

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційної роботи *Назаренко Вячеслава Вікторовича* на тему «Дослідження напружено-деформованого стану елементів ротору турбогенераторів з метою обґрунтування підвищення міцності методами тривимірного моделювання», представлену на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

На засіданні кафедри аерогідродинаміки за участі:

Третяка Олексія Володимировича, д.т.н., доцента, завідувача кафедри аерогідродинаміки «ХАІ»;

Обідіна Дмитра Миколайовича, д.т.н., професора, професора кафедри аерогідродинаміки «ХАІ»;

Чмовжа Віталія Віталійовича, к.т.н., доцента, професора «ХАІ», професора кафедри аерогідродинаміки «ХАІ»;

Бреги Дмитра Андрійовича, к.т.н., доцента, професора кафедри аерогідродинаміки «ХАІ»;

Репетенка Михайла Володимировича, к.т.н., доцента, доцента кафедри аерогідродинаміки «ХАІ»;

Кашенка Олександра Олександровича, к.т.н., доцента, доцента кафедри аерогідродинаміки «ХАІ»;

Смика Сергія Івановича, к.т.н., доцента кафедри аерогідродинаміки «ХАІ»;

Сургайло Марії Леонідівни к.т.н., доцента кафедри аерогідродинаміки «ХАІ»;

Кравченка Станіслава Сергійовича, PhD, старшого викладача кафедри аерогідродинаміки «ХАІ»;

Арефьєвої Марії Олександрівни, PhD, доцента кафедри аерогідродинаміки «ХАІ»;

Соколової Вікторії Вікторівни, асистента кафедри аерогідродинаміки «ХАІ»;

Мадонича Андрія Олексійовича, асистента кафедри аерогідродинаміки «ХАІ»;

Мірошнікова Віталія Юрійовича, д.т.н., професора, завідувача кафедри міцності літальних апаратів «ХАІ»;

Мінко Олександра Миколайовича, к.т.н., старшого дослідника, начальника НДЧ Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут»;

Широкого Юрія Вячеславовича, к.т.н., доцента, декана факультету авіаційних двигунів, професора кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем «ХАІ»;

Сметанкіної Наталі Володимирівни, д.т.н., професорки, завідувачки відділу вібраційних і термоміцнісних досліджень Інституту енергетичних машин і систем ім. А.М. Підгорного НАН України;

Риндюка Дмитра Вікторовича, к.т.н., доцента, доцента кафедри теплової та альтернативної енергетики Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",

відбулася публічна презентація дисертаційної роботи *Назаренко Вячеслава Вікторовича* на тему **«Дослідження напружено-деформованого стану елементів ротору турбогенераторів з метою обґрунтування підвищення міцності методами тривимірного моделювання»**.

На підставі обговорення змісту презентації дисертаційної роботи ухвалено такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації (результати голосування – одноголосно).

1. Актуальність теми дослідження

Дисертаційну роботу присвячено створенню методів дослідження напружено-деформованого стану елементів ротору турбогенераторів для вирішення актуальних питань щодо підвищення міцності його елементів з розв'язанням сукупності задач термопружності та теплопровідності в тривимірній постановці з використанням методу скінчених елементів.

Складність оцінки запасів міцності елементів конструкцій та вузлів турбогенераторів великої потужності під впливом температурних і силових навантажень обумовлена необхідністю комплексного розв'язання температурної та термопружної задач. При проєктуванні бандажного вузла ротора турбогенератора розв'язання цього комплексу задач, пов'язане з визначенням термонапруженого стану конструкцій, ускладнюється наявністю попередніх натягів, впливом температурних полів, що залежать від параметрів роботи систем вентилявання, та багатьох інших факторів. Використання високолегованих сталей із високою твердістю та межею міцності як основного матеріалу бандажних кілець також потребує збільшення натягів, що може викликати появу тріщин у найбільш напружених елементах конструкції. Розв'язання задачі визначення напружено-деформованого стану елементів бандажного вузла при використанні виключно класичних інженерних методів не дозволяє отримати необхідну точність, що пов'язане з неможливістю ефективно враховувати всю сукупність факторів унаслідок наявності їх взаємного комплексного впливу. Було розроблено метод, що дозволяє більш точно розраховувати запаси міцності та визначати необхідні натяги завдяки розв'язанню сукупності задач термопружності та теплопровідності в тривимірній постановці з використанням методу скінчених елементів із передачею початкових і граничних умов між задачами. При проведенні дослідження з використанням розробленого методу були визначені уточнені коефіцієнти запасів міцності елементів бандажного вузла в стані спокою, при номінальній і угонній частотах обертання.

Метою дисертаційної роботи є обґрунтування підвищення міцності елементів ротору турбогенераторів на основі розроблених методів

дослідження напружено-деформованого стану його елементів з використанням тривимірного комп'ютерного моделювання.

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

Дисертаційна робота виконана в Національному аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут».

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше створений новий метод розрахунку бандажного вузла ротора, що відрізняється від існуючих завданням фактичних натягів нерівномірних контактних поверхонь («носик» та «спинка»), теплових граничних умов I роду та фактичної геометрії пазів ротора при номінальній та критичній (угонній) частотах обертання.

2. Удосконалено метод розрахунку напружено-деформованого стану бочки вала з фрезерованими під обмотку пазами, що на відміну від існуючих містить уточнення сітки для концентраторів напружень, задані граничні умови I роду, отриманих з кореляції експериментальних та аналітичних даних та завдання реальних модулів пружності.

3. Розроблено метод розрахунку напружено-деформованого стану клиновидних елементів струмопідводу ротора, в якому на відміну від існуючих ураховуються відцентрові сили та контактні напруження, обумовлені технологією збирання.

4. Удосконалено метод обчислення критичних частот вала ротора в частині завдання еквівалентних перерізів в тривимірній постановці та завдання уточнених податливостей опор.

5. Набули подальшого розвитку існуючі інженерні методи розрахунку напружено-деформованого стану конструкції бандажного вузла ротора в частині уточнення сил, викликаних відцентровою складовою від дії лобової частини обмотки та врахування геометрії зубця для обчислення роз'єднувальної частоти.

Теоретичне та практичне значення результатів роботи

1. В роботі уточнено запаси міцності для найбільш навантажених елементів ротора турбогенератора та обґрунтовано можливість використання сучасних матеріалів для їх виготовлення.

2. Розроблено та впроваджено метод розрахунку бандажних вузлів роторів турбогенераторів великої та середньої потужностей. Показана можливість удосконалення конструкції зі збереженням посадкових поверхонь.

3. Представлений метод дозволив обґрунтувати безпечну роботу турбогенератора в номінальному режимі з достатнім інтервалом між першою та другою критичними частотами для податливих опор.

4. Вперше обґрунтовано застосування розбірної конструкції елементів кріплення струмопідводу ротора турбогенератора та прорахована їх деформація.

Розроблені в роботі методи тривимірного розрахунку розподілу напружень можуть бути використані при дослідженні напружено-деформованого стану електричних машин різного призначення та іншого енергетичного обладнання.

Отримані наукові результати можуть бути застосовані в діяльності науково-дослідних і проєктних установ, конструкторських бюро, підприємств енергетичного сектору, аерокосмічних закладів вищої освіти, а також інших організацій, що спеціалізуються на дослідженні та експлуатації енергетичного обладнання.

4. Апробація/використання результатів дисертації

Основні результати роботи представлені на конференціях:

1. Gakal, P., Tretiak, I., Arefieva, M., **Nazarenko, V.** (2024). Thermal State Determination of the Heat Exchanger in the Three-Dimensional Setting. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Krytskyi, D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2023. ICTM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1008. Springer, Cham.* https://doi.org/10.1007/978-3-031-61415-6_28

2. О.В. Третяк, С.С. Кравченко, П.Г. Гакал, Б.К. Шестак, С.А. Сергієнко, **В.В. Назаренко.** Аналіз напружено-деформованого стану бандажного вузла для оцінки можливості підвищення потужності турбогенератора. *XXX - міжнародний конгрес двигунобудівників*: – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2025 – 65 с. <https://doi.org/10.32620/IPEC.25>

3. Oleksii Tretiak, **Viacheslav Nazarenko**, Serhii Serhiienko, Anton Zhukov, New methods for calculating of cooling systems of direct current electric machines: *Міжнародна науково-практична інтернет-конференція на тему «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення»* (випуск 103), 14-15 жовтня 2025 р. <http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-2321/>.

Розроблені автором наукові положення реалізовані:

- на АТ "Українські енергетичні машини" (м. Харків) при проєктуванні нових та реконструкції існуючих турбогенераторів великої потужності;
- в науково-методичних процесах кафедри Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут».

5. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Назаренко В. В. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагиату та запозичень. Зміст основних

розділів дисертації перевірено на наявність текстових запозичень в системі «TURNITIN». Текст рукопису дисертаційної роботи не містить ознак академічного шахрайства.

6. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 10 наукових публікацій, у тому числі:

- три статті у наукових фахових виданнях затверджених МОН України;
- три статті у наукових періодичних виданнях включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science та/або Scopus;
- три доповіді у збірниках праць конференцій, що проводилися в Україні;
- співавторство у написанні колективної монографії.

Статті у наукових фахових виданнях затверджених МОН України:

1. O. Tretiak, S. Kravchenko, O. Bohozhavets, **V. Nazarenko**, A. Zhukov. Methodology for Determining the Tension of Banding Rings of Medium-Power Turbogenerators. No. 1-2 (2023): *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Power and Heat Engineering Processes and Equipment*. ISSN: 2078-774X, <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2023.01.06>

Здобувачем розроблено метод та обчислені механічні напруження в елементах бандажного вузла ротора турбогенератора.

2. Gakal, P., Rybalchenko, I., Tretiyak, O., & **Nazarenko, V.** (2025). Experimental investigation of the performance of a loop heat pipe-based cooling system under ultra-high dypass ratio turbojet engine conditions. *Aerospace Technic and Technology*, 0(1), 14-27. <https://doi.org/10.32620/aktt.2025.1.02>

Здобувачем виконана розробка конструкції контурної теплової труби (КТТ), розробка експериментального стенду для дослідження процесів теплопередачі в системі охолодження на базі КТТ та валідація результатів дослідження.

3. Tretiak, O., Kravchenko, S., Gakal, P., Shestak, B., **Serhiienko, S.**, & Nazarenko, V. (2025). Створення методу визначення запасів міцності елементів конструкцій бандажних вузлів турбогенераторів. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*, 0 (4sup2), 149-159. <https://doi.org/doi.org/10.32620/aktt.2025.4sup2.17>.

Здобувачем проведено розв'язання задачі визначення напружено-деформованого стану елементів бандажного вузла, визначення граничних умов контактної поверхні та обчислені механічні напруження.

Статті у наукових періодичних виданнях включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science та/або Scopus:

4. Tretiak, O.; Kritskiy, D.; Kobzar, I.; Arefieva, M.; **Nazarenko, V.** The Methods of Three-Dimensional Modeling of the Hydrogenerator Thrust Bearing. *Computation* 2022, 10, 152., (Scopus Q2) <https://doi.org/10.3390/computation10090152>

Здобувачем виконана розробка принципової силової схеми навантаження на опорні елементи ротора великих електричних машин. Проведено розрахунок параметрів оливи та створено високоякісну розрахункову сітку;

5. Tretiak, O.; Kritskiy, D.; Kobzar, I.; Sokolova, V.; Arefieva, M.; Tretiak, I.; Denys, H.; **Nazarenko, V.** Modeling of the Stress–Strain of the Suspensions of the Stators of High-Power Turbogenerators. *Computation* 2022, 10, 191., (Scopus Q2) <https://doi.org/10.3390/computation10110191>

Здобувачем обчислено момент короткого замикання, що діє на елементи конструкції турбогенератора

6. Tretiak, O., Kravchenko, S., Mykhailychenko, O., **Nazarenko, V.**, Smyk, S., Vasyliiev, O., Arefieva, M., Tretiak, I., Serhiienko, S., & Selevko, V. (2025). Devising a method for calculating the structure of efficient cooling systems for thrust bearings and guide bearings in hydrogenerators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(1 (135)), 38–50. (Scopus Q3) <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.329021>;

Здобувачем розроблена принципова схема компонування з клиноподібними елементами роторів великих електричних машин, обґрунтовано вибір типу оливи та виконано дослідження температури.

Список публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Gakal, P., Tretiak, I., Arefieva, M., **Nazarenko, V.** (2024). Thermal State Determination of the Heat Exchanger in the Three-Dimensional Setting. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Krytskyi, D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2023. ICTM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1008. Springer, Cham.* https://doi.org/10.1007/978-3-031-61415-6_28

Здобувачем виконана розробка метода вибору граничних умов для теплового розрахунку турбогенератора;

8. О.В. Третяк, С.С. Кравченко, П.Г. Гакал, Б.К. Шестак, С.А. Сергієнко, **В.В. Назаренко.** Аналіз напружено-деформованого стану бандажного вузла для оцінки можливості підвищення потужності турбогенератора. *XXX - міжнародний конгрес двигунобудівників*: – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2025 – 65 с. <https://doi.org/10.32620/ІРЕС.25>

Здобувачем було розраховано мінімальний коефіцієнт запасу міцності при угонній частоті обертання та максимальному натягу, визначено, що максимальні контактні напруження виникають у центруючому кільці при нульовій частоті обертання та мають локальний характер.

9. Oleksii Tretiak, **Viacheslav Nazarenko**, Serhii Serhiienko, Anton Zhukov, New methods for calculating of cooling systems of direct current electric machines: *Міжнародна науково-практична інтернет-конференція на тему «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення»* (випуск 103), 14-15 жовтня 2025 р. <http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-2321/>.

Здобувачем виконана розробка методу обчислення температури струмопровідних компонентів обертових частин електричної машини та виконання задачі граничних умов I роду по поверхням.

Список публікацій, які додатково відображають наукові результати дисертації:

10. Третяк О. В., Ареф'єва М. О., Кобзар І. В., Репетенко М. В., Сергієнко С. А., Жуков А. Ю., Пеньковська Н. С., Селевко В. Б., **Назаренко В. В.** Методи та концепції розрахунку турбо- та гідрогенераторів у тривимірній постанові: монографія - Харків: КП «Міська друкарня», 2023 – 138 с. ISBN 978-617-619-284-8.

Здобувачем виконано аналіз загальної конструкції великих електричних машин, вибір матеріалів та обґрунтування режиму роботи (номінальний та критичний).

7. Висновок наукового керівника

Виконання індивідуального навчального плану, індивідуального плану наукової роботи, досягнення результатів навчання за відповідною науково-освітньою програмою та написання дисертації Назаренко Вячеславом Вікторовичем вважаю успішним. Дисертаційна робота є результатом самостійного дослідження, завершеною науковою працею, яка містить наукову новизну. Вона виконана на високому науковому рівні та відповідає всім установленим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії й може бути рекомендована до захисту, а її автор Назаренко Вячеслав Вікторович – до присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

Отже, вважаємо, що дисертаційна робота Назаренко Вячеслава Вікторовича на тему «Дослідження напружено-деформованого стану елементів ротору турбогенераторів з метою обґрунтування підвищення міцності методами тривимірного моделювання», представлена на здобуття ступеня доктора філософії, відповідає вимогам Порядку присудження

наукового ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44). Відтак, вона може бути представлена до захисту в разовій спеціалізованій раді для присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

Головуючий на засіданні
професор кафедри аерогідродинаміки
Національного аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»
д.т.н., професор



Дмитро ОБІДІН