

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Шевченко Валентини Володимирівни

«Науково-технічні засади підтримки конкурентоспроможності турбогенераторів і забезпечення їхньої ефективної роботи при тривалій експлуатації», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.01 - електричні машини і апарати

Актуальність теми дисертаційної роботи.

У виробництві електроенергії особливе місце займають турбогенератори (ТГ). Тому проводяться інтенсивні дослідження ТГ, в тому числі з урахуванням їхньої роботи на енергомережі, які мають особливості роботи, працюють зі змінними параметрами, що безпосередньо впливає на електрообладнання блоків станцій. Але на сьогоднішній день дуже мало уваги приділено визначенню найбільш ймовірного сценарію розвитку вітчизняної електроенергетики для підтвердження перспективності виконання робіт з дослідження ТГ. Відсутні пропозиції та їх наукове обґрунтування щодо вдосконалення конструкцій ТГ, їх модернізації, проведення ремонтів і діагностики з метою продовження терміну експлуатації, а також пропозиції щодо застосування сучасних матеріалів, технологій виготовлення. При цьому необхідно щоб запропоновані рішення відповідали технологічним можливостям електромашинобудівної та супутніх галузей. Потребують розроблення пропозиції щодо вдосконалення діагностики та ремонтів систем охолодження ТГ, що довгий час перебувають в експлуатації, визначення причин, що визначають відставання від зарубіжних фірм.

Тому розробка технічних і технологічних заходів, спрямованих на підвищення ефективності нових ТГ і ТГ, які перебувають тривалий час в експлуатації, підтримки їх конкурентоспроможності є актуальною.

Актуальність роботи підтверджується положеннями «Енергетичної стратегії України на період до 2035 року», де вказано, що основним завданням забезпечення енергонезалежності країни є підвищення техніко-економічних характеристик ТЕС і АЕС, зокрема турбогенераторів, а також участю автора в науково-дослідних роботах згідно плану МОН України: «Розвиток теорії і методів проектування на основі чисельно-польових методів для вдосконалення

існуючих і створення нових електричних машин», (ДР №011111002269); «Розробка науково-методичних основ вдосконалення турбогенераторів для підвищення їх технічного рівня і надійності в умовах електроенергетичних систем» (ДР №011311000433); «Розвиток теорії та науково-методичних основ для створення і модернізації турбогенераторів, що задовольняють сучасним вимогам електроенергетичної системи України» (ДР №011511000528), в яких здобувачка була співвиконавцем; «Розвиток теорії та науково-методичних основ щодо удосконалення високовикористованих електричних машин» (ДР №011611000877), де здобувачка була відповідальним виконавцем.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Шевченко В.В. складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку з 317 джерел інформації. Дисертація містить 409 сторінок і включає 282 сторінок основного тексту, 163 ілюстрації, 75 таблиць, список літературних джерел на 34 сторінках і додатки на 55 сторінках.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета і завдання роботи, визначено проблеми та питання, що підлягають вирішенню, наведено дані про зв'язок роботи з науковими програмами* та темами, визначена наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про їх апробацію, відображений особистий внесок здобувачки, представлена інформація про публікації результатів роботи.

В *першому розділі* наведено аналіз сучасного стану і запропоновано напрямки вдосконалення турбогенераторів з урахуванням світових і вітчизняних тенденцій розвитку електроенергетики, доказана необхідність проведення робіт з вдосконалення ТГ теплових електростанцій (ТЕС і АЕС), які є основними джерелами електроенергії натеper і залишаться основними досить довго в майбутньому. Проаналізовано результати досліджень вітчизняних та закордонних вчених в напрямках, які знайшли відображення в роботі. У роботі при визначенні напрямків розвитку електроенергетики враховувалися її циклічність, системність, рівень розвитку вітчизняного електромашинобудування та супутніх галузей, зроблено висновок, що найбільш

вірогідним і перспективним для України є стабілізаційно-стагнаційний сценарій, згідно з яким перспективною є теплова енергетика і що протягом достатньо довгого часу базовими залишаться теплові та атомні електростанції і, відповідно, актуальні роботи подальшого вдосконалення ТГ, як для підвищення надійності їхньої роботи на блоках електростанцій в умовах тривалої експлуатації, так і для підтримки конкурентоспроможності нових машин.

У *другому розділі* розглянуті питання створення нових ТГ та модернізації ТГ на блоках станцій з одночасною вимогою підвищення потужності, зниження питомої маси конструкцій, збереження габаритів для забезпечення можливості використання фундаментів та систем забезпечення подачі водню, води і оливи, а для ТГ потужністю 200-300 МВт ще з одночасною заміною агенту охолодження (водню на повітря), що є природним кроком розвитку систем охолодження турбогенераторів згідно з теорією циклічності розвитку енергетики і промисловості. Для ТГ зі зниженими масою і габаритами визначені допустимі межі зміни параметрів конструкцій, обрані напрямки вдосконалення технологій виготовлення ТГ з урахуванням особливостей режимів їхньої роботи на станціях, розроблено алгоритми механічних розрахунків елементів, які підлягають зміні. Всі пропозиції щодо зміни в конструкціях оцінювалися за умовою відповідності технічним вимогам до ТГ заводу-виробника та економічності їх виготовлення. Складена структурно-логічна схема процесу проектування ТГ зі зниженими масогабаритними показниками. Розглянута можливість збільшення потужності ТГ без зміни габаритів, що необхідно для збереження допоміжного обладнання і фундаментів на блоках станцій. Встановлено зв'язок між видом холодоагенту і масогабаритними показниками ТГ. Виконано розрахунок механічних напруг в різних елементах ТГ при дії вигину зі зсувом і розтягуванням.

В *третьому розділі* розглянуті проблеми та напрямки вдосконалення систем охолодження сучасних ТГ. Зазначено, що історія розвитку турбогенераторобудування фактично є історією інтенсифікації охолодження ТГ. Розглянута можливість переходу на повітряне охолодження в ТГ потужністю 200-300 МВт. Розглянуто різні варіанти компоновки теплообмінників, вплив

компонування та кількості ходів газу на теплові напруги, на розподіл температури і на її перепад на поверхні трубок охолоджувача. Оцінка теплового стану ТГ, який тривалий час в експлуатації, була проведена з використанням пакету SolidWorks, що уможливило отримання даних без фізичного моделювання. Розрахована допустима тривалість роботи ТГ з різними діапазонами зміни та різною швидкістю збільшення перевантаження. Для оребреної циліндричної трубки була розрахована і побудована графічна залежність коефіцієнта теплопередачі і швидкості течії води в трубках охолоджувача від необхідного об'єму води, що проходить через трубки. Визначено рекомендований діапазон використання охолоджувачів. Проведено аналіз і систематизовані несправності систем охолодження ТГ. Розроблена схема проведення діагностики і здійснення ремонту систем охолодження ТГ, що необхідно для своєчасної діагностики та усунення дефектів.

В *четвертому розділі* досліджено особливості роботи, обслуговування та ремонтів ТГ, які тривалий час в експлуатації, розроблено пропозиції щодо продовження терміну їх роботи. Запропонована класифікація ушкоджень ТГ, які довго в експлуатації, з метою визначення можливості продовження їх роботи. Визначено вплив якості технології виготовлення і схеми складання шихтованих осердь, експлуатаційних змін тиску опресування осердя на надійність і довговічність експлуатації всього ТГ. Проаналізовано причини зміни рівня опресування, як на етапі виготовлення, так і протягом усього експлуатаційного періоду. З використанням теорії деформації багат шарових структур розроблено модель, яка дає можливість оцінити вплив склеювання, схем складання і відносного ковзання листів на згинальну жорсткість осердя, що є показником його надійності. Для розрахунку додаткових сил в шихтованих осердях ТГ було розглянуто дію електромагнітних сил (ЕМС), які створюються потоками розсіювання в спинці осердя статора і в елементах його кріплення до корпусу в разі зміни активної і реактивної потужностей та напруги обмотки статора. Розраховані додаткові аксіальні зусилля в осерді, що виникають від дії потоків розсіювання і замикаються через елементи конструктивної частини ТГ.

Сформульовано перелік вимог, яким повинна задовольняти конструкція лобових частин для забезпечення синхронізації вібрацій окремих елементів, зниження температурних напружень, підтримки властивостей під час тривалої експлуатації, забезпечення технологічності і ремонтпридатності. Встановлені основні дефекти працюючих і нових охолоджувачів, запропоновані прийоми діагностики і усунення їх дефектів.

У *додатках* наведено порівняння характеристик різних типів електростанцій України, механічний розрахунок корпусу турбогенератора зі зменшеними масогабаритними показниками; тепловий і аеродинамічний розрахунок модернізованої конструкції газоохолоджувачів для ТГВ-200-2, акти впровадження, список публікацій з добувачки.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Розвинуто науково-технічні засади створення нових турбогенераторів і модернізації турбогенераторів, які перебувають в експлуатації, в напрямку наукового обґрунтування параметрів конструкцій, пропозицій щодо зміни в конструкціях, технологій виготовлення, розробки методологій діагностики та ремонту, що забезпечує їх ефективність та конкурентоспроможність.

2. Набуло подальший розвиток наукове положення, щодо контролю вібрації як найбільш результативного показника стану ТГ, що дало підставу при переході до обслуговування по фактичному стану та у разі продовження строку експлуатації ТГ скоротити кількість додаткових каналів діагностики.

3. Вперше за допомогою моделювання визначено тепловий і механічний стан модернізованих елементів ТГ та вплив швидкості зміни навантаження на ступінь деформації стрижнів обмоток і на стан ізоляції, вплив стану шихтованих осердь, схеми їхнього складання, рівня та якості опресування на експлуатаційну надійність і довговічність ТГ, що забезпечує підвищення якості проектування.

4. Визначено характер зміни температури по товщині ізоляції ТГ та вплив її перепаду на надійність ізоляції, що дало підставу зробити висновок про

безперспективність збільшення потужності ТГ шляхом підвищення номінальної напруги.

5. Вперше доведена необхідність під час визначення черговості вмикання ТГ в енергосистему враховувати їхній стан, а також те, що підтримувати номінальні параметри енергосистеми України доцільно турбогенераторами ТЕС потужністю 200-300 МВт, і що використання для цього турбогенераторів АЕС неприпустимо.

6. Вперше запропоновано науковий підхід до розрахунку показників динаміки приросту комплексного показника уніфікації, який підтверджує дієвість виконаних прийомів зі зниження питомої маси ТГ. Вперше для ТГ з повітряним охолодженням отримані середні значення показників динаміки приросту комплексного масового та об'ємного показника уніфікації, що підтвердило можливість зниження маси і габаритів ТГ в разі проведення зміни компоновки неактивної зони ТГ.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків та рекомендацій базується на аналізі науково-технічних джерел за даною проблемою, коректній постановці мети і задач дослідження, коректному використанню положень теорії електричних машин, теоретичних основ електротехніки, теорій теплообміну і опору матеріалів та методів математичного моделювання.

Теоретичні результати підтверджені експериментальними даними, отриманими під час виконання ремонтних робіт і сервісного обслуговування ТГ на блоках теплових та атомних електростанцій.

Практична цінність результатів роботи полягає у розробці методики розрахунку механічної надійності стандартних профілів і оцінки різних варіантів конструкцій, що можуть бути використані при проектуванні та модернізації ТГ з підвищенням потужності та зі збереженням габаритних розмірів, запропонованих змінах конструкцій ТГ потужністю 200-300 МВт при переході до повітряного охолодження, встановлених особливостях роботи і

обслуговування ТГ, які тривалий час перебували в експлуатації (вібрація найбільш інформаційний показник стану), запропонованих додаткових коефіцієнтах, що дозволяють враховувати вплив старіння металів і зміни навантаження на стан ТГ, загальному коефіцієнті технологічної оснащеності як критерію технічного рівня заводу-виробника ТГ, критерії для визначення їх допустимої тривалості роботи з перевантаженням.

Результати роботи впроваджено на ВП «Запорізька АЕС», на ВП «Хмельницька АЕС», на ДП «Завод «Електроважмаш», на Зміївській ТЕС, на ПрАТ «Харківська ТЕЦ-5», в навчальному процесі НТУ «ХПІ», НУ цивільного захисту України, Харківського Регіонального інституту проблем громадської охорони здоров'я, Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського.

Апробація результатів дисертації підтверджується тим, що основні результати роботи доповідались та обговорювались на 58 Міжнародних конференціях і Міжнародних симпозіумах.

Також результати роботи були представлені на 18 регіональних, міжвузівських конференціях і конференціях наукових Рад України.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях. Результати дисертаційної роботи відображені в 115 наукових працях: в 4 монографіях (3 – у співавторстві), в 88 статтях в профільних наукових журналах (2 – в журналах, які мають індексацію в базі Scopus, 4 – в базі Web of Science, 79 – в фахових і закордонних журналах, 3 – в Міжнародних промислових журналах), в 1 авторському свідоцтві та в 5 патентах України, 17 – в матеріалах міжнародних конференцій.

Наукові публікації автора в цілому адекватно відображають зміст дисертації та всі положення, що винесені на захист.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації.

Зміст автореферату повного мірою відображає основні положення, висновки і рекомендації, наведені у дисертації, а його оформлення відповідає чинним вимогам за своїм обсягом, структурою і змістом.

Використання у докторській дисертації результатів наукових досліджень захищеної кандидатської дисертації. У докторській дисертації здобувачки відсутні матеріали кандидатської дисертації.

Зауваження по дисертаційній роботі.

1. Не зовсім чітко сформульована науково-прикладна проблема, яка вирішена в дисертації. Один із можливих варіантів її формулювання наведено у відгуку опонента.

2. Пункти 1, 2, 4 і 13 на погляд опонента, недоцільно було вносити в наукову новизну отриманих результатів, так як стосуються загальних питань електроенергетики і турбогенераторів.

3. Більшість пунктів наукової новизни подано як перелік отриманих результатів без дотримання відповідних вимог щодо їх формулювання. При цьому до наукових результатів віднесено методики, порівняльний аналіз, тощо. Необхідне більш чітке їх формулювання.

4. Деякі висновки по розділам дисертації подано як перелік зробленого (розділ 2 - п.13, 14, тощо).

5. Використовуються недопустимі в технічній літературі висловлювання: "довгі" машини; "короткі" машини; при порівнянні - "краще", "гірше", тощо.

6. Для перевірки обраної геометрії ТГ запропоновано використовувати коефіцієнт $\lambda = l_s/D_s$, однак таке його використання відомо. Необхідність включення паралельно синхронним генераторам асинхронізованих генераторів також відомо.

7. Деякі матеріали дисертації необхідно було віднести до оглядової частини дисертації (1-й розділ), наприклад параграф 3.1.2 (коротка історія розвитку систем охолодження турбогенераторів), тощо.

8. Мають місце орфографічні помилки і неточності.

Вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Шевченко Валентини Володимирівни «Науково-технічні засади підтримки конкурентоспроможності турбогенераторів і забезпечення їхньої ефективної роботи при тривалій експлуатації» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.09.01 - електричні машини і апарати.

Дисертація є завершеною науковою роботою, в якій вирішена важлива науково-прикладна проблема розвитку науково-технічних засад створення нових турбогенераторів і модернізації турбогенераторів, які перебувають в експлуатації, для забезпечення їх ефективної роботи і конкурентоспроможності.

Враховуючи новизну, теоретичну і практичну значимість виконаних досліджень, вважаю, що робота відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо докторських дисертацій, а Шевченко Валентина Володимирівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.01 - електричні машини і апарати.

Офіційний опонент
завідувач відділу електромеханічних систем
Інституту електродинаміки
Національної академії наук України,
доктор технічних наук, професор



Л.І.Мазуренко - Л.І.Мазуренко

Мазуренко Л.І.
Підписав/ла засвідчую

Кривонос І.В.
Начальник відділу

23.12.2019