

- ity of cementing of wells in the conditions of hydrogen sulphide aggression. OBZ. inf. Cerics Boring]. Moscow, VNIIO-ENG Publ., 1984. 52 p.
18. Agzamov F. A. *Izvestkovo-kremnezemnistye tamponazhnye materialy dlya krepleniya skvazhyn v usloviyakh vysokikh temperatur i korrozionno-aktivnykh sred* : Dis. ... Dr. tekhn. nauk (25.00.15) [Limestone-siliceous tamponage materials for mounting wells in high temperatures and corrosive environments. Dis. ... Dr. Sciences (25.00.15)]. Ufa, 1990. 45 p.
 19. Makarenko P. P., Bulatov A. I., Ryabova L. I. Serovodorodnaya korroziya tamponazhnogo kamnya v skvazhinakh [Hydrogen sulphide corrosion of slurry stone in wells]. *Tr. SKO RIO* [Tr. RIA RMS]. Moscow, 1996, pp. 54–67.
 20. Agzamov F. A., Izmukhambetov B. S. *Dolgovechnost' tamponazhnogo kamnya v korrozionno-aktivnykh sredakh* [Durability of the calcining stone in corrosion-active environments]. St. Petersburg, Nedra LLC, 2005. 318 p.
 21. Pereyema A. A., Petrakov Yu. I., Rabbits S. B. Korrozionnaya stoykost' tsementnogo kamnya v serovodorodnykh sredakh [Corrosion resistance of cement stone in hydrogen sulphide environments]. *Naftove gospodarstvo* [Oil economy]. 1986, no. 3, pp. 29–32.
 22. Nesterenko S. V., Donsky D. F., Neamakh A. Modelyuvannya antykorozijnogo zakhystu materialu obsadnoyi kolony v laboratornykh umovakh [Modeling of anticorrosive protection of casing material in laboratory conditions]. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya : Innovatsiyni doslidzhennya u naukovykh robotakh studentiv* [Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative Research in Students' Scientific Works]. 2019, no. 21 (1346), pp. 69–74. doi: 10.20998 / 2220-4784.2019.21.11.
 23. Lazutkin E. A., Kvesko N. G. Issledovaniye vliyaniya prirodnoy plastovoy vody na korroziyu stal'nykh trub, primenyayemykh pri stroitel'stve i ekspluatatsii nefte dobyvayushchikh skvazhin (na primere Yurubcheno-Tokhomskogo mestorozhdeniya "Molodoy uchenyy") [Investigation of the influence of natural formation water on the corrosion of steel pipes used in the construction and operation of oil wells (on the example of Yurubcheno-Tohomsky field)]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist]. 2017, no. 16 (150), pp. 184–187.
 24. Maksyutin A. V., Shangaraeva A. V., Sultanova D. A. Sposoby predotvrashheniya soletozhneniya pri razrabotke i ekspluatatsii zalezhey nefti [Ways to Prevent Salt Deposition in the Development and Operation of Oil Deposits]. *Zhurnal "Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya"* [Journal of Contemporary Issues of Science and Education]. 2015, no. 1.
 25. Tovozhnyanskiy L. L. *Konstruksionnyye metallicheskiye materialy v khimicheskom i neftegazovom mashinostroyenii : ucheb.posobie* [Structural metal materials in chemical and oil and gas mechanical engineering : textbook]. Kharkov, Pidruchnyk NTU "KhPI", 2012. 212 p. ISBN 978-966-2426-48-9.
 26. Bilets'kiy V. S., Smimov V. O. Modelyuvannya protsesiv pererobky korysnykh kopalyn : Monohrafiya [Modeling of mineral processing processes : Monograph]. Donetsk : East Publishing House, 2013. 304 p.

Надійшла (received) 16.01.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / Information about authors

Немах Амір Мохаммед Аладжмін (Немах Амир Мохаммед Аладжмин, Neamah Ameer Mohammed Alajmeen) – аспірант, Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут», м. Харків; тел.: (+964) 780-750-0835; e-mail: ameernema30@gmail.com; Orcid code: 0000-0001-5929-7847.

Донський Дмитро Федорович (Донской Дмитрий Федорович, Donsky Dmytro Fedorovich) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут», м. Харків; тел.: (095) 810-45-36; e-mail: dfdonsky@gmail.com. Orcid code: 0000-0003-3546-6110.

Нестеренко Сергій Вікторович (Нестеренко Сергей Викторович, Nesterenko Sergii Viktorovich) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, м. Харків; тел.: (066) 017-32-16; e-mail: nester.hnamg@gmail.com. Orcid code: 0000-0002-2089-6786.

УДК 621.165

М. М. НЕЧУЙВИТЕР

АСПЕКТИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЕПЛООВОГО СТАНУ КОРПУСІВ ЦИЛІНДРІВ ВИСОКОГО ТИСКУ ПАРОВИХ ТУРБІН В ПУСКОВИХ ТА ЗМІННИХ РЕЖИМАХ

Проведені дослідження щодо застосування методу зворотного формування температурної нерівномірності роз'ємних корпусів циліндрів парових турбін шляхом управління їх тепловим станом в пускових та змінних режимах. Виявлені критерії, а саме: температурних перепадів між ступенями; постійної різниці сумарних тангенціальних напружень від різниці тисків на стінку корпусу циліндра; температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра, регулювання котрих за відповідними їм програмами при пусках турбіни з різних теплових станів та роботі в змінних режимах, дозволяє стабілізувати тепловий стан корпусу циліндра. Запропоновані технічні рішення щодо підвищення техніко-економічних характеристик експлуатації парових турбін, енергоблоку.

Ключові слова: парова турбіна, корпус циліндра високого тиску, розкриття горизонтальних роз'ємів, управління тепловим станом, пускова мобільність.

М. М. НЕЧУЙВИТЕР

АСПЕКТЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСОВ ЦИЛИНДРОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН В ПУСКОВЫХ И ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМАХ

Проведены исследования относительно применения метода обратного формирования температурной неравномерности разъемных корпусов цилиндров паровых турбин путем управления их тепловым состоянием в пусковых и переменных режимах. Определены критерии, а именно: температурных перепадов между ступенями; постоянной разницы суммарных тангенциальных напряжений от разницы давлений на стенку корпуса цилиндра; температурных тангенциальных напряжений при линейном законе изменения температуры по радиусу цилиндра, регулирование которых по соответствующим им программам при пусках турбины из различных тепловых состояний и работе в переменных режимах, позволяет стабилизировать тепловое состояние корпуса цилиндра. Предложены технические решения применительно к повышению технико-экономических характеристик эксплуатации паровых турбин, энергоблока.

Ключевые слова: паровая турбина, корпус цилиндра высокого давления, раскрытие горизонтальных разъемов, управление тепловым состоянием, пусковая мобильность.

© М. М. Нечуйвітер, 2020

M. M. NECHUIVITER

ASPECTS OF STABILIZATION OF THE HEAT CONDITION OF HIGH PRESSURE CYLINDRICAL CASES OF STEAM TURBINES IN THE STARTING AND VARIABLE MODES

An application of the method of creating inverse temperature non-uniformity for steam turbine high pressure cylinder inner split housings by controlling their heat state in the starting and variable modes is studied. Criteria are defined, namely: temperature differences between steps; constant difference of total tangential stresses from the pressure difference on the wall of the cylinder body; tangential stresses of the temperature with the linear law of temperature change along the radius of the cylinder, regulation of which, according to their respective programs, allows to stabilize the heat state of the cylinder body when starting a turbine from various thermal conditions and exploiting it in variable modes. Technical solutions are proposed aimed at increasing the technical and economical characteristics of the operation of steam turbines and power unit.

Key words: steam turbine, high pressure cylinder housing, opening of horizontal sockets, heat state management, starting mobility.

Присвячується світлій пам'яті О. Г. Кнабе

Вступ. Підвищення технічної ефективності елементів існуючих парових турбін, турбоустановок електростанцій – це одна з актуальних проблем сучасної енергетики України.

Експлуатаційна надійність та довговічність турбоагрегату залежать від здійснення режимів пуску та зупини [1]. Останні при відхиленні від технологічних норм пускових операцій, режимів набору навантаження можуть приводити до низки аварійних наслідків як термінових, так і згодом, в часі. Це поява тріщин в корпусах турбін, клапанів та в паропроводах, прогинання роторів і циліндрів турбін, короблення фланців горизонтального роз'єму, ослаблення посадкових з'єднань, зміна структурного стану металу, підвищене зношення підшипників, а також низка інших неполадок, що зумовлені помилками при виконанні пускових операцій. Пуски блочних турбоагрегатів на до критичні та зверху критичні параметри вимагають виконання додаткових технологічно-пускових операцій у зв'язку з виникненням сумісних термічних та механічних напружень в елементах агрегату.

До основних змін механічного стану турбоагрегату під час пуску і набору навантаження відносяться:

- виникнення напружень в паропроводах, корпусах турбін і клапанах від внутрішнього тиску пари;
- виникнення напружень вигину в діафрагмах, дисках, направляючих і робочих лопатках;
- поява напружень від відцентрових сил в робочих лопатках, дисках, барабанах, втулках і інших елементах турбоагрегату, котрі обертаються;
- поява дотичних напружень на валу турбіни внаслідок передачі на вал генератора крутного моменту;
- знакозмінне виникнення напружень від вібрації в робочих лопатках, валах і інших елементах турбоустановки;
- поява вісьового зусилля, що діє на упорний підшипник; зміна радіальних зазорів в проточній частині турбіни;
- зміна посадочних напружень деталей ротора, що мають температурний натяг.

Тобто, в процесі пуску та набору навантаження турбіни в окремих вузлах та деталях турбоагрегату виникає напружений стан з можливими в деяких вузлах та деталях високими значеннями.

Для парових турбін, котрі працюють на зверху критичних та високих параметрах, при експлуатації їх в пускових режимах, режимах змінних навантажень з метою забезпечення вимог до техніко-економічних характеристик – економічності, маневреності, надійності, мобільності, довготривалості, продовження терміну експлуатації, необхідним є застосування перспективних методів управління їх тепловим станом, прогнозування та підтримання щільності горизонтального розкриття зовнішніх, внутрішніх корпусів циліндрів. Останнє вимагає вирішення задач, що пов'язані з низкою вузлів парової турбіни, котрі стримують швидкість пускових операцій, тим самим знижують розрахункові техніко-економічні характеристики. Експлуатація парових турбін на зверху критичні параметри пари на прикладі реконструйованого енергоблоку потужністю 300 МВт [2] з паровою турбіною ХТГЗ («Харьковский турбогенераторный завод», «Харьковский турбинный завод им. С. М. Кирова», АО "Турбоатом») на основі удосконалення існуючих конструктивних рішень показала, що проектна потужність турбіни навіть після її реконструкції дозволила підвищити технічну ефективність турбоустановки: внутрішній відносний коефіцієнт корисної дії турбіни, ККД, на 14,7 %). Слід відмітити, що результати цієї реконструкції фактично на 15 МВт не досягають проектної потужності, а внутрішній відносний ККД циліндра низького тиску (ЦНТ) парової турбіни на 4 % нижчий розрахункового.

Перспективним методом управління тепловим станом корпусів циліндрів парових турбін для вирішення вищезазначеної задачі є застосування методу зворотного формування температурної нерівномірності (ЗФТН) роз'ємних корпусів циліндрів, оскільки при цьому досягається розрахункова економічність проточної частини турбіни, маневреність, надійність, пускова мобільність на низці вузлів турбіни. Останній вимагає забезпечення

та виконання комплексу умов:

- для вузлів турбін, що експлуатувались, відновлення концентричності вузла турбіни (правка з установкою кріплення, наплавлення, проточка);
- вирішення питань нового затягнення кріплення роз'єму та відносного розширення ротора турбіни;
- вирішення конструктивних особливостей установки болтів на фланці кріплення роз'єму;
- дотримання низки технологічних умов – вибору термодинамічних параметрів (температурного перепаду, коефіцієнтів тепловіддачі) – визначення стаціонарних та нестаціонарних температурних полів вузлів турбін, зони застосування ЗФТН;
- постійного контролю концентричності вузлів турбіни після застосування ЗФТН;
- оцінки напруженості вузлів турбіни при *нульовому* електричному навантаженні $N_e = 0$ МВт;
- спрощення конструкції турбіни та вибору металу для виготовлення вузлів корпусів нових турбін.

Постановка задачі. Метою роботи є дослідження можливостей збільшення техніко-економічних характеристик турбоагрегату в пускових режимах, режимах збільшення навантаження енергоблоку шляхом застосування методу зворотного формування температурної нерівномірності (ЗФТН).

Задачі дослідження: виявлення критеріїв стабільності ЗФТН.

Матеріали дослідження. Аналіз розрахункових досліджень [3] показав наступне.

1) У циліндрі турбіни (рис. 1), що відповідає 2 – 5 ступеням з внутрішнім радіусом r_1 (500 мм) та зовнішнім радіусом r_2 (800 мм), довжиною циліндра l , у стані внутрішнього тиску середовища (пари) p_1 , $p_1 = \varphi_1(r_1, l)$ з температурою T_1 , $T_1 = \vartheta_1(r_1, l)$ та постійного зовнішнього тиску $p_2 = c_1$ з постійною температурою $T_2 = c_2$, температурний перепад в стінці внутрішнього тиску – це середня температура зовнішньої поверхні ступені, має залежність за ступенями:

$$\Delta T_{2-5} = 204, 184, 164, 144 \text{ } ^\circ\text{C},$$

тобто спостерігається постійна величина зменшення температури пари за ступенями на 20°C . Для застосування способу формування оберненої температурної нерівномірності необхідно забезпечення температурного перепаду між ступенями.

2) Сумарні тангенціальні напруження (рис. 2) $[\sigma_\Theta]_{r_1}^{\Delta p+t'}$, $[\sigma_\Theta]_{r_2}^{\Delta p+t'}$ – це, відповідно, напруження від різниці тисків Δp на стінку корпусу циліндра високого тиску та температурні тангенціальні напруження при лінійному законі зміни температури t' по радіусу циліндра при номінальному навантаженні $N_e = 300$ МВт. Експериментальні дані дозволяють фіксувати, що різниці вищезазначених сумарних тангенціальних напружень між ступенями згідно [3] наближені до сталої величини, приблизно 20 МПа.

Для застосування способу формування оберненої температурної нерівномірності необхідно підтримання постійної різниці сумарних тангенціальних напружень.

3) Тангенціальні напруження після застосування зворотного формування температурної нерівномірності циліндра високого тиску на поверхні f при номінальному навантаженні $N_e = 300$ МВт – це $[\sigma_\Theta]_{r_1}^f$, $[\sigma_\Theta]_{r_2}^f$. Експериментальні дані [3] дозволяють фіксувати, що різниці сумарних тангенціальних напружень від різниці тисків Δp на стінку корпусу циліндра високого тиску, температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури t' по радіусу циліндра r та тангенціальних напружень після застосування ЗФТН – це Δ_1 , Δ_2 , тобто, $\Delta_1 = \{[\sigma_\Theta]_{r_1}^{\Delta p+t'} - [\sigma_\Theta]_{r_1}^f\}$, та $\Delta_2 = \{[\sigma_\Theta]_{r_2}^{\Delta p+t'} - [\sigma_\Theta]_{r_2}^f\}$, змінюються в діапазоні 10–20 МПа. Підтримання постійної різниці Δ_1 , Δ_2 ... на ступенях 2–5 ЦВТ дозволяє забезпечити стабільність застосування ЗФТН.

Здійснювати спосіб формування оберненої температурної нерівномірності необхідно за параметром температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра.

Застосування методу ЗФТН дозволяє підвищити маневрені характеристики парових турбін не тільки застосуванням обігріву фланців та шпильок циліндра високого тиску, але й без обігріву останніх при умові розробки програми ЗФТН при пусках турбіни з різних теплових станів.

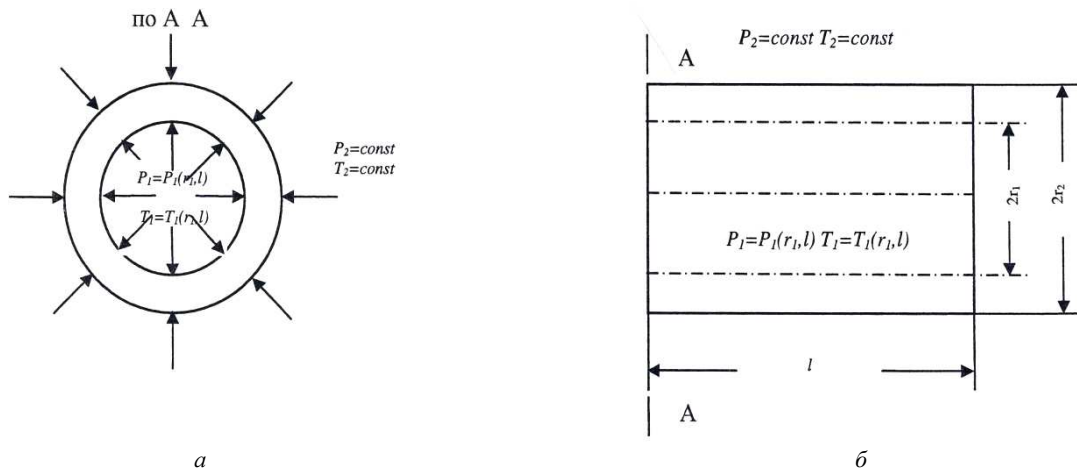


Рис. 1 – Циліндр з внутрішнім r_1 та зовнішнім r_2 радіусами: *a* – напрям підводу пари з тиском p_1 та температурою T_1 ; *б* – напрям підводу пари з параметрами p_1, T_1 у вісьовій проекції.

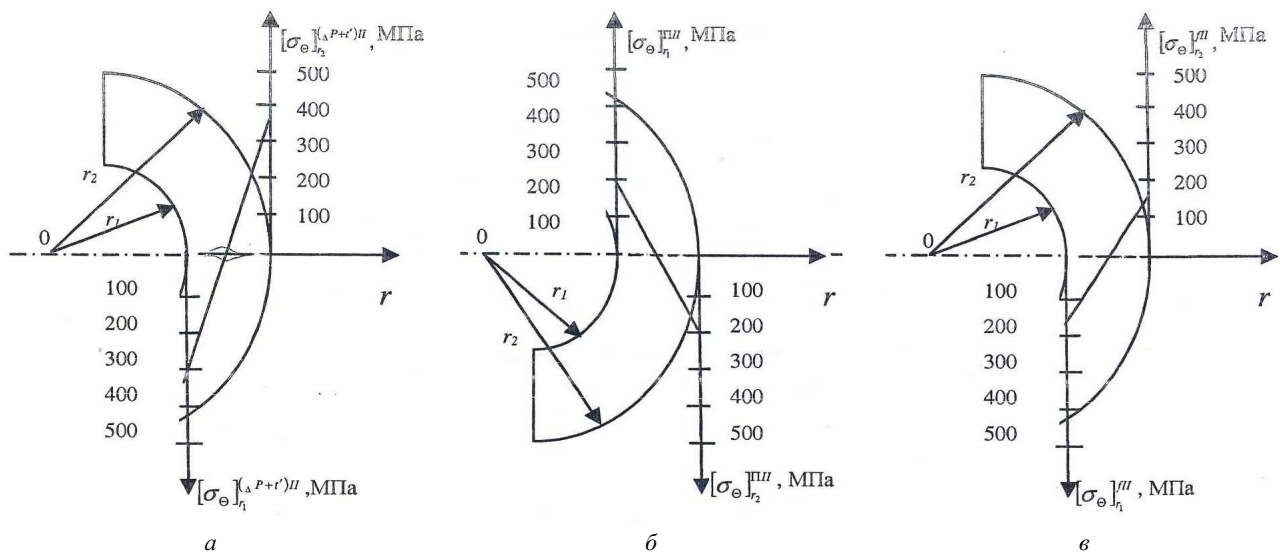


Рис. 2 – Тангенціальні сумарні напруження внутрішнього корпусу ЦВТ в зоні 2-го ступеня після застосування ЗФТН при навантаженні $N_e = 300$ МВт: *a* – сумарні тангенціальні напруження в зоні 2-го ступеня до ЗФТН (на роз’ємі показана щілина протікання пари при $N_e = 300$ МВт); *б* – температурні тангенціальні напруження в зоні 2-го ступеня при застосуванні ЗФТН та при $N_e = 0$ МВт; *в* – сумарні тангенціальні напруження в зоні 2-го ступеня після застосування ЗФТН при $N_e = 300$ МВт.

Результати дослідження. Згідно [3] доцільним є застосування ЗФТН: без обігріву фланців та шпильок в різні періоди після пуску при умові розробки програми ЗФТН при пусках турбіни з різних теплових станів; з обігрівом фланців та шпильок при удосконалених сумісних програмах при пусках турбіни з різних теплових станів.

Для забезпечення застосування ЗФТН при умові розробки програми ЗФТН для пусків турбіни з різних теплових станів запропоновані способи формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз’ємів корпусів циліндра високого тиску парової турбіни [4, 5, 6].

В пропонуваніх способах формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз’ємних корпусів ЦВТ парової турбіни, що працює в режимі наближеному до номінального, регулюють температурні перепади (напори) між ступенями, сумарні тангенціальні напруження між ступенями, температурні тангенціальні напруження при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра.

На рис. 3 зображена схема реалізації способів формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз’ємів корпусів ЦВТ в режимах, що наближені до номінального навантаження турбіни.

Способи формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз’ємних корпусів циліндра

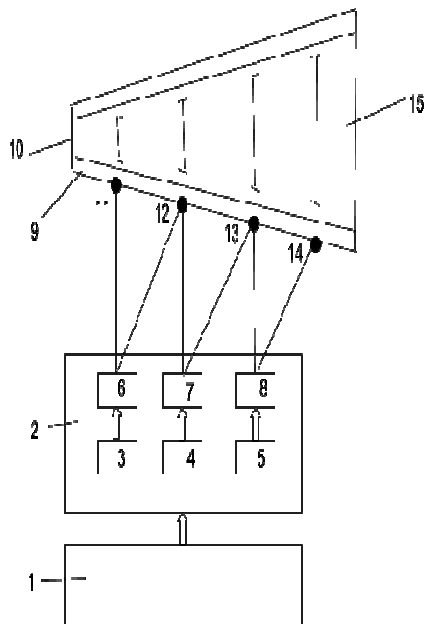


Рис. 3 – Схема реалізації способів формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз'ємних корпусів ЦВТ.

Реалізація за способом формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз'ємних корпусів циліндра високого тиску парової турбіни за параметром постійної різниці сумарних тангенціальних напружень здійснюється за схемою згідно рис. 3, що включає програмний блок формування постійної різниці сумарних тангенціальних напружень оберненої температурної нерівномірності 1, котрий підключено до програмного блоку формування та регулювання постійної різниці сумарних тангенціальних напружень 2, з блоками постійної різниці сумарних тангенціальних напружень 3, 4, 5 та регуляторами постійної різниці сумарних тангенціальних напружень 6, 7, 8, що підключені до точок корпусу 9, турбіни 10, відповідно до другого 11, та третього 12, ступенів, до третього 12, та четвертого 13, ступенів, до четвертого 13, та п'ятого 14, ступенів ЦВТ 15.

Реалізація за способом формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз'ємних корпусів циліндра високого тиску парової турбіни за параметром температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра здійснюється за схемою згідно рис. 3, що включає програмний блок формування температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра між ступенями 1, котрий підключено до програмного блоку формування та регулювання температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра між ступенями 2, з блоками температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра між ступенями 3, 4, 5 та регуляторами температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра між ступенями 6, 7, 8, що підключені до точок корпусу 9, турбіни 10, відповідно до другого 11, та третього 12, ступенів, до третього 12, та четвертого 13, ступенів, до четвертого 13, та п'ятого 14, ступенів ЦВТ 15.

Пропоновані способи формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз'ємних корпусів циліндра високого тиску парової турбіни реалізуються за схемою рис. 3, котра ідентична для всіх трьох способів, наступним чином.

При роботі парових турбін в режимах, що наближені до номінального навантаження по схемі на рис. 3, інформації програмних блоків формування температурного напору оберненої температурної нерівномірності, формування постійної різниці сумарних тангенціальних напружень оберненої температурної нерівномірності, формування температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра між ступенями 1 задають програми температурних перепадів між ступенями, постійної різниці сумарних тангенціальних напружень між ступенями, температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра між ступенями 2 з блоками температурного перепаду, постійної різниці сумарних тангенціальних напружень, температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра між ступенями 3, 4, 5 і регуляторами температурного перепаду, постійної різниці сумарних тангенціальних напружень, температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра 6, 7, 8, від яких сформовані оперативні сигнали поступають до точок корпусу 9

високого тиску парової турбіни здійснюються за параметрами:

- температурного напору;
- постійної різниці сумарних тангенціальних напружень;
- температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра.

Реалізація за способом формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз'ємних корпусів циліндра високого тиску парової турбіни за параметром температурного напору здійснюється за схемою згідно рис. 3, котра включає програмний блок формування температурного напору оберненої температурної нерівномірності 1, котрий підключено до програмного блоку формування та регулювання температурних перепадів 2 з блоками температурного перепаду 3, 4, 5 та регуляторами температурного перепаду 6, 7, 8, що підключені до точок корпусу 9 турбіни 10 відповідно до другого 11 та третього 12 ступенів, до третього 12 та четвертого 13 ступенів, до четвертого 13 та п'ятого 14 ступенів ЦВТ 15.

турбіни 10 відповідно до другого 11 та третього 12 ступенів, до третього 12 та четвертого 13 ступенів, до четвертого 13 та п'ятого 14 ступенів ЦВТ 15 та регулюють нагрів корпусу турбіни.

Використання запропонованих способів формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз'ємних корпусів циліндра високого тиску парової турбіни дозволяє, в порівнянні з існуючими способами, досягти максимального коефіцієнта корисної дії ЦВТ парової турбіни в режимах, що наближені до номінального, та підвищити її маневреність.

Перспективи подальших досліджень. Використання запропонованих способів формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз'ємних корпусів циліндра високого тиску парової турбіни дозволяє стабілізувати тепловий стан корпусу, досягти максимального коефіцієнта корисної дії циліндра високого тиску парової турбіни в режимах, що наближені до номінального, та підвищити її маневреність.

Висновки. Стабільність теплового стану корпусу циліндра високого тиску парової турбіни (не розкриття горизонтального роз'єму корпусу) визначається експлуатаційними термодинамічними, експлуатаційними механічними критеріями стану ступенів циліндра, отриманням максимального коефіцієнта корисної дії ЦВТ парової турбіни та підвищенням її маневреності в режимах, що наближені до номінального. При способі зворотного формування температурної нерівномірності стабільність досягається регулюванням: температурних перепадів між ступенями; постійної різниці сумарних тангенціальних напружень; температурних тангенціальних напружень при лінійному законі зміни температури по радіусу циліндра між ступенями.

Список літератури

1. Капелович Б. Э. Эксплуатация паротурбинных установок. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 304 с.
2. Кнабе А. Г. Способ повышения экономичности и маневренности разъемных корпусов турбин на высокие параметры пара // Проблемы машиностроения. – 2010. – Т. 13. – № 6. – С. 3 – 8.
3. Кнабе О. Г., Нечуйвітер М. М., Шелепов І. Г. Доцільність застосування методу зворотного формування температурної нерівномірності для роз'ємних корпусів циліндрів парових турбін // Вісник НТУ «ХПІ». Серія : Енергетичні та теплотехнічні процеси та устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 13. – С. 55 – 60.
4. Нечуйвітер М. М., Кнабе О. Г. Пат. 112336, Україна. Спосіб формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз'ємних корпусів циліндра високого тиску парової турбіни / М. М. Нечуйвітер, О. Г. Кнабе. – 2016.
5. Нечуйвітер М. М., Кнабе О. Г. Пат. 121288, Україна. Спосіб формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз'ємних корпусів циліндра високого тиску парової турбіни / М. М. Нечуйвітер, О. Г. Кнабе. – 2017.
6. Нечуйвітер М. М., Кнабе О. Г. Пат. 134028, Україна. Спосіб формування оберненої температурної нерівномірності внутрішніх роз'ємних корпусів циліндра високого тиску парової турбіни / М. М. Нечуйвітер, О. Г. Кнабе. – 2019.

References (transliterated)

1. Kapelovich B. E. *Eksploatatsiya paroturbinnikh ustanovok* [Steam-turbine plant operation]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1985. 304 p.
2. Knabe A. G. Sposob povysheniya ekonomichnosti i manevrennosti raz'yomnykh korpusov turbin na vysokie parametry para [Method for improving efficiency and control response of turbine split housing at high steam parameters]. *Problemy mashinostroeniya* [Problems of Mechanical Engineering]. 2010, vol. 13, no. 6, pp. 3–8.
3. Knabe A. G., Nechuyviter M. M., Shelepov I. G. Dotsil'nist' zastosuvannya metodu zvorotnogo formuvannya temperaturnoyi nerivnomirnosti dlya roz'yemnykh korpusiv tsylindriv parovykh turbin [Feasibility of the method of reverse forming of uneven temperature for split housings of steam turbine cylinders]. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya : Energetichni ta teplotekhnichni protsesy ta ustatkuvannya* [Bulletin of NTU "KhPI". Series : Energy and thermal engineering processes and equipment]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2014, no. 13, pp. 55–60.
4. Nechuyviter M. M., Knabe A. G. *Sposib formuvannya obernenoyi tempereturnoyi nerivnomirnosti vnutrishnikh roz'yemnykh korpusiv tsylindra vysokogo tysku parovoyi turbiny* [Method of creating inverse temperature non-uniformity for steam turbine high pressure cylinder inner split housings]. Patent UA, no. 112336, 2016.
5. Nechuyviter M. M., Knabe A. G. *Sposib formuvannya obernenoyi tempereturnoyi nerivnomirnosti vnutrishnikh roz'yemnykh korpusiv tsylindra vysokogo tysku parovoyi turbiny* [Method of creating inverse temperature non-uniformity for steam turbine high pressure cylinder inner split housings]. Patent UA, no. 121288, 2017.
6. Nechuyviter M. M., Knabe A. G. *Sposib formuvannya obernenoyi tempereturnoyi nerivnomirnosti vnutrishnikh roz'yemnykh korpusiv tsylindra vysokogo tysku parovoyi turbiny* [Method of creating inverse temperature non-uniformity for steam turbine high pressure cylinder inner split housings]. Patent UA, no. 134028, 2019.

Надійшла (received) 03.02.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / Information about authors

Нечуйвітер Марія Михайлівна (Нечуйвітер Мария Михайловна, Nechuyviter Maria Michailivna) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків; тел.: (057) 733-78-03; e-mail: nmmaria1947@gmail.com.