader of Shengzhou entrepreneurship b. Innovation competition. Shengzhou, China 2019.

Ідентичність змісту автореферату і основних положень дисертації підтверджується повною мірою, автореферат містить тільки ті положення, які є у тексті рукопису дисертації.

Структура та зміст роботи. Дисертація є завершеною науковою працею і складається зі вступу, 7 розділів, висновків та додатку, списку використаної літератури на 191 джерело. Загальний обсяг роботи становить 371 сторінок, включаючи 325 сторінок основного тексту, 165 рисунків 46 таблиць та 4 додатків.

Вступ роботи за формою відповідає встановленим вимогам, а за змістом темі дисертаційної роботи.

Перший розділ присвячено аналізу напрямків робіт і досягнутих результатів в галузі створення матеріалів на основі базальтових волокон. Автор наводить обґрунтування щодо актуальності для України виробництва та використання теплоізоляції на основі базальтового волокна. Розглядає технології виробництва штапельних і безперервних базальтових волокон і теплоізоляційних виробів на їх основі, аналізує причини їх високої собівартості та формулює причини високої енергоємності виробництва. За висновками автора у всіх розглянутих випадках доля енергоносіїв (насамперед природного газу) в структурі прямих витрат на виробництво

готової продукції становить 60-80%. На цій підставі проводиться постановка науково-практичних задач досліджень, що створюють фундамент для інноваційної модернізації галузі та широкого використання теплової ізоляції на основі базальтових волокон

В другому розділі показано дослідження гідродинаміки та теплообмін при течії рідини з суттєвою залежністю в'язкості від температури. Проведено автомодельний аналіз гідродинаміки та теплообміну в примежовому шарі рідини з урахуванням залежності в'язкості від температури та дисипативних ефектів. Створено розрахункову модель гідродинаміки та теплообміну розплаву базальту при ламінарній безнапірній течії з урахуванням зміни теплофізичних властивостей, як функцій від температури. Проведено якісне та кількісне порівняння результатів моделювання з експериментально одержаними даними, підтверджено адекватність прийнятої моделі процесу. У висновках до розділу проводиться узагальнення отриманих результатів.

В третьому розділі формулюється науково-практична задача по зниження величини рекуперативних втрат печі плавильної, розробляється фізична та математична моделі складного теплообміну в каналі при змішаному русі повітря. Показано методику обробки результатів дослідження. Наведено результати досліджень аеродинаміки та теплообміну повітря при складному теплообміні та змішаному русі в корпусі-теплообміннику печі плавильної. Показано, що результати досліджень є основою при створенні інженерної методики розрахунку потужності системи повітряного охолодження корпусу плавильної печі.

В четвертому розділі формулюється науково-практична задача по підвищенню температури окислювача. Наведено результати дослідження нестаціонарного теплообміну в високотемпературному компактному керамічному регенеративному теплообмінному апараті. Представлено реалізацію принципу та високу ефективність високотемпературного спалювання окислювача (HiTAC) в плавильних печах, з використанням компактних теплообмінних апаратів регенеративного типу з комірчастою

структурою і пальниками регенеративного типу.

В п'ятому розділі надано матеріали дослідження процесу сушіння плит з базальтового волокна. Описано експериментальний стенд та представлено результати досліджень впливу на інтенсивність тепломасообміну температури, швидкості, вологості агенту сушіння та аеродинаміки потоку. Представлено результати дослідження тепломасообміну при зневодненні плит на основі базальтових волокон та бентонітового в'яжучого. Розроблено узагальнену залежність для швидкості в першому періоді сушіння, як функції від зазначених факторів, та узагальнену залежність для розрахунку часу конвективного сушіння теплоізоляційних базальто-бентонітових виробів. Оцінено величину загальних втрат тиску в камері.

В шостому розділі показано результати досліджень ефективності роботи теплової ізоляції на основі базальтових волокон в складі теплоізоляційних конструкцій промислових та цивільних об'єктів. Наведено опис методики проведення досліджень та їх результати. Показано, що перехід до волокон з меншими діаметрами покращує властивості теплової ізоляції та здешевлює теплоізолюючу конструкцію.

В сьомому розділі наведено опис та результати натурних випробувань зразків дослідно-промислових установок, створених з метою енергоефективної модернізації галузі. Перелічено технічні та організаційні рішення, що зумовлюють їх ефективність. Показано розроблений герметичний корпус-теплообмінник та створену на його основі систему керованого повітряного охолодження футеровки ванної плавильної печі. Представлені результати натурних випробувань та теплотехнічні характеристики корпусу-теплообмінника.

У висновках наведено основі результати досліджень, наукові положення та рекомендації.

В додатках наведено властивості гірських порід, вогнетривких та теплоізоляційних матеріалів, акти впровадження, акт випробувань теплоізоляційних конструкцій.

Разом з тим до дисертаційної роботи Тимощенко А.В., є наступні зауваження:

1. Внутрішній простір печі для плавки базальту достатньо обмежений. Використання для аналізу течії та теплоперенесення в примежовому шарі високов'язкої рідини двовимірної математичної моделі потребує обґрунтування.
2. Явні методи чисельного розв'язання систем диференційних рівнянь, до яких належить метод Рунге-Кутти, мають проблеми зі стійкістю. Автор обійшов розгляд цього питання, не обґрунтувавши також вибір кроку розрахунку.
3. Аналіз можливості використання теплообмінника-регенератора, проведений в розділі 4, показав, що матеріал, з якого він виготовлений, не відповідає умовам створюваного агрегату. При цьому, судячи з таблиці 7.3, автор зупинився на використанні саме мулітового теплообмінного блоку. Чим обумовлено цей вибір?
4. Не зрозуміло як корелюються твердження автора:
   -Рис.1.8: витрати на природний газ становлять 41% в структурі прямих затрат 1 кг базальтової безперервної комплексної нитки;
   - Практичне значення отриманих результатів, п.2. Як дві нові уніфіковані установки для розплавлення і роздування базальтових ниток з одержанням БСТВ, які у порівнянні з установками першого покоління дозволили знизити витрату природного газу на 30%. Досягнуті результати дозволили знизити споживання природного газу на виробництво кінцевої продукції у 1,5 рази, по відношенню до агрегату першого покоління.
5. У тексті є помилки, зустрічаються хибні переклади термінів.

Проте висловлені зауваження не торкаються суті дисертаційного дослідження, вони носять рекомендаційний характер, можуть стати предметом для наукової дискусії і не применшують цінності основних

наукових положень, висновків і рекомендацій, які виносяться на захист, і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації, та можуть бути враховані у подальшій науковій діяльності автора.

Характеристика змісту та рукопису дисертації. Дисертаційна робота Тимощенка А.В. є логічним, добре структурованим науковим твором з послідовним викладенням матеріалу. Оформлення дисертації відповідає вимогам, які ставляться до подібних наукових праць. Всі позиції списку використаних літературних джерел мають відповідні посилання у тексті рукопису. Запозичень з робіт інших авторів без відповідних посилань на ці наукові праці у тексті рукопису не виявлено. Аналіз змісту дисертації Тимощенка А.В. дає можливість оцінити її як закінчену наукову роботу, яка містить нові науково-обґрунтовані результати.

Висновок.

Дисертаційна робота Тимощенка Андрія Володимировича "Науково-технічні основи підвищення енергоефективності виробництва та використання теплоізоляційних матеріалів на основі базальтових волокон" є завершеною науково-дослідною роботою. яка розв'язує важливу науково-прикладну проблему, яка полягає у підвищенні енергетичної ефективності технологічних комплексів виробництва базальтового волокна та забезпечує впровадження у виробництво науково обґрунтуваннях способів підготовки сировини та сукупності заходів, методів, способів, конструкційних та схемних рішень для зниження витрат енергетичних і матеріальних ресурсів на базових стадіях виробництва базальтового волокна, м'якої теплоізоляції та теплоізоляційних плит.

Робота містить нові вагомі наукові результати для теплоенергетичної галузі України, відповідає паспорту спеціальності 05.14.06 "Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика". Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету міністрів України від

24.07.2013 р. №567, а здобувач, Тимощенко Андрія Володимировича, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – "Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика".

Офіційний опонент, заступник директора
Інституту газу НАН України, д.т.н. П'яних К.Є.

Підпис П'яних К.Є. засвідчую
вчений секретар Ільєнко Б.К.

НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ * м.КИЇВ * УКРАЇНА *
ІНСТИТУТ ГАЗУ
Ідентифікаційний код 05417035

19.04.2021.