

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Сенецького О. В. «Науково-методологічні основи енергозбереження на базі турбоустановок малої потужності при утилізації вторинних енергетичних ресурсів», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.16 – турбомашини та турбоустановки

1. Актуальність обраної теми, її зв'язок з науковими державними й галузевими програмами.

Ефективний розвиток конкурентоспроможності підприємств різних галузей економіки та підвищення соціальних норм життя населення до світових стандартів можна забезпечити за рахунок підвищення ефективності використання первинних енергоносіїв. Ефективне використання паливно-енергетичних ресурсів, скорочення споживання та експорту нафти, заощадливе використання теплової та електричної енергії підприємствами різних галузей економіки України дозволять позитивно вирішити проблему енергозбереження.

Суттєвий потенціал впровадження енергозберігаючих технологій мають об'єкти з використанням вторинних енергетичних ресурсів, які поділяються на теплові, паливні та надлишкового тиску з потенціалом для реалізації турбінних циклів на низькокиплячих робочих тілах з урахуванням фактичних режимів роботи вихідного устаткування. Насьогодні немає структурованого підходу до вирішення проблеми енергозбереження при утилізації вторинних енергетичних ресурсів для виробництва теплової та електричної енергії. Це вказує на перспективи реалізації турбінних циклів на низькокиплячих робочих тілах і потребує спеціального дослідження. Реалізація установок з низькокиплячими робочими тілами на промислових об'єктах скидної теплоти дозволить виробляти електричну енергію без додаткового спалювання палива. Тому аналіз і узагальнення існуючих і створення сучасного науково обґрунтованого комплексного методологічного підходу до утилізації вторинних енергетичних ресурсів з використанням турбінних циклів на низькокиплячих робочих тілах є актуальним.

Децентралізація енергопостачання є прогресивним підходом до енергозабезпечення та дозволяє скоротити витрати на транспортування теплової та електричної енергії. Реалізується такий підхід шляхом створення та впровадження турбінних циклів на низькокиплячих робочих тілах, що є актуальним і для України, яка має значний потенціал відновлювальних паливних ресурсів.

З точки зору потенціалу впровадження енергозберігаючих рішень важливою є також газотранспортна система України. Газорозподільні станції та газорозподільні пункти мають значний потенціал реалізації турбінних установок, що дозволить замінити процес дроселювання природного газу на процес розширення у турбіні та виробляти електричну енергію. Такий підхід реалізується шляхом часткового спалювання паливних ресурсів, але сучасна стратегія розвитку України передбачає мінімізацію використання природного газу у технологічних процесах. Тому, розв'язання задачі генерації електроенергії з реалізацією розширювальних машин на газорозподільних станціях та газорозподільних пунктах без використання палива є актуальною.

Зважаючи на вищевикладене, тематика докторської дисертаційної роботи є актуальною та присвячені вирішенню важливої науково-технічної проблеми отримання енергії високої якості (електричної) шляхом утилізації вторинних енергетичних ресурсів на основі впровадження турбінних циклів на різних робочих тілах.

Свідченням актуальності розглянутої дисертаційної роботи є її виконання з узагальненням наукових результатів, отриманих автором за період з 2012 року по 2020 рік як виконавця науково-дослідних робіт за плановими бюджетними темами і господарськими договорами Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова та відділу оптимізації процесів і конструкцій турбомашин

Інституту проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, у яких автор був відповідальним виконавцем та автором окремих розділів:

- «Енергозбереження шляхом реалізації енергетичних установок малої потужності на низькокиплячих робочих тілах» (№ ДР 0113U005463);
- «Розробка аеродинамічних, режимних та конструктивних заходів з подовження ресурсу останніх ступенів енергетичних парових турбін, що працюють в зоні вологої пари» (№ ДР 0113U005011);
- «Енергозбереження при доцільному використанні турбодетандерів на вузлах редукування газу з урахуванням змінних режимів експлуатації» (№ ДР 0115U001721);
- «Розробка когенераційних установок малої потужності, що працюють на низькокиплячих робочих тілах» (№ ДР 0114U001442);
- «Термогазодинамічні основи, засоби і технології створення новітнього та модернізації діючого енергетичного обладнання» (№ ДР 0112U002489);
- «Удосконалення робочих процесів та конструкцій частин низького тиску енергетичних турбін при різних режимах експлуатації» (№ ДР 0117U000874);
- «Усовершенствование когенерационной тепловой схемы путем реализации второго каскада с использованием турбин на НРТ для эксплуатации в летний период» (госпрозрахунковий договір, 2013 р.);
- «Дослідження можливості застосування та вибір найбільш енергоефективних когенераційних технологій на районних котельнях комунального підприємства «Харківські теплові мережі» на підставі техніко-економічних обґрунтувань» (госпрозрахунковий договір, 2014 р.);
- «Разработка и формирование проточной части паровой привключенной турбины с производственным отбором типа Т-3.3/5.5-0.5/0.22/0.01» (госпрозрахунковий договір, 2015 р.);
- «Расчет и выбор теплообменного оборудования утилизационной турбоустановки, работающей на органическом рабочем теле» (госпрозрахунковий договір, 2015 р.).

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації.

Дисертаційна робота Сенецького О. В. «Науково-методологічні основи енергозбереження на базі турбоустановок малої потужності при утилізації вторинних енергетичних ресурсів», обсяг якої 406 сторінок, складається зі вступу, основної частини з п'яти розділів, загальних висновків по роботі, списку використаних джерел із 310 найменувань та п'яти додатків. Дисертація містить 65 таблиць та 120 рисунків.

Мета дисертаційної роботи визначена чітко, відображає науковий підхід до проблеми і орієнтована на вдосконалення існуючих підходів до енергозбереження при утилізації вторинних енергетичних ресурсів. Завдання дослідження відповідають меті, висвітлюють складові її досягнення.

У вступній частині обґрунтована актуальність теми дисертаційного дослідження, визначено об'єкт дослідження, цільові характеристики, що підлягають розробці та аналізу.

Перший розділ присвячено аналізу літературних джерел та існуючих підходів щодо використання вторинних енергетичних ресурсів для виробництва теплової та електричної енергії. Наводиться існуючий підхід до класифікації вторинних енергетичних ресурсів та сучасні тенденції використання первинних енергоносіїв з точки зору виробництва електричної енергії. Аналіз показав, що саме напрям утилізації вторинних енергетичних ресурсів є перспективним та потребує впровадження нових технічних рішень, одним з яких є реалізація турбінних циклів на низькокиплячих робочих тілах.

У роботі показано, що одним з напрямків енергозбереження, вдосконалення та розвитку енергопостачання може розглядатися розширення використання паливних вторинних енергетичних ресурсів, а також теплоти та надлишкового тиску різних

технологічних процесів, що безповоротно втрачається. Проведено аналіз можливих технічних рішень для підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів стосовно об'єктів, що мають у своєму складі скидну теплоту технологічних процесів та оцінено їх потенціал з точки зору використання турбінних циклів.

Виконаний глибокий аналіз літературних джерел показав, що існуючі підходи до використання вторинних енергетичних ресурсів при реалізації турбінних циклів є недостатньо коректними та повними. Вони потребують узагальнення та прив'язки до реальних об'єктів з урахування їх режимів експлуатації.

Попередній аналіз показав, що значний потенціал впровадження енергозберігаючих заходів має газотранспортна система України, а саме заміна процесу дроселювання природного газу на процес його розширення в проточній частині турбіни. Показано, що основним недоліком такого підходу є необхідність підігріву природного газу шляхом часткового спалювання паливних ресурсів.

Кінцевим результатом першого розділу є сформульована мета і завдання дослідження для подальших наукових досліджень з точки зору формування наукових основ зі створення високоефективних турбінних циклів на різних робочих тілах, що дозволяють забезпечити високоефективні заходи з енергозбереження при утилізації вторинних енергетичних ресурсів.

Другий розділ ґрунтується на засадах формування науково обґрунтованої методології вибору низькокипячих робочих тіл і теплових схем турбінних циклів, в залежності від потенціалу вторинних енергетичних ресурсів.

Для досягнення глобальної мети енергозбереження автором побудовано та запропоновано ієрархічну структуру комплексного науково-методологічного підходу розв'язання задачі підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на основі утилізації вторинних енергетичних ресурсів, що включає у себе певну послідовність аналізу та розрахунку існуючих об'єктів, вибору та рекомендацій щодо впровадження можливих енергозберігаючих технічних рішень. На кожному етапі розв'язується задача пошуку локальної мети на основі існуючого метода Парето, що є доцільним та базується на принципах не лише пошуку оптимального рішення шляхом моделювання, але і на експертній оцінці.

Виконано комплексний аналіз існуючих підходів до вибору робочих тіл та сформульовано критерії, яким вони повинні відповідати. На підставі аналізу літературних джерел та наявного досвіду обрано рівняння стану, що дозволяє визначати властивості робочих тіл при розрахунку теплових схем та їх основних складових елементів.

У розділі наводяться особливості формування теплових схем енергогенеруючих установок і можливі технічні рішення з точки зору отримання максимальної термодинамічної ефективності.

Детальний опис математичної моделі побудови теплових схем показує, що її розрахунок полягає у розв'язанні системи рівнянь, за допомогою яких описуються фізичні процеси в елементах схеми, а також термодинамічний стан теплоносіїв. В реалізованій моделі передбачається спосіб внутрішнього опису у вигляді інформаційної моделі, що базується на складових об'єктах. В основі інформаційної моделі лежить структурний опис енергоустановки як суми компонент та зв'язків між ними. Особливістю моделі є внесений опис термодинамічних властивостей різних робочих тіл, що дозволяє на базі існуючого опису теплових схем виконувати розрахункові дослідження.

Представлено загальні підходи до проведення розрахункових досліджень основних складових теплових схем енергетичних установок (турбіна, теплообмінник). Наведено підходи до побудови проточних частин турбін при їх розрахунку як в одновимірній, так і у тривимірній постановці. Наведено загальні підходи до побудови теплообмінного устаткування. Особливістю запропонованого підходу є те, що для проведення розрахункових досліджень з визначення характеристик теплообмінників на різних робочих тілах розроблено програмний продукт, який дозволяє оцінювати габаритні

розміри теплообмінного обладнання теплової схеми і підбирати його з існуючих (розроблених) типів теплообмінників нафтогазової (хімічної) промисловості. Таке рішення дає можливість знизити терміни виготовлення та витрати на проектування нових теплообмінників. За базу беруться технічні умови виробників.

Третій розділ присвячено апробації побудованого науково-методологічного підходу вирішення задачі підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів на основі утилізації відновлювальних паливних ресурсів. Запропоновано вдосконалення існуючої теплової схеми когенераційної установки шляхом реалізації другого каскаду та забезпечення її роботи на протязі усього року як у конденсаційному режимі, так і з наявністю споживачів гарячої води. На основі використання класифікації вибору робочих тіл, обрано низку низькокиплячих робочих тіл. Із врахуванням термодинамічних властивостей робочих тіл та використанням вдосконалених та адаптованих математичних моделей проведено розрахункові дослідження з побудови теплової схеми та визначення геометричних характеристик її основних складових елементів.

Запропоновано нове технічне рішення, що дозволить експлуатувати вихідну енергетичну установку на протязі усього року на номінальному електричному навантаженні. Оцінено найбільш раціональні режими роботи термодинамічного циклу. Визначено економічну доцільність реалізації проекту такого типу. Наведено діапазон потужностей для економічно доцільного впровадження таких установок.

У четвертому розділі розв'язується задача підвищення ефективності використання паливних ресурсів на об'єктах комунальної енергетики шляхом утилізації теплоти відхідних газів котельних агрегатів за рахунок реалізації турбінних циклів на низькокиплячих робочих тілах. На основі проведеного аналізу режимних карт та зміни теплового навантаження на протязі року котельних агрегатів котельні, розташовані на території м. Харкова, виконано оцінки з можливої реалізації органічного циклу Ренкіна. Аналізувались наявні вторинні енергетичні ресурси, формувалась тепла схема, обирались робоче тіло, проводились розрахункові дослідження теплової схем, оцінки техніко-економічної доцільності реалізації проекту та інше. Автором проведено значну роботу, результати якої дозволили вперше отримати раціональну теплову схему та економічні режими експлуатації енергогенеруючого устаткування з урахуванням фактичних режимів роботи котельні та з економією природного газу.

П'ятий розділ розкриває питання реалізації утилізаційних турбодетандерних установок на об'єктах редукування природного газу газотранспортної системи України, що дозволить виробляти електричну енергію за рахунок зниження тиску газу перед подачею його до магістралі низького тиску. Розповсюдженим рішенням для недопущення зниження температури нижче нуля градусів за Цельсієм є підігрів газу, що транспортується, шляхом спалювання паливних ресурсів. Автором вперше пропонується реалізувати паралельну роботу утилізаційної турбодетандерної установки та повітряної кліматичної системи, що дозволить підігрівати природний газ без додаткового спалювання палива. Теплова схема, що пропонується автором, дозволяє виробляти теплову та електричну енергію для забезпечення потреб споживачів.

Також у розділі здобувачем запропоновано впровадження осьових турбодетандерів з проміжними відборами природного газу до споживачів різного тиску. Шляхом проведення розрахункових досліджень визначено геометричні характеристики проточної частини турбодетандера в одновимірній та тривимірній постановці. Визначено ефективність роботи проточної частини при номінальному та частковому навантаженні.

В цілому розглянута та проаналізована дисертаційна робота Сенецького О. В. є завершеною науково-дослідною працею, що спрямована на вирішення актуальної проблеми підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів при використанні вторинних енергетичних ресурсів у різних галузях економіки. Мета та задачі, що поставлені у дисертаційній роботі вирішені у повному обсязі. Актуальність та

практична цінність роботи підтверджуються актами використаних результатів, які розповсюджуються як на територію України, та і за її межі при утилізації теплових, паливних ВЕР та ВЕР надлишкового тиску.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації базується:

- на аналізі літературних джерел по даній проблемі, на коректній постановці мети і задач дослідження;
- на правильному формулюванні отриманих висновків. Викладені у дисертаційній роботі наукові положення, обґрунтовані висновки і надані рекомендації є наслідком кваліфікованих наукових досліджень, що проведені автором при виконанні завдань, які сформульовані в роботі;
- на використанні сучасних методів дослідження, програмних продуктів та математичного апарату;
- на співставленні отриманих результатів з результатами інших дослідників;
- на загальноприйнятих допущеннях і обмеженнях, що є досить правомірними та забезпечують повторювальність результатів з достатньою точністю;
- на узагальненні існуючих рішень щодо вирішення проблеми енергозбереження шляхом побудови певної послідовності прийняття рішень (ієрархічної структури). У дисертаційній роботі обґрунтовано доцільність врахування фактичних режимів експлуатації вихідного устаткування при утилізації ВЕР при реалізації турбінних циклів, що дасть можливість більш раціонально використовувати паливно-енергетичні ресурси.

3. Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, наукова новизна результатів дослідження.

Достовірність отриманих наукових результатів роботи забезпечувалась коректним застосуванням математичного апарату для вирішення поставлених наукових задач та підтверджувалась узгодженням результатів розрахункових досліджень з результатами експериментальних досліджень та досліджень інших авторів, виконаних за апробованими методиками. Теоретичні положення дисертації базуються на основних фізичних та термодинамічних властивостях робочих тіл; на термодинамічних циклах енергогенеруючих установок та їх складових елементів; методах 3D розрахунків руху робочих тіл у просторі теплообмінного та турбінного обладнання.

Наукова новизна отриманих результатів та висновків полягає в тому, що вирішено важливу науково-технічну проблему, що пов'язана з підвищенням ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів шляхом утилізації ВЕР при використанні турбоустановок малої потужності на різних робочих тілах та розроблено комплексний науково-методологічний підхід до розв'язання поставленої задачі. До нових наукових результатів можна віднести таке:

- вперше розглянуто та створено комплексні науково-методологічні основи енергозбереження на базі турбоустановок малої потужності при утилізації ВЕР з використанням турбінних циклів на різних робочих тілах;
- вперше сформульовано та розв'язано багатокритеріальну задачу з вибору низькокиплячих робочих тіл для замкнених паротурбінних циклів з урахуванням зовнішніх та внутрішніх обмежень;
- отримала подальший розвиток математична модель теплових схем паротурбінних установок за рахунок врахування термо- й газодинамічних характеристик низькокиплячих робочих тіл, що забезпечує моделювання термодинамічних циклів на НРТ з суттєво змінними режимами навантаження в залежності від часу доби та пори року;
- теоретично обґрунтовано доцільність впровадження утилізаційних енергоефективних турбінних циклів на об'єктах комунальної енергетики на базі корисного використання теплоти відхідних газів котельних агрегатів;

– вперше для ГРС та ГРП запропоновано та науково обґрунтовано використання надлишкового тиску природного газу для виробництва електричної енергії за умови спільної роботи УТДУ та ПКС з урахуванням зміни кліматичних умов протягом року.

4. Рекомендації з використання та практична значимість отриманих результатів дослідження.

Практична значимість отриманих результатів дослідження полягає в тому, що розроблено методи та створено на їх основі алгоритми, що дозволяють виконувати розрахункові дослідження теплових схем різних конфігурацій та їх складових елементів з урахуванням термо- і газодинамічних характеристик різних робочих тіл.

Надано рекомендації щодо впровадження енергоустановок, які засновані на використанні ОРЦ для вироблення електричної енергії на базі утилізації теплоти вихідних газів теплогенеруючих об'єктів комунальної енергетики. Це дало можливість більш раціонально використовувати теплоту палива, що спалюється.

Запропоновано удосконалені підходи щодо реалізації УТДУ на ГРС та ГРП, що дозволяє виробляти електричну та теплову енергію при мінімальному або зовсім без спалювання палива.

Одержані в дисертаційній роботі результати досліджень передані для використання у КП «Харківські теплові мережі», ПАТ «Харківська ТЕЦ-5», ПАТ «Турбогаз»,

Основні результати досліджень використовуються при виконанні науково-дослідних робіт у відділі оптимізації процесів і конструкції турбомашин Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України та проведенні учбового процесу кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова й кафедри теплоенергетики і енергозберігаючих технологій Української інженерно-педагогічної академії.

5. Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях

В опублікованих працях здобувача достатньо повно викладені основні результати теоретичних та експериментальних досліджень дисертаційної роботи. Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 41 друкованій праці, з них 2 монографії, 19 статей у спеціалізованих фахових виданнях України, 1 стаття – у науковому виданні за кордоном, 1 стаття – у науковому виданні, що входить до бази даних SCOPUS, 1 стаття – у науковому виданні, що входить до бази даних Web of Science, 1 стаття – у науковому виданні, що включено до категорії "А" Переліку наукових фахових видань України, 2 патенти України, 14 – матеріали конференцій.

Основні теоретичні положення, результати та висновки наукового дослідження доповідались автором, обговорювались та отримали позитивну оцінку на наукових форумах: Міжнародній науково-технічній конференції «Удосконалювання турбоустановок методами математичного і фізичного моделювання» (2012 р., 2015 р., ІПМаш НАН України, м. Харків), Міжнародній науково-технічній конференції «Удосконалювання енергоустановок методами математичного і фізичного моделювання» (2017 р., ІПМаш НАН України, м. Харків), Конференції молодих вчених та спеціалістів «Сучасні проблеми машинобудування» (2012 – 2019 рр., ІПМаш НАН України, м. Харків), Международной научно-практической конференции «Инновационные пути модернизации базовых отраслей промышленности, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей природной среды» (2013 р., 2014 р., ГП УкрНТЦ «ЭНЕРГОСТАЛЬ», м. Харків), Международной научно-технической конференции «Современные проблемы электроэнергетики. Алтай-2013» (2013 р., АлтГТУ, м. Барнаул), Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве» (2014 р., ГНУ ВИЭСХ, м. Москва), «11th International Conference of Young Scientists on

Energy Issues» (2014 р., Lithuanian Energy Institute, Литва, м. Каунас), Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (2014 р., ХНТУСГ імені Петра Василенка, м. Харків), Международной научно-технической конференции «Проблемы энергосбережения и пути их решения» (2015 р., 2016 р., НТУ «ХПИ», м. Харків), Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Новітні технології в електроенергетиці» (2012 р., 2015 р., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, м. Харків), «XXI-міжнародному конгресі двигунобудівників» (2016 р., Нац. аерокосмічний ун-т «ХАІ», м. Харків), Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» (2016 р., Нац. аерокосмічний ун-т «ХАІ», м. Харків), Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених «Проблеми енергоресурсозбереження у промисловому регіоні. Наука і практика» (2017 р., Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь).

Рівень та кількість публікацій, а також апробація матеріалів дисертаційної роботи на міжнародних наукових та науково-технічних конференціях відповідають вимогам, що пред'являються до докторських дисертацій атестаційною колегією Міністерства освіти і науки України.

Дисертація і автореферат написані відповідно до вимог к науково-технічним текстам. Автореферат і висновки повністю відповідають основному змісту роботи.

6. Дискусійні положення та зауваження по дисертаційній роботі і автореферату.

1. Перший розділі дещо перевантажений загальними положеннями термодинаміки циклів та описами відомих теплових схем енергоустановок.

2. У другому розділі при описі комплексного аналізу існуючих підходів до вибору робочих тіл декларується необхідність визначення фізичних властивостей низькокиплячих робочих тіл максимально точно. З тексту дисертаційної роботи не зрозуміло які критерії або похибки прийняті в якості визначення достатньої точності та як ці величини вплинуть на подальші розрахунки теплових схем. Крім того, не наведена верифікація застосованих рівнянь з даними експериментальних досліджень або даними інших авторів.

3. При розгляді методології формування та розрахунку теплових схем теплоенергетичних установок не пояснено, яким чином відбувається визначення достовірності отриманих за цією методологією результатів та які параметри визначають кінцеву точку розв'язання задачі енерго- та ресурсозбереження при впровадженні турбінних циклів і є вирішальними.

4. У другому розділі твердження про те, що при постановці багатокритеріальної задачі у техніко-економічній моделі міні-ТЕЦ з ORC контуром (п.2.4.2.) метою є отримання максимального прибутку при мінімальних капітальних вкладеннях потребує додаткових роз'яснень. Відомо, що мінімальні капітальні вкладення не можуть в повній мірі визначити ефективність впровадження енергетичного об'єкту. Необхідно розглядати загальні приведені затрати з урахуванням експлуатаційних витрат. Тим більше спірним є твердження про вибір параметром ефективності електричної потужності турбіни.

При формулюванні техніко-економічної моделі використання ВЕР з ORC контуром (п.2.4.3) твердження про те, що основним критерієм оцінки економічної ефективності використання ВЕР є значення терміну окупності впроваджуваних енергозберігаючих заходів, є не зрозумілим. Термін окупності впроваджується разом з терміном служби в якості критеріїв оцінки економічної ефективності.

5. У третьому розділі загально прийнятий термін відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) замінений терміном поновлювані джерела енергії (ПДЕ), що потребує пояснень.

Відомо, що значення ККД при роботі на теплофікацію вище ніж при роботі в конденсаційному режимі за рахунок зменшення втрати теплоти у холодному джерелі. Потребують пояснень значення сумарного електричного ККД двох контурів при роботі в літній період другого каскаду з різними НРТ на гаряче водопостачання (таб.3.11) в

середньому 20 % менше ніж ККД при роботі другого каскаду в літній період з різними НРТ на конденсатор (таб.3.12) в середньому 25 %.

6. У четвертому розділі при розрахунку теплової схеми ORC контуру (таб.4.6) ККД проточної частини турбіни складає 80 %. Чим пояснити низьке значення електричного ККД ORC циклу в залежності від ступеня завантаженості котла (рис.4.1) на рівні 7-14 % в залежності від температури димових газів на рівні 90-150 °С.

7. У п'ятому розділі при описі спрощеної схеми турбодетандера з повітряною кліматичною системою для роботи на газорозподільчій станції у режимі охолодження приміщення (рис.5.14.) доцільно було б навести опис всіх елементів схеми. Аналогічне зауваження слід віднести до рис.5.16. Також не потрібно повторювати рисунки (рис.5.19. Схеми відцентрового (а) та доцентрового (б) турбодетандерів; радіального турбодетандера: 1 – направляючий апарат; 2 – робоче колесо та рис.2.8. Схеми доцентрового (а), відцентрового (б) і осьового (в) типу турбін: 1 – направляючий апарат; 2 – робоче колесо), необхідно було у розділі 5 полатися на рис.2.8).

Зроблені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи, яка є завершеним науково-практичним дослідженням. Зміст автореферату повністю відображає основні положення дисертації.

7. Висновок про відповідність дисертаційної роботи вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. (зі змінами).

В цілому можна констатувати, що рецензована робота є закінченим науковим дослідженням, в якому отримані нові науково обґрунтовані результати, які є важливими для розвитку енергозберігаючих технологій на основі впровадження турбінних циклів. Дисертаційна робота по змісту відповідає паспорту спеціальності 05.05.16 – турбомашини і турбоустановки. Дисертаційна робота і автореферат оформлені з дотриманням вимог, встановлених МОН до дисертації.

Зважаючи на актуальність теми досліджень, ступінь обґрунтованості наукових результатів дисертаційної роботи, новизну та повноту викладу результатів в опублікованих працях автора, вважаю, що дисертація «Науково-методологічні основи енергозбереження на базі турбоустановок малої потужності при утилізації вторинних енергетичних ресурсів» відповідає вимогам п.п. 9, 10 і 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, що ставляться до докторських дисертацій, а її автор, Сенецький Олександр Володимирович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.16 – турбомашини і турбоустановки.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
в. о. завідувача кафедри теплоенергетичних
установок теплових та атомних електростанцій
Національного технічного
університету України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Підпис д.т.н., проф. Черноусенко О.Ю. засвідчую
Вчений секретар
Національного технічного університету
України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»



Валерія ХОЛЯВКО