

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Інституту енергетичних машин і систем
ім. А. М. Підгорного НАН України
д.т.н., проф. Кирилу Максименку-Шейку,
вул. Комунальників, 2/10, м. Харків, 61046

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, старшого наукового співробітника відділу термогазодинаміки енергетичних машин, кандидата технічних наук, старшого дослідника Зіпуннікова Миколи Миколайовича на дисертаційну роботу Мазура Андрія Олександровича «Теоретичне обґрунтування заходів з раціональної модернізації теплових електростанцій із застосуванням еколого-термoeкономічного аналізу», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 – Теплоенергетика

Актуальність теми.

Необхідність модернізації теплових електростанцій України зумовлена значним фізичним зношенням основного обладнання, зниженням його економічності та невідповідністю сучасним екологічним вимогам. В умовах обмежених інвестиційних ресурсів особливого значення набувають технічні рішення, які забезпечують підвищення ефективності енергетичних установок без повної заміни існуючого обладнання та докорінної перебудови станційної інфраструктури.

Вибір раціонального варіанта модернізації є складною багатокритеріальною задачею. Підвищення ефективності установки не завжди означає економічну доцільність її реконструкції, оскільки необхідно враховувати капітальні витрати, конструктивну складність впровадження нового обладнання, екологічні наслідки та умови подальшої експлуатації енергетичного об'єкта. Тому застосування лише традиційного енергетичного аналізу є недостатнім для обґрунтованого вибору структури модернізації.

Дисертаційна робота Мазура Андрія Олександровича присвячена розробленню комплексного підходу до оцінювання та вибору заходів з модернізації теплових електростанцій. У роботі поєднано методи енергетичного, ексергетичного, економічного й екологічного аналізу, а також враховано структурну складність реалізації запропонованих технічних рішень. Така постановка задачі відповідає сучасним тенденціям розвитку термoeкономіки та дозволяє оцінювати модернізаційні заходи не за одним показником, а за сукупністю взаємопов'язаних критеріїв.

Важливим є те, що теоретичні положення роботи застосовано до аналізу конкретних теплоенергетичних установок. Автором досліджено комбіновані

парогазові схеми, виконано енергетичний та ексергетичний аналіз теплофікаційної паротурбінної установки ТЕЦ-3, а також розглянуто варіанти її структурної модернізації. Це забезпечує практичну спрямованість дослідження та підтверджує можливість використання запропонованих методів при реконструкції діючих ТЕС і ТЕЦ.

Окремої уваги заслуговує врахування екологічної складової при термoeкономічній оптимізації. Використання вартості викидів вуглекислого газу як одного з факторів вибору технічного рішення дозволяє оцінювати перспективність модернізації з урахуванням посилення екологічних обмежень та зміни умов функціонування енергетичних підприємств.

Таким чином, тема дисертаційної роботи є актуальною як у науковому, так і в практичному аспектах. Вона спрямована на вирішення важливого завдання – створення методичних засад вибору раціональних варіантів модернізації теплових електростанцій з урахуванням їх термодинамічної ефективності, економічної доцільності, екологічних характеристик і складності практичної реалізації.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.

Наукові положення, висновки та рекомендації, що наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими та логічно впливають із поставленої мети й результатів виконаних досліджень.

Обґрунтованість результатів забезпечується послідовним застосуванням методів прикладної термодинаміки, енергетичного, економічного та екологічного аналізу. Автор не обмежується оцінюванням окремих показників ефективності, а розглядає модернізацію теплових схем як комплексну задачу, у якій взаємопов'язані термодинамічні характеристики, вартість обладнання, витрати паливно-енергетичних ресурсів та екологічні показники.

Поставлені в роботі завдання відповідають меті дослідження і вирішуються послідовно. Спочатку автор аналізує існуючі підходи до модернізації теплових електростанцій, далі формує методичну основу вибору раціональної структури теплової схеми, виконує розрахункове дослідження конкретних енергетичних установок, після чого узагальнює отримані результати у вигляді методу структурно-варіантної термoeкономічної оптимізації.

Використані математичні моделі базуються на відомих рівняннях енергетичного та ексергетичного балансів, співвідношеннях для визначення техніко-економічних показників і загальноприйнятих методах оцінювання ефективності теплоенергетичних систем. Прийняті припущення відповідають

характеру досліджуваних процесів і не суперечать фізичній сутності роботи енергетичного обладнання.

Достатній рівень достовірності забезпечується також порівняльним аналізом кількох варіантів модернізації. Це дозволяє оцінити не лише абсолютні значення розрахованих показників, а й закономірності їх зміни залежно від структури теплової схеми, параметрів обладнання та умов експлуатації.

Перевагою роботи є застосування запропонованих методичних положень до реального теплоенергетичного об'єкта. Аналіз теплофікаційної паротурбінної установки ТЕЦ-3 та розгляд можливих варіантів її модернізації надають результатам прикладного характеру і свідчать про можливість використання розробленого підходу під час технічного обґрунтування реконструкції діючих електростанцій.

Сформульовані в дисертації висновки відповідають змісту проведених досліджень, не виходять за межі отриманих результатів і належним чином узагальнюють основні наукові та практичні здобутки автора.

Загалом ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи слід оцінити як достатній, а отримані результати – як такі, що можуть бути використані для подальших досліджень і практичного вирішення задач модернізації теплових електростанцій.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів, отриманих у дисертаційній роботі, не викликає сумнівів і забезпечується використанням сучасних методів дослідження, що широко застосовуються у теплоенергетиці та термoeкономічному аналізі енергетичних систем.

При виконанні роботи автор застосував комплексний підхід, який включає енергетичний, ексергетичний, економічний та екологічний аналіз. Розрахунки виконані на основі фундаментальних законів технічної термодинаміки, теорії теплових процесів та загальновизнаних методик аналізу теплоенергетичних установок, що забезпечує коректність отриманих результатів.

Достовірність висновків підтверджується тим, що вони ґрунтуються на результатах дослідження реальних теплових схем та охоплюють різні варіанти модернізації енергетичних установок. Проведене порівняння декількох структурних рішень дозволило оцінити їх ефективність за єдиною системою критеріїв та визначити найбільш доцільні напрями вдосконалення.

Важливим підтвердженням достовірності є практична спрямованість дослідження. Запропоновані методичні підходи апробовані під час аналізу

теплофікаційної паротурбінної установки ТЕЦ-3, що свідчить про можливість їх застосування до реальних енергетичних об'єктів.

Отримані результати не суперечать сучасним науковим уявленням щодо підвищення ефективності теплових електростанцій та узгоджуються з результатами досліджень інших вітчизняних і зарубіжних науковців у галузі ексергетичного й термoeкономічного аналізу.

Достовірність результатів також підтверджується їх апробацією на наукових конференціях, достатньою кількістю публікацій у фахових виданнях, у тому числі в журналах, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних, а також логічною узгодженістю всіх етапів проведеного дослідження.

Таким чином, результати дисертаційної роботи є науково обґрунтованими, достовірними та можуть бути використані при подальших дослідженнях і вирішенні практичних завдань модернізації теплоенергетичних установок.

Оцінка наукової новизни дисертаційної роботи

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у вирішенні актуального науково-прикладного завдання щодо підвищення ефективності модернізації теплових електростанцій шляхом розроблення комплексного підходу, який поєднує енергетичні, ексергетичні, економічні, екологічні та конструктивні критерії оцінювання технічних рішень.

До найбільш вагомих наукових результатів, отриманих автором, слід віднести розроблення методу структурно-варіантної термoeкономічної оптимізації теплових схем, який, на відміну від існуючих підходів, враховує не лише техніко-економічні показники, але й структурну складність реалізації модернізаційних заходів. Запропонований підхід дозволяє більш обґрунтовано оцінювати альтернативні варіанти реконструкції теплоенергетичних установок та визначати найбільш ефективні технічні рішення.

Науковий інтерес становить запропонований підхід до вибору структури комбінованих парогазових схем із використанням комплексу взаємопов'язаних критеріїв. Це розширює можливості застосування сучасних методів термoeкономічного аналізу під час проєктування та модернізації енергетичних об'єктів.

Заслужовують на увагу результати ексергетичного дослідження теплофікаційної паротурбінної установки, які дозволили встановити особливості розподілу втрат ексергії між окремими елементами теплової схеми та визначити найбільш ефективні напрями її вдосконалення. Отримані закономірності можуть бути використані при подальшому розвитку методів аналізу та оптимізації теплоенергетичних систем.

Практичний інтерес становить також удосконалення підходу до термoeкономічної оцінки модернізаційних рішень шляхом урахування екологічної складової, зокрема вартості викидів парникових газів. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям розвитку енергетики та сприяє прийняттю більш аргументованих та виважених інженерних рішень.

У цілому наукові результати, отримані здобувачем, є новими, достатньо обґрунтованими та мають як теоретичне, так і практичне значення для подальшого розвитку методів аналізу й модернізації теплових електростанцій. Ступінь наукової новизни дисертаційної роботи відповідає вимогам, що ставляться до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 – Теплоенергетика.

Значення результатів для науки і практичного використання

Результати дисертаційної роботи мають вагоме значення як для розвитку наукових досліджень у галузі теплоенергетики, так і для практичного вирішення завдань модернізації теплових електростанцій.

Наукове значення роботи полягає у подальшому розвитку методичних підходів до комплексного оцінювання ефективності модернізації теплоенергетичних установок. Запропонований автором підхід базується на поєднанні енергетичного, ексергетичного, економічного та екологічного аналізу, що дозволяє більш повно оцінювати переваги й недоліки різних технічних рішень. Це створює підґрунтя для подальшого вдосконалення методів термoeкономічної оптимізації складних енергетичних систем.

Практичне значення дослідження визначається можливістю використання розроблених методичних положень під час реконструкції та технічного переоснащення діючих теплових електростанцій і теплоелектроцентралей. Запропонований метод структурно-варіантної оптимізації дає змогу оцінювати альтернативні варіанти заходів модернізації з урахуванням вартості їх реалізації та їх структурної складності.

Практичний інтерес становлять результати дослідження теплофікаційної паротурбінної установки ТЕЦ-3, які можуть бути використані під час планування реконструкції аналогічних теплоенергетичних об'єктів.

Одержані результати можуть бути використані в діяльності науково-дослідних установ, проєктних організацій, енергогенеруючих підприємств, а також у навчальному процесі закладів вищої освіти при викладанні дисциплін, пов'язаних із теплоенергетикою, технічною термодинамікою, ексергетичним аналізом та проєктуванням енергетичних установок.

Отже, результати дисертаційної роботи мають достатнє наукове та практичне значення, а їх використання сприятиме підвищенню ефективності

модернізації теплових електростанцій і подальшому розвитку сучасних методів аналізу теплоенергетичних систем.

Аналіз змісту та форми дисертації

Дисертаційна робота Мазура Андрія Олександровича побудована логічно, має чітку структуру та складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Послідовність викладення матеріалу відповідає поставленій меті дослідження, а зміст окремих розділів є взаємопов'язаним та логічно завершеним.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету і завдання роботи, визначено об'єкт та предмет дослідження, наведено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, інформацію щодо апробації результатів та наукових публікацій. Вступ повністю відповідає вимогам, що ставляться до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

У **першому розділі** наведено аналіз сучасного стану проблеми модернізації теплових електростанцій. Автором розглянуто основні напрями підвищення ефективності теплоенергетичних установок, проаналізовано існуючі методи енергетичного, ексергетичного та термoeкономічного аналізу, а також визначено наукові питання, які потребують подальшого дослідження. Проведений огляд літературних джерел є достатньо повним і підтверджує актуальність обраного напрямку досліджень.

У **другому розділі** запропоновано методичний підхід до вибору раціональних варіантів модернізації теплових схем паротурбінної установки. Розглянуто декілька схемних рішень із застосуванням газотурбінних технологій, виконано їх порівняльний аналіз та запропоновано враховувати критерій структурної складності при виборі оптимального варіанта теплової схеми парогазової установки. Запропоновано новий критерій структурної складності модернізації. Матеріал розділу викладено послідовно, а отримані результати достатньо аргументовані.

У **третьому розділі** наведено результати енергетичного та ексергетичного аналізу теплофікаційної паротурбінної установки потужністю 20 МВт. Визначено розподіл втрат ексергії між окремими елементами теплової схеми, проаналізовано їх вплив на загальну ефективність установки та обґрунтовано напрями подальшого вдосконалення.

У **четвертому розділі** досліджено різні варіанти модернізації теплофікаційної паротурбінної установки та виконано їх порівняльне оцінювання за новим критерієм Δk (відносної різниці ексергетичної вартості). Автором проаналізовано зміну ексергетичної вартості основних елементів

теплової схеми теплофікаційної установки залежно від її структури, що дозволило визначити найбільш ефективні варіанти модернізації.

У **п'ятому розділі** розвинено метод структурно-варіантної термoeкономічної оптимізації теплових схем із урахуванням екологічних чинників. Наведено результати комплексної оцінки альтернативних технічних рішень та сформульовано рекомендації щодо їх практичного використання під час модернізації теплових електростанцій.

Кожний розділ завершується змістовними висновками, які логічно узагальнюють отримані результати. Загальні висновки дисертації повністю відповідають поставленим завданням і відображають основні наукові та практичні результати роботи.

Дисертація викладена грамотно, матеріал подано послідовно та аргументовано. Робота містить достатню кількість рисунків, таблиць і графічних матеріалів, які є інформативними та сприяють кращому сприйняттю результатів дослідження. Оформлення дисертації загалом відповідає встановленим вимогам, що висуваються до дисертаційних робіт.

Дискусійні положення, зауваження та питання до дисертаційної роботи

Відзначаючи високий науковий рівень дисертаційної роботи, її актуальність та практичну цінність, вважаю за доцільне висловити окремі зауваження та поставити низку запитань, які мають дискусійний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи:

1. Які основні критерії визначають нагальність необхідності модернізації теплових електростанцій?

2. Які саме обмеження існуючої інфраструктури враховувались при модернізації ТЕС?

3. В 3-му розділі з висновків не зрозуміло в чому повинна полягати модернізація циклу ПТУ.

4. В 5-му розділі не зазначено вплив екологічних показників на оптимізацію модернізованих теплових схем енергоустановок ТЕС.

Крім наведених питань, можна висловити окремі зауваження.

Зауваження 1. У першому розділі доцільно було б більш детально висвітлити сучасний міжнародний досвід модернізації теплових електростанцій із застосуванням методів термoeкономічного аналізу, що дозволило б ширше представити місце виконаного дослідження серед сучасних наукових робіт.

Зауваження 2. У роботі зустрічаються окремі редакційні неточності, а деякі рисунки містять дрібні позначення, що дещо ускладнює їх сприйняття. Зазначені недоліки мають виключно оформлювальний характер і не впливають на наукову цінність дисертації.

Наведені питання та зауваження носять дискусійний характер і можуть бути предметом наукового обговорення під час захисту. Вони не знижують наукового рівня дисертаційної роботи, не впливають на достовірність отриманих результатів і не змінюють загальної позитивної оцінки виконаного дослідження.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях

Основні положення, наукові результати та висновки дисертаційної роботи достатньо повно висвітлені в опублікованих працях автора.

За результатами дослідження опубліковано 7 наукових праць, серед яких 3 статті у виданнях, що індексуються міжнародною наукометричною базою Scopus, 2 статті у фахових наукових виданнях України та 2 тези доповідей міжнародних наукових конференцій. Така кількість і рівень публікацій відповідають вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

У наукових працях відображено результати дослідження сучасних напрямів модернізації теплових електростанцій, методичні підходи до вибору раціональної структури теплових схем, результати енергетичного та ексергетичного аналізу теплофікаційних установок, а також питання термoeкономічної оптимізації модернізаційних рішень.

Матеріали дисертації пройшли апробацію на міжнародних наукових конференціях, що підтверджує їх наукову обґрунтованість та відповідність сучасному рівню розвитку теплоенергетики.

Таким чином, основні результати дисертаційної роботи достатньою мірою опубліковані та апробовані, а їх зміст повністю відповідає матеріалам, викладеним у дисертації.

Відповідність дисертації вимогам, що ставляться до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертаційна робота Мазура Андрія Олександровича є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне науково-прикладне завдання, що має важливе значення для розвитку теплоенергетики.

За актуальністю тематики, рівнем наукової новизни, обґрунтованістю отриманих результатів, практичною значущістю, повнотою їх апробації та публікації результатів дисертація відповідає вимогам, які ставляться до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю
144 – Теплоенергетика.

Структура роботи, її зміст, оформлення та рівень наукових публікацій відповідають чинним нормативним вимогам. Під час ознайомлення з

дисертаційною роботою порушень принципів академічної доброчесності не виявлено.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Мазура Андрія Олександровича на тему «Теоретичне обґрунтування заходів з раціональної модернізації теплових електростанцій із застосуванням еколого-термoeкономічного аналізу» є завершеною самостійною науковою працею, виконаною на належному науковому рівні.

У роботі отримано нові науково обґрунтовані результати, які мають істотне значення для розвитку методів аналізу та модернізації теплових електростанцій, а також практичне значення для підвищення ефективності роботи теплоенергетичних установок.

За своїм змістом, рівнем наукової новизни, теоретичним і практичним значенням, достовірністю отриманих результатів та повнотою їх висвітлення в наукових публікаціях дисертаційна робота **«Теоретичне обґрунтування заходів з раціональної модернізації теплових електростанцій із застосуванням еколого-термoeкономічного аналізу»** Мазура А.О. відповідає спеціальності 144 – Теплоенергетика, вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Вважаю, що **Мазур Андрій Олександрович** заслуговує на присудження ступеня **доктора філософії** за спеціальністю **144 – Теплоенергетика**.

Офіційний рецензент

Старший науковий співробітник відділу
термогазодинаміки енергетичних машин
Інституту енергетичних машин і систем
ім. А. М. Підгорного НАН України,
кандидат технічних наук,
старший дослідник



Микола ЗІПУННІКОВ

27.08.2026