

ВІДГУК
офіційного опонента Кенсицького Олега Георгійовича
на дисертаційну роботу Третяка Олексія Володимировича
«Міцність вузлів турбогенераторів і гідрогенераторів великої
потужності», подану на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук за спеціальністю
05.02.09 – динаміка та міцність машин

Актуальність теми дисертації. На сьогодні більшість генераторного обладнання електростанцій України (особливо теплових) практично відпрацювали свій нормативний ресурс. Оскільки найближчим часом масової заміни устаткування не очікується, основним напрямом забезпечення прийнятного рівня його надійності є повузлова модернізація, впровадження систем контролю і діагностики технічного стану та оптимізація режимів експлуатації. Разом з тим актуальною є проблема створення машин нового покоління підвищеної надійності з розширеними характеристиками по маневреності.

До важливої задачі, що підлягає дослідженню і вирішенню у найближчі роки, відноситься забезпечення прийнятного напруженого-деформованого стану найбільш навантажених елементів та вузлів потужних турбо- і гідрогенераторів на всьому діапазоні навантажень, як номінальних, так і аварійних. Все це вимагає вирішення комплексу взаємопов'язаних задач електро- і газодинаміки, теплообміну, пружності тощо.

Таким чином, подальший розвиток теорії теплових, газодинамічних та механічних процесів у генераторі, розроблення та наукове обґрунтування методів і засобів визначення напруженого-деформованого стану вузлів машини, а також технічних рішень, спрямованих на підвищення їх надійності є важливою науково-прикладною проблемою, а тема дослідження є, безумовно, актуальною.

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

Дисертаційна робота виконана в Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України відповідно до теми III-67-16 «Аналіз та поліпшення динамічних міцнісних властивостей елементів перспективних енергетичних машин та ракетно-космічної техніки під впливом навантажень різної фізичної природи» та у науково-дослідному і проектно-конструкторському відділенні турбогенераторів та гідрогенераторів ДП «Завод «Електроважмаш» в рамках програми розвитку гідроенергетики на період до 2026 року (Розпорядження КМУ № 552-р від 13 липня 2016 р.) у частині проектування та виготовлення гідрогенераторів-двигунів Дністровської та Київської ГАЕС, гідрогенераторів Середньодніпровської ГЕС, Дніпровської ГЕС-2 та Канівської ГЕС. Дисертаційне дослідження безпосередньо пов'язане з проектуванням турбогенераторів ТГВ-550-2МУЗ Екібастузької ГРЕС (Казахстан) і ТГВ-210-2МТЗ ТЕС Сіддірганч (Бангладеш).

Обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

В дисертаційній роботі розроблені нові методи і засоби оцінки напружено-деформованого стану елементів конструкції генераторів з використанням методу скінчених елементів у тривимірній постановці. Що дозволяє проводити детальний аналіз міцності елементів конструкції машини великої потужності та підвищую надійність турбо- та гідрогенераторів в експлуатації.

Результати, отримані в дисертаційній роботі, впроваджені у практику інженерних розробок на електростанціях як в Україні, так і за кордоном. Ефективність створених методів і засобів оцінки напружено-деформованого стану елементів конструкції підтверджена стендовими випробуваннями на ДП «Завод «Електроважмаш» турбогенераторів ТГВ-550-2МУЗ і ТГВ-210-2МТЗ та випробуваннями безпосередньо на станціях гідрогенераторів-двигунів Дністровської та Київської ГАЕС і гідрогенераторів Середньодніпровської, Дніпровської ГЕС-2 і Канівської ГЕС

Наукова новизна та значимість результатів досліджень. При виконанні дисертаційного дослідження автором створені нові методи і засоби оцінки напружено-деформованого стану елементів і вузлів конструкції потужних турбо- та гідрогенераторів у проектних та аварійних режимах експлуатації у тривимірній постановці.

Запропонований новий метод визначення напружено-деформованого стану вузлів і деталей електричних машин великої потужності в тривимірній постановці, що базується на послідовному розв'язанні взаємопов'язаних задач термопружності, тепlopровідності і газодинаміки з ітераційним уточненням отриманих результатів.

Вперше розроблена тривимірна математична аеродинамічна модель системи охолодження генератора, що дозволяє отримати поля швидкостей та температур у потоці і визначити локальні характеристики тепловіддачі на поверхнях елементів конструкції.

Вперше при дослідженні напружено-деформованого стану короба та хрестовини генератора враховані реальні температури та силові впливи при експлуатаційних навантаженнях.

Удосконалено метод визначення напружено-деформованого стану бандажного кільця ротора турбогенератора, опорних одно- та дворядних підп'ятників гідрогенераторів жорсткого та гіdraulічного типів при експлуатаційних навантаженнях.

Розроблений тривимірний метод визначення напружено-деформованого стану пружної підвіски статора потужного турбогенератора при номінальних і аварійних навантаженнях.

Практичне значення результатів роботи. Методи і засоби визначення напружено-деформованого стану елементів і вузлів конструкції машин впроваджено на ДП «Завод «Електроважмаш» (м. Харків) і використано при проектуванні та виготовленні турбо- і гідрогенераторів в частіші оптимізації конструкції та зменшення масо-габаритних показників.

Реалізація розробок підтверджена актом впровадження результатів дисертаційної роботи на ДП «Завод «Електроважмаш», а також актом впровадження результатів дисертаційної роботи у навчальний процес на кафедрі аерокосмічної теплотехніки Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

Повнота викладу основних результатів дисертації у наукових фахових виданнях. Основні положення дисертаційної роботи в 30 наукових роботах. З них – 13 статей у наукових журналах і збірниках наукових праць України, 8 статей у провідних закордонних виданнях, отримані 2 патенти України на корисну модель, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, 6 доповідей і тез доповідей на міжнародних конференціях.

Структура і зміст роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 7 розділів, списку використаних джерел (346 найменувань на 37 сторінках), висновків і двох додатків (на 7 сторінках). Загальний обсяг дисертації становить 397 сторінок, включаючи 41 таблицю та 204 рисунки (з них 40 сторінок – рисунки що займають повну сторінку).

У вступній частині надано обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, викладені основні одержані результати.

У першому розділі наведений аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку машинобудування, а саме проектування, розрахунок та експлуатація електрогенераторів високої потужності. Особлива увага приділяється розрахунку міцності елементів конструкцій гідрогенераторів та турбогенераторів, а також аналізу аварійних ситуацій, що виникають під час експлуатації електричних машин на електростанціях.

У другому розділі викладено викладені основні положення методу визначення напружено-деформованого стану вузлів і деталей електричних машин великої потужності в тривимірній постановці. Вона базується на розв'язанні методом скінчених елементів взаємопов'язаних задач термопружності, тепlopровідності і газодинаміки. Дослідження виконані за

припущенням, що задачі є незв'язаними. Розв'язання задач проводиться послідовно з ітераційним уточненням результатів, отриманих на попередньому кроці шляхом повторного розрахунку.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячений моделюванню газодинамічних процесів у системі охолодження генератора, визначеню граничних умов для задач тепlopровідності в елементах конструкції генератора.

У четвертому розділі проводиться дослідження напруженодеформованого стану короба і хрестовини генераторів під впливом експлуатаційних силових і температурних навантажень. Задача вирішувалась в тривимірній постановці на основі нового методу послідовного розгляду задач та аналізу напруженено-деформованого стану конструкції машини. Проведено дослідження напруженено-деформованого стану коробів генераторів різної потужності.

У п'ятому розділі викладена постановка задачі визначення напруженодеформованого стану бандажного вузла та натискного фланця ротора турбогенератора під впливом силових і температурних навантажень.

У шостому розділі наведені результати дослідження опорних вузлів генератора.

У сьомому розділі наведені дослідження напруженено-деформованого стану системи кріплення статора генератора і міжполюсних з'єднань ротора.

У висновках до дисертації достатньо повно підсумовано отримані результати досліджень.

В додатках наведені акти про впровадження результатів дисертаційної роботи.

В цілому текст дисертації та автореферату викладено грамотно, технічною мовою. Матеріал подається логічно і послідовно. Хоча у тексті зустрічаються певні граматичні помилки.

Зв'язок докторської дисертації з матеріалами кандидатської дисертації здобувача. Основні результати та висновки, що виносилися на

захист кандидатської дисертації Третяка О.В., у матеріалах його докторської дисертації не використані.

Оформлення дисертації. Дисертація написана українською мовою. Дисертацію викладено досить стисло, але з докладним та всебічним поданням інформації. Стиль викладення матеріалів щодо поставлення та проведення досліджень, наукових положень, результатів, висновків та рекомендацій забезпечує легкість та доступність їх сприйняття. Рівень досліджень та глибина розгляду питань відповідає вимогам щодо докторських дисертацій.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації. Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати та практичну цінність роботи, що отримані здобувачем. Оформлення дисертації та автореферату відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р.

Зауваження.

1. У дисертаційній роботі ретельно розглядаються фізичні процеси термопружності, теплопровідності і газодинаміки, але процеси електромагнітної взаємодії між елементами і вузлами конструкції залишаються остоною. Але ж мова йде про електричні машини великої потужності, і сили електромагнітної природи частотою 100 Гц (і кратні до неї) сягають значних величин і до того ж залежать від режиму навантаження. На думку опонента, їх вплив на напружене-деформований стан елементів і вузлів конструкції також є суттєвим.

2. Результати досліджень напружене-деформованого стану елементів конструкції на тривимірній математичній моделі порівнюються із результатами, отриманими аналітичними методами. Після чого робиться висновок, що вони дають більш точний результат. Це твердження викликає деякий сумнів. Адже закони і залежності в обох випадках використовуються

ідентичні. І критерієм адекватності моделі реальним процесам може бути лише порівняння результатів розрахункового дослідження із даними натурного експерименту.

3. Із дисертаційної роботи не зрозуміло, яким чином в задачах термопружності (розв'язання проводиться методом скінчених елементів, базовий елемент тетраедр) використовувалися результати газодинамічних розрахунків, що базувались на методі скінчених об'ємів (основний елемент призма). І як поєднання густин множин розрахункових елементів (тетраедри, призми) впливає на кінцевий результат.

4. При розрахунку напруженого-деформованого стану коробів турбогенераторів не враховуються елементи кріплення кінцевих виводів струмопроводів, а також тепловиділення у торцевих зонах магнітного осердя статора та лобових частинах стержнів і з'єднувальних шин. Як це може впливати на отримані результати?

5. У роботі розглядається перехід на застосування сталей, виготовлених за європейськими стандартами (EN). Проте історія їх використання налічує лише 30 років. Яким чином обиралися припустимі навантаження відносно межі плинності та міцності цих сталей за умови, що ГОСТ та EN мають відмінності в експериментальному визначенні цих величин?

6. При розрахунку пружної камери підп'ятника гідрогенератора розглядається статичне навантаження, хоча його циклічність буде визначатись кількістю сегментів та частотою обертання гідроагрегату.

7. Стосовно постановки задачі по визначеню напруженого-деформованого стану необхідно було б зазначити тип вирішуючої програми у пакеті *SolidWorks Simulation* було обрано?

8. При розгляді контактних задач кріплення пружин статора турбогенератора та аналізу напруженого-деформованого стану жорсткого підп'ятника гідрогенератору не зрозуміло, який тип математичного контакту враховувався (поверхня до поверхні чи вузол до поверхні). Чи враховувалися при розв'язанні контактних задач теплові зміщення?

9. Не зрозуміла наявність в тексті дисертації розділу 1.5 з описом експертних систем, які в роботі взагалі не використовуються. У тексті дисертації часто використовуються нетехнічні вислови «...більш точний...», «...ельми складно...», «...підвищений...» тощо. Згадуються позасистемні одиниці вимірювання.

Висновок. Зазначені зауваження не є принциповими і не піддають сумніву результати досліджень та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації Третяка О.В., її наукову новизну і практичну цінність.

Дисертація Третяка Олексія Володимировича «Міцність вузлів турбогенераторів і гідрогенераторів великої потужності» є цілісною завершеною науковою працею, в якій вирішено актуальну і важливу науково-прикладну проблему – підвищення надійності і навантажувальної здатності турбо- та гідрогенераторів шляхом розробки наукових зasad для створення нових та удосконалення існуючих методів і засобів визначення напруженодеформованого стану елементів конструкції машин.

Мета роботи, поставлені та розв'язані в ній завдання досліджень, викладені основні наукові результати дають змогу зробити висновок про те, що дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Робота вносить суттєвий вклад в науку і має широке практичне значення. Зміст дисертації свідчить про високий рівень кваліфікації автора, як наукового співробітника. Відзначені недоліки і зауваження не впливають на вагомість результатів та їх практичну значимість.

На підставі проведеного аналізу дисертаційної роботи Третяка Олексія Володимировича «Міцність вузлів турбогенераторів і гідрогенераторів великої потужності» можна зробити висновок, що за актуальністю, науковим рівнем, отриманими науковими результатами та практичною цінністю робота відповідає вимогам п. 10 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від

24.07.2013 р. (зі змінами затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р. №656), а її автор Третяк Олексій Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Офіційний опонент

д-р. техн. наук, пров. наук. співр. відділу
«Теоретичної електротехніки та діагностики
електротехнічного обладнання»
Інституту електродинаміки
Національної академії наук України

О.Г. Кенсицький

Підпис доктора технічних наук О.Г. Кенсицького засвідчує:

Вчений секретар
Інституту електродинаміки
Національної академії наук України
канд. техн. наук



О.Г. Кофто