

## **ВІДГУК**

офіційного опонента  
на дисертаційну роботу  
**Полуніна Юрія Миколайовича**

«Енергоефективне теплопостачання на основі контактної-рекуперативної термотрансформації енергії відпрацьованих газів обертових печей», яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – “Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика”

### **1. Актуальність обраної теми**

Дисертація присвячена ефективному використанню паливно-енергетичних ресурсів на основі утилізації теплоти відпрацьованих газів обертових печей виробництва будівельних матеріалів. Актуальність роботи зумовлена тим, що наразі в Україні вкрай необхідно підвищувати енергоефективність економіки та реалізовувати енерго- та ресурсозбереження.

Зокрема зазначимо, що ефективність використання енергії первинного палива обертових печей виробництва будівельних матеріалів є низькою через їх недосконалий устрій, а теплоенергетичний потенціал відпрацьованих димових газів у теперішній час практично не використовується для промислового теплотехнологічного і комунально-побутового теплопостачання. А тому перспективним напрямком є застосування теплонасосних технологій утилізації теплоти відпрацьованих газів в процесах виробництва будівельних матеріалів в обертових печах.

Саме тому тема дисертаційної роботи, яка спрямована на розробку нових науково-технічних принципів підвищення ефективності використання енергії згоряння первинного палива в процесі відбору, перетворення та споживання теплоти відпрацьованих газів обертових печей шляхом її утилізації цієї теплоти скидного енергоресурсу і його використання для технологічного та комунально-побутового теплопостачання, є надзвичайно актуальною.

### **2. Зміст дисертації, обґрунтованість наукових положень, достовірність та новизна результатів, повнота викладення в публікаціях**

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 93 найменувань і додатків. Робота викладена на 220 стор., в т.ч. 41 рис., 14 табл., основний текст дисертації складає 192 стор.

Автореферат дисертації з достатньою повнотою відображає її зміст.

У **першому розділі** розглядаються способи відбору, перетворення та утилізації теплоти охолодження димових газів в традиційних системах, а також систем відбору теплоти з використанням теплонасосних установок. Наведено огляд теоретичних і експериментальних робіт, присвячених утилізації теплоти відпрацьованих газів обертових печей і теплогенеруючих установок.

**Другий розділ** роботи присвячений розробці концептуального підходу, який передбачає тонку очистку димових газів; контактну взаємодію середовища, що гріє, з середовищем, яке нагрівається; нагрів частини води після контактної камери в

конденсаторі теплонасосної установки, а також кінцеве доохолодження відпрацьованих димових газів до температури навколишнього середовища.

На основі результатів аналізу можливостей теплонасосних технологій обґрунтовано підхід до базової системи та її устрою для відбору теплоти з відпрацьованих газів.

**Третій розділ** є основним розділом дисертації і присвячений розробці нової оригінальної схеми базової системи відбору теплоти з відпрацьованих газів обертових печей для промислового та комунально-побутового теплопостачання, яка відрізняється патентною новизною.

Отримана та проаналізована залежність коефіцієнта перетворення теплового насосу від співвідношення витрат відпрацьованих газів та води, яка нагрівається в контактній камері, а також залежність коефіцієнта перетворення теплового насосу від глибини охолодження газів в рекуперативному теплообміннику попереднього охолодження.

**Четвертий розділ** присвячений розробці більш удосконаленої системи відбору теплоти з відпрацьованих газів для промислового та комунально-побутового теплопостачання та її ретельному дослідженню. Для зазначеної системи проведено аналітичне дослідження щодо встановлення взаємозв'язку вихідних умов та режимних параметрів з визначенням теплоенергетичного потенціалу при поетапному та загальному охолодженні відпрацьованого газу в удосконаленій системі.

**П'ятий розділ** присвячено експериментальному дослідженню дійсних можливостей роботи ТНУ в базовій системі відбору теплоти з відпрацьованих газів для промислового та комунально-побутового теплопостачання, визначенню співвідношення енергетичної компоненти теплонасосної складової в загальному обсязі теплоти, яка генерується в розробленій системі теплопостачання, а також визначення економічної та екологічної ефективності.

Основні положення, рекомендації та нові технічні рішення дисертаційної роботи прийняті до практичного використання при експлуатації та реконструкції обертових печей в ПП «Куліндорівський індустріальний концерн», м. Одеса, (акт від 05.07.2016 р.). Розробки також прийняті до впровадження в ТОВ «Кераміт» при експлуатації та реконструкції обертових печей (акт від 19.07.2016 р.). Результати роботи застосовуються в навчальному процесі кафедри ОВ та ОПБ з дисципліни «Наукові основи використання теплонасосного обладнання», при підготовці дипломних робіт магістрів та спеціалістів за спеціалізацією - «Теплогазопостачання та вентиляція» (довідка ОДАБА від 09.09.2016 р.).

На мою думку, наукова новизна одержаних автором результатів полягає у створенні нового підходу для інженерного виконання енергозберігаючої теплонасосної технології створення комплексів теплопостачання на основі теплоти відпрацьованих димових газів обертової печі, а також у розробці нової технології створення та устрою теплонасосних систем теплопостачання на основі утилізації теплоти відпрацьованих газів, які базуються на результатах розрахунково-аналітичного та експериментального дослідження.

Новизною та основою для пошуку раціонального вирішення поставленої задачі є встановлення дійсного коефіцієнта перетворення теплового насосу у вигляді модифікованого критерію, що заслуговує уваги з наукової точки зору.

Окрім цього певним елементом наукової новизни є використання низки запропонованих коефіцієнтів, що мають чіткий фізичний зміст і характеризують оптимальну (раціональну) область енергоефективної утилізації теплоти відпрацьованих газів з урахуванням базових теплових процесів власне виробництва будівельних матеріалів в обертових печах, контактної та рекуперативної рекуперації, параметрів теплонасосної технології та показників технологічного і комунально-побутового теплозабезпечення, а також вентиляції.

Апробація роботи проведена належним чином, основні результати і базові положення дисертаційної роботи доповідалися на: науково-технічних конференціях ОДАБА (м. Одеса, 2012-2016 рр.); на «Форумі молодіжних новаторів», (м. Київ, 2011 р); на міжнародній науково-практичній конференції «Енергоінтеграція-2015», (м. Київ, 2015 р.).

Підсумовуючи наведені вище факти та інформацію можна зробити такі висновки:

- робота є актуальною та закінченою і відповідає паспорту спеціальності;
- об'єм інформації та її зміст відповідають вимогам ДАК України до кандидатських дисертацій; обсяг дисертації навіть завеликий.
- наукові положення та висновки є обґрунтованими;
- одержані наукові результати є достовірними та містять наукову новизну;
- опубліковані по темі дисертації праці достатньо повно відображають її зміст, апробація роботи є достатньою;
- текст автореферату відповідає основному змісту дисертації, суттєвих розбіжностей не виявлено.

### **3. Практична значимість дисертації та відомості про впровадження результатів**

Одержані при виконанні дослідження результати дають можливість ефективно використовувати паливно-енергетичні ресурси при застосуванні системи утилізації теплоти відпрацьованих газів з термотрансформацією теплоти. Достовірність нового підходу до трансформації енергетичних потоків в процесі контактнорекуперативного нагріву води відпрацьованими газами, що використовуються в якості вторинного низькотемпературного джерела енергії для промислового теплопостачання, підтверджена автором аналітично.

Розроблені рекомендації передані до впровадження в ПП «Куліндорівський індустріальний концерн», м. Одеса та в ТОВ «Кераміт» для експлуатації та реконструкції обертових печей.

Результати наукових досліджень та висновків дисертаційної роботи здобувача в сукупності забезпечують розв'язання важливої прикладної проблеми - створення енергозберігаючої технології та системи теплопостачання на основі спільного використання контактнорекуперативної і термотрансформаторної утилізації теплоти відпрацьованих газів обертових печей для підвищення ефективності відбору та утилізації енергії в процесі виробництва будівельних матеріалів для

промислового та комунально-побутового теплопостачання з поліпшенням екологічних показників повітряного басейну.

#### **4. Зауваження по дисертаційній роботі і автореферату**

Зауваження щодо змісту і оформлення дисертаційної роботи:

1. В п.1.4.3 мова йде скоріше про системи теплогенерації, а не про взагалі теплопостачання. Та й запропонована схема достатньо ексклюзивна. Дуже вільна трактовка автором використовуваних термінів в п. 2.2.2 та 2.2.3. Що таке стаття витрати теплової енергії, стаття надходжень теплової енергії? Який вплив запиленості газового потоку на теплообмін? Яка ефективність теплообміну при тривалій експлуатації??
2. Прямим чином про концепцію роботи та її загальну методику в розділі 2 мова не йде. І взагалі яка доцільність цього розділу??? Концепція роботи фактично викладена в п.3.1. і п.3.2. На наш погляд в розділі 2 викладено тривіальні формули і прості енергетичні баланси та поняття, все це загально відоме широкому загалу.
3. Поняття енергетичної ефективності утилізації теплоти в п.2.5 сумнівне.
4. Є протиріччя між температурними вимогами промислового теплопостачання і реаліями теплонасосних і утилізаційних систем . Скоріш за все результати роботи найбільше підходять для підігріву вентиляційного повітря та для низькотемпературного опалення. Але наскільки це поширено в промисловості будівельних матеріалів?
5. Дивує надто низька температура виходу відпрацьованих газів із димової труби в 20...25 град. Цельсія
6. Не вказано, на який температурний рівень нормуються величини температурних перепадів, що входять в вираз 3.16.
7. Не ясно, із яких теплофізичних позицій вибирався показник в формулі 3.19, а також коефіцієнт в формулі 3.15?
8. Із матеріалів розділу слідує, що запропонована система є ефективною для умов, коли потреби в ГВП перевищують потреби в опаленні, а це справедливо лише для літнього періоду. Однак при цьому зменшується коефіцієнт трансформації. Тому, очевидно, існує якийсь оптимальний варіант технологічної доцільності по потребі ГВП і по досягненню високого COP ТН, який бажано було б встановити.
9. Запропоновані автором при розрахунках діапазони зміни параметрів не кореспондують з практикою теплоенергетики. На наш погляд діапазон реальних значень наступний:  $\beta = 2...3$  і більше;  $\theta = 0,8...0,9$ , в іншому разі неекономна перевитрата води; значення коефіцієнту  $a$  потрібно обґрунтувати реальними режимними витратами газу та води при практичній експлуатації всієї системи;  $t_{и,к}$  надто мала, бажано більше температури мокрого термометра; по коефіцієнту  $j$  потрібні обґрунтовані розрахунки, скоріш за все значення коефіцієнту занижене;  $m$  -

занижене;  $\mu$  – занижене. В результаті графік 3,5 і інші побудовані для параметрів, реалістичність яких потрібно ретельно довести.

10. Якщо запропонована схема на рис. 4.1 переважно працює в літній період, то який сенс йти на додаткові витрати і встановлювати теплообмінник 8. Адже промерзання димової труби влітку неможливе. Тому текст роботи внизу на стор. 145 є дивним, а, можливо, і недоцільним.

11. В формулі 4.13 автор путає поняття теплоти і теплового потоку.

12. Зазначимо, що результати, що наведені на рис. 4.3 вказують на більш високі витрати газу в порівнянні із витратами технічної води. Чи відповідає це дійсності в промисловості виробництва цементу або керамзиту? Тоді які умови виробництва є більш реалістичними, ті, для яких побудований графік 3.5 чи графік 4.3?

13. Взагалі необхідність модернізації схеми 3.1 і її трансформацію в схему 4.1 ґрунтовно не доведена, бо невідомі реальні показники параметру  $a$ , що реалізуються на практиці як виробництва будівельних матеріалів і одночасно відповідають вимогам промислової та комунальної теплоенергетики (для опалення, ГВП та вентиляції). Тому наявність матеріалів розділу 4 потребує більш ґрунтовних фізичних пояснень та підтверджень практикою (промисловістю).

14. Чому на рис. 5.3 розрахунки температур проведені не при експериментально отриманих значеннях COP.

15. Чому ніде в роботі не обговорюється той факт, що в формулах типу 3.63 або 4.57 багато параметрів, значення яких достеменно не встановлено або не обґрунтовано, а відтак є ймовірність того, що можна отримати різні значення COP при довільній варіації параметрів, вказаних в розділі 3.

16. Вклад теплонасосної складової утилізованої теплоти сягає для двох варіантів всієї системи утилізації, а саме базового - до 71%, а модернізованого – до 45%, що є досить високими показниками, а тому викликає певний подив. Відомо, що пряма класична утилізація теплоти димових відхідних газів (контактна чи рекуперативна, традиційна чи конденсаційна) є найбільш ефективною з точки зору теплоенергетики, економіки та екології. Отримані автором результати потребують змістовного пояснення, чи це специфіка будівельного виробництва, чи це умовно низький температурний потенціал відхідних димових газів, чи щось інше.

17. Загальний висновок №3 спірний, оцінка енергетичної ефективності всієї схеми системи утилізації визначається не лише коефіцієнтом трансформації ТН і далеко не ним, а ретельним врахуванням всіх без винятку утилізаційних (контактних, рекуперативних, регенеративних, теплонасосних) ефектів. Ми розуміємо, що родзинка роботи - це застосування теплонасосних технологій, однак не потрібно перебільшувати їх значимість, бо це шкодить розвитку ТН в Україні, а, не будучи промислово підтвердженим, навіть дискредитує теплові насоси.

## 5. Висновки про відповідність дисертації вимогам "Порядку присудження наукових ступенів" ДАК України

Розглянувши зміст дисертаційної роботи, анотації дисертації та деякі публікації за темою дисертації можна зробити висновок, що дисертація Полуніна Юрія Миколайовича «Енергоефективне теплопостачання на основі контактної-рекуперативної термотрансформувальної енергії відпрацьованих газів обертових печей» є самостійною закінченою науковою працею, яка висвітлює певний практичний аспект у вирішенні практичних проблем створення ефективного теплопостачання на основі утилізації теплоти відпрацьованих газів обертових печей.

Зазначені зауваження не звинувачують, заперечують позитивного враження від дисертаційної роботи, актуальність її безумовна і заслуговує позитивної оцінки. Дисертація є кваліфікаційною роботою, яка представляє собою вирішення певної задачі утилізації теплоти відпрацьованих газів обертових печей виробничого будовельних матеріалів.

Дисертаційна робота відповідає «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., та іншим актам Міністерства освіти і науки України щодо кваліфікаційних дисертацій, вона містить наукові результати та положення, які раніше не захищалися.

Автор дисертації Полунін Юрій Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – "Технічна термодинаміка та промислова теплов енергетика".

Офіційний оцінювач:

доктор технічних наук,

професор, член-кореспондент НАН України,

зав. відділом теплофізичних основ енергоощадних технологій,

Інституту технічної термодинаміки НАН України

  
В.І. Голівак

19.08.2017 р.

(м. Київ) (Е-пошта) 2017 р.



Одержано 9.02.2017

Вчений секретар

 МІЛОВАНОВ В.І.