

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Бахмутської Юлії Олегівни «Збільшення терміну експлуатації роторів парових турбін за рахунок удосконалення теплового та термонапруженого стану на пускових режимах», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.05.16 – Турбомашини та турбоустановки.

Енергоблоки України потужністю 300 МВт було введено в 60-70-х роках ХХ століття і на теперішній час вони практично всі відпрацювали свій парковий ресурс (Типова інструкція, СОУ-Н МПЕ 40.17.401:2004). Парковий ресурс парових турбін К-300-240 ПАТ «Турбоатом» дорівнює 200 тис. год. при кількості пусків 600, а парковий ресурс парових турбін К-300-240 ПАТ ЛМЗ дорівнює 220 тис. год. при кількості пусків 800. Як наслідок аналіз сумарних характеристик роботи пилувугільних енергоблоків ТЕС України свідчить про низький коефіцієнт використання встановленої потужності порівняно зі світовими показниками, що складають більше 90 % у розвинутих країнах. Для подовження терміну експлуатації необхідно проводити комплексне дослідження з оцінки залишкового ресурсу. Експертний висновок про подовження терміну експлуатації понад парковий ресурс для кожного енергоблоку необхідно приймати експертній комісії у складі представників підприємств, що генерують електричну енергію, спеціалізованих організацій та органів державного нагляду. На основі дослідження з оцінки залишкового ресурсу та обґрунтування працездатності обладнання теплових та ядерних енергоустановок.

Для проходження мінімальних навантажень за наявної структури генеруючих потужностей в ОЕС України використовується зниження навантаження ТЕС і ТЕЦ України. Третину зменшення навантаження покривають ГЕС, інше – вугільні ТЕС з вимушеною зупинкою на ніч на 4-6 год. 9-16 енергоблоків. Такі непроєктні зупинки і пуски обладнання ТЕС України прискорюють його зношення, підвищують аварійність блоків і супроводжуються понад нормативними витратами палива. На пуск одного енергоблоку потужністю 300 МВт, наприклад, витрачається 70 т мазуту, а середні перевитрати палива сягають 10-30 % на вироблену кВт·год. електроенергії.

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

На ТЕС України встановлено та експлуатується 42 енергоблоки з турбінами типу К-300-240 виробництва ХТГЗ та ЛМЗ, на зміну яких, заводом ПАТ «Турбоатом» розроблена та випускається турбіна К-325-23,5. Ресурс цієї турбіни обмежений: 100 пусків з холодного та 2000 пусків з гарячого станів. Досвід експлуатації турбін великої потужності показує, що при їх використанні для регулювання електричних мереж така кількість пусків з різних станів недостатня.

Аналіз публікацій вітчизняних та закордонних авторів показує, що майже відсутні дослідження, які спрямовані на оцінку напруженого стану елементів турбін у передпусковий період. Відомо, що подача гарячої пари на холодні поверхні елементів турбіни призводить до появи термоударів та розвитку значних термонапружень, які є причиною появи тріщин втоми.

Актуальність дисертаційної роботи полягає у дослідженні факторів та механізмів, що впливають на тепловий та термонапружений стан ротора сучасної парової турбіни К-325-23,5 у період підготовки до пуску, та враховує процес плівкової конденсації і фізику течії пари у впадинах кінцевих ущільнень а також можливості підвищення ресурсних показників (допустимої кількості пусків) турбіни шляхом її модифікації і зміни технології пуску, враховуючі особливості передпускового прогріву турбіни К-325-23,5 (подача пари через вихлопний патрубок з котлоагрегату), зміну тисків у камерах ущільнень і визначення граничних умов в передньому і задньому кінцевих ущільненнях.

Актуальність теми роботи підтверджується також її зв'язком із основними напрямками наукових досліджень ІПМаш ім. А. М. Підгорного НАН України, які виконані у відділі моделювання та ідентифікації теплових процесів і відділі вібраційних та термоміцнісних досліджень.

Результати дисертаційної роботи використані при вдосконаленні конструкції циліндра високого тиску турбіни К-325-23,5 ПАТ «Турбоатом» (акт про впровадження результатів кандидатської дисертації № ТА-01-652 від 29.11.2017).

Результати дисертаційної роботи застосовуються в навчальному процесі кафедри теплофізики, молекулярної фізики та енергоефективності фізико-енергетичного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна при підготовці студентів кваліфікаційного рівня магістр у рамках дисципліни «Термонапружений стан елементів енергетичного обладнання».

Результати досліджень стали основою для заявки №А201701820 від 27 лютого 2017 року на патент «Переднє кінцеве ущільнення циліндру високого тиску потужних парових турбін».

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

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури та 7 додатків. Основний матеріал викладено на 141 сторінках серед них 57 рисунків, 6 таблиць, список використаних джерел зі 114 найменувань на 13 сторінках, 7 додатків на 34 сторінках. Загальний обсяг дисертації складає 206 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, відзначено її зв'язок з науково-дослідними роботами Інституту проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, де виконувалась робота. Сформульовано мету й задачі дослідження. Вказано об'єкт, предмет та методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено інформацію про публікації та апробацію викладеного в роботі матеріалу, а також відзначено особистий внесок здобувача.

В першому розділі проаналізовано стан енергетичного обладнання ТЕС і ТЕЦ України та визначені основні проблеми турбінного устаткування. На основі публікацій вітчизняних і зарубіжних авторів проведено аналіз причин вичерпання ресурсу парових турбін. Розглянуто особливості конструкції і пуску турбіни К-325-23,5. Приводиться обзор методів дослідження теплового і термонапруженого стану та ресурсу роторів парових турбін та визначаються невирішені питання даного напрямку. Сформульовано постановку задач дослідження.

На думку офіційного опонента, слушно виділені відмінності роторів турбіни К-325-23,5 від свого, в цілому, надійного прототипу К-300-240. Термокомпенсаційні канавки в ущільненнях не виконуються. Однак на роторі в області ступінчатих ущільнень між впадиною і виступом є прямий кут. У цьому місці є висока ймовірність утворення тріщин, причиною появи яких є термічна втома металу.

Ресурс турбіни обмежується допустимою кількістю пусків за час експлуатації. Для турбіни К-325-23,5 заводом-виробником рекомендоване наступне допустиме число пусків з різних теплових станів: пусків із холодного стану (ХС) – 100; пусків із неостиглого стану (НС) – 1000; пусків із гарячого стану (ГС) – 2000. Такий розподіл пусків свідчить про можливість застосування турбіни К-325-23,5 в маневрових режимах і потребує розрахункової оцінки ресурсних показників на етапі проектування, т.к. парковий ресурс парових турбін К-300-240 ПАТ «Турбоатом» дорівнює 200 тис. год. при кількості пусків 600 (Типова інструкція, СОУ-Н МПЕ 40.17.401:2004) і суттєво відрізняється по кількості пусків від показників заводу виробника (3100 пусків).

На рис. 1.4 здобувач приводить спрощену типову пускову схему моноблока 300 МВт, але ця схема відома і наведена у літературі по паровим турбінам. Тому вважаю, що доцільніше було б зробити посилання, а не приводити рисунок в дисертаційній роботі.

Особливістю пуску з ХС турбіни К-325-23,5 ПАТ «Турбоатом» є прогрів ЦВТ з боку вихлопного патрубка (ВП), що призводить відсутності пари в ущільненні між 5-ю і 6-ю камерами, і ротор в цьому місці не прогривається. При огляді доступних для аналізу публікацій не було виявлено робіт, спрямованих на дослідження теплового і термонапруженого станів високотемпературних роторів, які прогриваються через вихлопний патрубок у передпусковий період, не дивлячись на те, що на роторі можливе виникнення високих напружень при великих температурних градієнтах.

Офіційний опонент звертає увагу на те, що здобувач чітко оговорив доцільність дослідження ЦВТ, а в якості найбільш напруженої деталі – РВТ, враховуючи складність конструкції циліндрів турбіни К-325-23,5 і умов формування термонапруженого стану. Щоб оцінити стан РВТ при тривалій експлуатації необхідно виконати дослідження нестационарного теплового та термонапруженого стану з урахуванням передпускової підготовки турбіни при пусках з різних теплових станів. Подібні дослідження для турбіни К-325-23,5 не проводилися. Крім того, необхідно коректно визначити граничні умови теплообміну на поверхнях елементів турбін при наявності процесу плівкової конденсації пари. Саме тому вірно визначена основна задача дисертаційної роботи, яка полягає у створенні вдосконаленого підходу до розрахунку термонапруженого стану елементів парових турбін, що враховує вплив процесу плівкової конденсації і фізику течії потоку на термонапружений стан ротора турбіни в процесі пуску.

У другому розділі розроблено методологічний підхід до розрахунку нестационарного теплового і термонапруженого стану роторів парових турбін, що дозволяє підвищити точність результатів аналізу за рахунок врахування процесу плівкової конденсації пари на поверхнях елементів ротора, врахування фізики струминної течії пари та турбулізації потоку у впадинах кінцевих ущільнень, уточненого підходу до визначення теплових граничних умов, покращеної розрахункової моделі ротора та застосування пружнопластичної постановки для аналізу термонапружень і малоциклової втоми.

Офіційний опонент звертає увагу на те, що автор грамотно з методичної точки зору провів чисельне моделювання структури потоку у впадинах ступінчатого ущільнення і наголосив про те, що рівень коефіцієнтів тепловіддачі в них суттєво відрізняється від прийнятих. На значення коефіцієнтів тепловіддачі в області натікання струменя визначальний вплив робить турбулентна складова напівобмеженого струменя, що може позначатися на рівні термонапружень в зоні ущільнень ступінчатого типу.

В процесі пуску парової турбіни, в залежності від співвідношення температури металу її елементів та температури насичення пари, на поверхнях елементів турбіни може проходити процес плівкової конденсації пари, що призводить до різкої зміни ГУ теплообміну. Тому слухним для визначення моментів часу початку і кінця плівкової конденсації на поверхні елементах ПТ та вибору і призначенню відповідних ГУ є розроблений методологічний підхід, що базується на відстеженні температури поверхні елементів парової турбіни в процесі нагрівання в інтерактивному режимі та дозволяє визначати наявність чи відсутність явища конденсації з високою точністю та автоматично призначати відповідні теплові ГУ для подальших кроків теплового розрахунку.

Але ж слід зазначити, що при визначенні ГУ теплообміну в елементах турбоустановок необхідно використовувати нормативні документи (РТМ 24.020.16-73. Турбины паровые стационарные. Расчет температурных полей роторов и цилиндров паровых турбин методом электро моделирования. – М., 1973, № ВК-002/3209. - 104 с. та РТМ 108.020.16-83. Расчет температурных полей роторов и корпусов паровых турбин. М.: Минэнерго маш, 1983. 116 с.), які визнані в галузі при таких розрахунках. В роботі не показано, як розроблений методологічний підхід до визначення ГУ теплообміну кореспондується із зазначеними нормативними документами. Імовірно на основі даної роботи слід переробляти нормативні документи.

У якості зауваження по другому розділу слід зазначити, що при визначенні термонапруженого стану та оцінці малоциклової втоми роторів парових турбін не

наведено методики визначення числа циклів навантаження до зародження тріщини та допустимої кількості пусків. Крім того, при визначенні ресурсних характеристик РВТ турбіни К-325-23,5 не враховано статичну пошкодженість роторів та не визначено другий важливий ресурсний параметр, а саме допустиме напруження РВТ.

У третьому розділі виконаний аналіз теплових граничних умов для режимів підготовки до пуску, пусків з холодного, гарячого станів та останову парової турбіни К-325-23,5. Визначені граничні умови при плівковій конденсації пари на поверхнях елементів ротора (кінцеві ущільнення, проточна частина), а також при течії однофазного середовища та моменти початку процесу плівкової конденсації. Враховано особливості подачі пари для прогріву ЦВД через вихлопний патрубок, визначено час плівкової конденсації пари на поверхні міжкорпусного простору та параметри пари в камерах ущільнень на всьому циклі роботи турбіни. Побудовано розрахункову модель ротора ЦВТ парової турбіни К-325-23,5 та проведено дослідження нестационарного температурного та термонапруженого стану при підготовці до пуску, пусках з холодного, гарячого станів та останові. Для вирішення нестационарної теплової задачі розроблено алгоритм автоматичного визначення початку і кінця процесу плівкової конденсації для кожної локальної області ротора в процесі пуску та призначення відповідних граничних умов теплообміну. Проведено аналіз впливу плівкової конденсації та врахування струминного характеру течії в ущільненнях на тепловий та термонапружений стан ротора. Результати аналізу термонапруженого стану дозволили визначити перевантажені зони ротора з точки зору високих напружень та ризику розвитку тріщин малоциклової втоми.

Дослідження показало, що в процесі пуску з холодного стану частина ротора в області переднього кінцевого ущільнення залишається непрогрітою аж до поштовху ротора. Максимальні напруження спостерігаються при пуску турбіни з холодного стану в непрогрітій області переднього кінцевого ущільнення та досягають 584 МПа, що перевищує умовну межу текучості. При пуску турбіни з гарячого стану рівень термонапружень за весь цикл пуску не перевищує пружних. Досліджено вплив конденсації і врахування струминної течії у впадинах ПКУ на тепловий і термонапружений стан ротора. Врахування конденсації приводить до підвищення рівня максимальних еквівалентних напружень на 30 %. Врахування фізики струминної течії у впадинах ПКУ також підвищує рівень напружень на 13 %.

У якості зауваження по третьому розділу слід зазначити, що після визначення термонапруженого стану ротора парової турбіни К-325-23,5 не наведено оцінку малоциклової втоми та визначення числа циклів навантаження до зародження тріщини, а значить не розрахована допустима кількість пусків в експлуатації на базі пусків з холодного та гарячого стану. Тобто не показана достовірність заявлених заводом 3100 пусків.

У четвертому розділі запропоновано зміни в конструкції переднього кінцевого ущільнення та в схемі роботи ущільнень, що дозволяє зробити прогрів ротора більш рівномірним на етапі від подачі пари на ущільнення до поштовху ротора при пуску з холодного стану та значно знизити термічні напруження в області переднього кінцевого ущільнення, що перевищують умовну границю текучості матеріалу ротора. Проведено дослідження термонапруженого стану для вихідної та запропонованої конструкцій в пружнопластичній постановці. Це дослідження показало, що рівень максимальних термонапружень вдалося знизити більш ніж у 2,5 рази, при цьому для запропонованого варіанта конструкції максимальні напруження не перевищують під час передпускової підготовки 234 МПа. Тоді як для вихідного варіанту, отриманий в результаті пружнопластичного розрахунку рівень напружень становить 551 МПа. Аналіз малоциклової втоми ротора високого тиску показав, що для запропонованого варіанту конструкції допустиме число пусків з холодного стану істотно збільшено в порівнянні з вихідним варіантом (з 320 до 10000).

У якості зауваження по четвертому розділу слід зазначити, що у запропонованій зміні в конструкції переднього кінцевого ущільнення РВТ у внутрішній обоймі «А» пропонується виконати три вставки (обойми) і організувати ці додаткові камери (12,14), в які подавати пару з холодних ніток промперегріву з температурою $T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це доцільно при пуску з холодного стану, а при пуску з гарячого стану в ці камери слід подавати з температурою $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ для уникнення заохолодження РВТ в цій зоні.

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 використанні сучасних методів дослідження, програмних продуктів та математичного апарату,
- на широкому співставленні отриманих результатів з результатами інших дослідників та даними експериментів,
- на загальноприйнятих допущеннях і обмеженнях, що є досить правомірними та забезпечують повторювальність результатів з достатньою точністю,
- на правильному формулюванні отриманих висновків.

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 фізичних експериментів та досліджень інших авторів, виконаних за апробованими методиками.

Наукова новизна отриманих результатів та висновків полягає в тому, що на підставі експериментальних досліджень отримано нову залежність коефіцієнтів тепловіддачі на поверхні ущільнень ступеневого типу з урахуванням особливостей течії робочого середовища, яка більш точно описує умови теплообміну на кінцевих ущільненнях парових турбін.

Вперше запропоновано методологічний підхід до визначення теплового і термонапруженого стану РВТ на етапах передпускової підготовки і пуску з урахуванням струминного характеру течії пари і плівкової конденсації пари на поверхні ротора.

Вперше на режимі передпускової підготовки на етапі подачі пари з боку вихлопного патрубку визначено параметри пари на виході з міжкорпусного простору з урахуванням часу конденсації в міжкорпусному просторі, внаслідок чого визначено область РВТ, яка не прогривається, що в свою чергу призводить до високих термонапружень в момент поштовху ротора, обмежуючи число пусків з холодного стану.

Вперше виявлено вплив плівкової конденсації і струминної течії пари у впадинах переднього кінцевого ущільнення на термонапружений стан ротора.

4. Рекомендації з використання та практична значимість отриманих результатів дослідження

Практична значимість отриманих результатів дослідження полягає в тому, що вперше отримані результати нестационарного теплового і термонапруженого стану РВТ турбіни К-325-23,5 при підготовці до пуску і пуску холодного і гарячого станів з урахуванням процесу плівкової конденсації пари на поверхнях ротора і міжкорпусного простору, струминної течії пари у впадинах кінцевих ущільнень і детального моделювання особливостей пуску турбіни.

Створено алгоритм врахування процесу плівкової конденсації на поверхнях елементів парової турбіни, який дозволяє визначити час початку і кінця плівкової конденсації та вибрати і призначити відповідні граничні умови.

Розроблено заходи щодо зниження термічних напружень в місцях їх концентрацій за рахунок більш рівномірного прогріву РВТ на більшій частині переднього кінцевого ущільнення в передпусковий період. Запропоновано новий варіант конструкції переднього кінцевого ущільнення та умов прогріву ротора, що дозволяє істотно підвищити допустиму кількість пусків турбіни з холодного стану, що підтверджується проведеною оцінкою ресурсу за механізмом малоциклової втоми для вихідного і запропонованого варіантів конструкції.

Результати дисертаційної роботи будуть використані при вдосконаленні конструкції циліндра високого тиску турбіни К-325-23,5 ПАТ «Турбоатом» (акт про впровадження результатів кандидатської дисертації № ТА-01-652 від 29.11.2017).

Результати дисертаційної роботи застосовуються в навчальному процесі кафедри теплофізики, молекулярної фізики та енергоефективності фізико-енергетичного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна при підготовці студентів кваліфікаційного рівня магістр у рамках дисципліни «Термонапружений стан елементів енергетичного обладнання».

Результати досліджень стали основою для заявки №А201701820 від 27 лютого 2017 року на патент «Переднє кінцеве ущільнення циліндру високого тиску потужних парових турбін».

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 дисертації представлено у 17 наукових працях: з них 6 – у наукових періодичних фахових виданнях України (3 – у наукових українських виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз); 9 – у матеріалах та тезах конференцій, а також 2 статті – у наукових журналах України.

Основні теоретичні положення, результати та висновки наукового дослідження доповідались автором, обговорювались та отримали позитивну оцінку на наукових семінарах, конференції молодих учених та спеціалістів. «Сучасні проблеми машинобудування» (Харків, 2012, 2016, 2018); XIX міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2011); науково-практичній конференції з міжнародною участю «XLI Неділя науки СПбГПУ» (Росія, СПб, 2012); XIV, XV та XVI міжнародних науково-технічних конференціях «Удосконалення турбоустановок методами математичного та фізичного моделювання» (Харків, 2012, 2015, 2017); III міжгалузевій науково-практичній конференції молодих учених та фахівців «Інноваційні шляхи модернізації базових галузей промисловості, енерго- і ресурсозбереження, охорона навколишнього природного середовища» (Харків, ГП «УкрНТЦ «Енергосталь», 2014); міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки» (Харків, 2015); XII, XIII та XIV міжнародних науково-технічних конференціях «Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування» (Харків, 2016, 2017, 2018).

6. Дискусійні положення та зауваження по дисертаційній роботі і автореферату

1. Ресурс турбіни обмежується допустимою кількістю пусків за час експлуатації. Для турбіни К-325-23,5 заводом-виробником рекомендоване наступне допустиме число пусків з різних теплових станів: пусків із холодного стану (ХС) – 100; пусків із неостиглого стану (НС) – 1000; пусків із гарячого стану (ГС) – 2000. Такий розподіл пусків свідчить про можливість застосування турбіни К-325-23,5 в маневрових режимах і потребує розрахункової оцінки ресурсних показників на етапі проектування, т.к. парковий ресурс парових турбін К-300-240 ПАТ «Турбоатом» дорівнює 200 тис. год. при кількості пусків 600 (Типова інструкція, СОУ-Н МПЕ 40.17.401:2004) і суттєво відрізняється по

кількості пусків від показників заводу виробника (3100 пусків). Тому потребує додаткового уточнення допустима кількість пусків.

2. На рис. 1.4 здобувач приводить спрощену типову пускову схему моноблока 300 МВт, але ця схема відома і наведена у літературі по паровим турбінам. Тому вважаю, що доцільніше було б зробити посилання, а не приводити рисунок в дисертаційній роботі.

3. Слід зазначити, що при визначенні ГУ теплообміну в елементах турбоустановок необхідно використовувати нормативні документи (РТМ 24.020.16-73. Турбины паровые стационарные. Расчет температурных полей роторов и цилиндров паровых турбин методом электро моделирования. – М., 1973, № ВК-002/3209. - 104 с. та РТМ 108.020.16-83. Расчет температурных полей роторов и корпусов паровых турбин. М.: Минэнерго маш, 1983. 116 с.), які визнані в галузі при таких розрахунках.

В роботі не показано, як розроблений методологічний підхід до визначення ГУ теплообміну кореспондується із зазначеними нормативними документами і чи є він придатним для такого типу розрахунків. Імовірно на основі даної роботи слід переробляти нормативні документи.

4. У якості зауваження по другому розділу слід зазначити, що при визначенні термонапруженого стану та оцінці малоциклової втоми роторів парових турбін не наведено методики визначення числа циклів навантаження до зародження тріщини та допустимої кількості пусків. Крім того, при визначенні ресурсних характеристик РВТ турбіни К-325-23,5 не враховано статичну пошкодженість роторів та не визначено другий важливий ресурсний параметр, а саме допустиме напруження РВТ.

5. У якості зауваження по третьому розділу слід зауважити, що після визначення термонапруженого стану ротору парової турбіни К-325-23,5 не наведено оцінці малоциклової втоми та визначення числа циклів навантаження до зародження тріщини, а значить не розрахована допустима кількість пусків в експлуатації на базі пусків з холодного та гарячого стану.

6. У якості зауваження по четвертому розділу слід відмітити, що у запропонованій зміні в конструкції переднього кінцевого ущільнення РВТ у внутрішній обоймі «А» пропонується виконати три вставки (обойми) і організувати додаткові камери (12,13,14). При цьому у камери 12,14 слід подавати пару з холодних ніток промперегріву з температурою $T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це доцільно при пуску з холодного стану, а при пуску з гарячого стану в ці камери слід подавати з температурою $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ для уникнення заохолодження РВТ в цій зоні.

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, та по змісту відповідає паспорту спеціальності 05.05.16 – Турбомашини та турбоустановки. На базі узагальнення результатів теоретичних та розрахунково-експериментальних досліджень створено науково-методичний апарат для вирішення науково-прикладної проблеми розрахунку нестационарного теплового і термонапруженого стану роторів парових турбін з урахуванням процесу плівкової конденсації пари на поверхнях елементів ротора. 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 Бахмутської Юлії Олегівни на тему

«Збільшення терміну експлуатації роторів парових турбін за рахунок удосконалення теплового та термомеханічного стану на пускових режимах» відповідає вимогам пп. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, що висувається до дисертації, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.16 – Турбомашини та турбоустановки.

Офіційний опонент,
 доктор технічних наук, професор,
 завідувач кафедри теплотехнічних
 установок теплових і атомних електростанцій
 Національного технічного
 університету України «Київський
 політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Оле О. Ю. Черноусенко

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



А.А. А.А. Мельниченко