

*А.С. КОЛЯДЮК, Н.Г. ШУЛЬЖЕНКО*

### **ОЦЕНКА ПОЛЗУЧЕСТИ КОРПУСА РЕГУЛИРУЮЩЕГО КЛАПАНА ТУРБИНЫ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ПАРА**

Рассматривается влияние температуры подаваемого пара на рабочие и прочностные характеристики при ползучести корпуса регулирующего клапана паровой турбины К-325. В настоящее время клапаны эксплуатируются при подаче пара с давлением 24 МПа и температурой 540°C. Выполнен анализ влияния повышения температуры подаваемого пара до 565°C. Исследование проводилось в связи с возможным повышением температуры пара для увеличения мощности турбины. Температура и давление пара на стенки корпуса определяются на основе численного решения уравнений Навье-Стокса в трехмерной постановке. Установлено, что повышение температуры подаваемого пара мало влияет на характер распределения температуры и давления на стенки корпуса клапана. Температурные поля и давление пара на стенки корпуса клапана используются для дальнейшего решения задач прочности корпусов регулирующих клапанов турбины К-325 на стационарном режиме работы. Численно определяется напряженно-деформированное состояние корпуса клапана паровой турбины на стационарном режиме работы. Задача решалась методом конечных элементов в трехмерной постановке. Результаты показали, что максимальные упругие напряжения на внешних поверхностях наблюдаются в районе верхнего перехода входного патрубка. На внутренних поверхностях максимальные величины упругих напряжений наблюдаются в зоне патрубков перед регулирующими клапанами. Определено, что повышение температуры подаваемого пара до 565°C незначительно влияет на напряженное состояние корпуса клапана. Ползучесть корпуса рассчитывалась с использованием модели неявной ползучести с упрочнением, учитывающей переменную и постоянную составляющие ползучести. Оценено влияние температуры подаваемого пара на ползучесть корпуса клапана. Результаты свидетельствуют, что повышение температуры подаваемого пара на 25°C приводит к повышению деформации ползучести в 2,3 раза после 200 тыс. ч. эксплуатации. Значения температур, давления и эквивалентных напряжений приводятся на поверхностях корпуса, а характеристики ползучести – в форме кривых для 540°C и 565°C.

**Ключевые слова:** система парораспределения, турбина, расчет, температура корпуса, напряженно-деформированное состояние, ползучесть.

*А.С. КОЛЯДЮК, М.Г. ШУЛЬЖЕНКО*

### **ОЦІНКА ПОВЗУЧОСТІ КОРПУСУ РЕГУЛЮЮЧОГО КЛАПАНА ТУРБИНИ ПРИ ПІДВИЩЕННІ ТЕМПЕРАТУРИ ПАРИ**

Розглядається вплив температури подаваної пари на робочі і міцнісні характеристики при повзучості корпусу регулюючого клапана парової турбіни К-325. В даний час клапани експлуатуються при подачі пари з тиском 24 МПа і температурою 540°C. Виконано аналіз впливу підвищення температури подаваної пари до 565°C. Дослідження проводилося у зв'язку з можливим підвищенням температури пари для збільшення потужності турбіни. Температура і тиск пари на стінки корпусу визначаються на основі чисельного рішення рівнянь Нав'є-Стокса в тривимірній постановці. Встановлено, що підвищення температури подаваної пари мало впливає на характер розподілу температури і тиску на стінки корпусу клапана. Температурні поля і тиск пари на стінки корпусу клапана використовуються для подальшого вирішення завдань міцності корпусів регулюючих клапанів турбіни К-325 на стаціонарному режимі роботи. Чисельно визначається напружено-деформований стан корпусу клапана парової турбіни на стаціонарному режимі роботи. Завдання вирішувалося методом скінченних елементів в тривимірній постановці. Результати показали, що максимальні пружні напруження на зовнішніх поверхнях спостерігаються в районі верхнього переходу вхідного патрубка. На внутрішніх поверхнях максимальні величини пружних напружень спостерігаються в зоні патрубків перед регулюючими клапанами. Визначено, що підвищення температури подаваної пари до 565°C незначно впливає на напружений стан корпусу клапана. Повзучість корпусу розраховувалася з використанням моделі неявної повзучості із зміцненням, що враховує змінну і постійну складові повзучості. Оцінено вплив температури подаваної пари на повзучість корпусу клапана. Результати свідчать, що підвищення температури подаваної пари на 25°C призводить до підвищення деформації повзучості в 2,3 рази після 200 тис. г. експлуатації. Значення температур, тиску і еквівалентних напружень наводяться на поверхні корпусу, а характеристики повзучості - у формі кривих для 540°C і 565°C.

**Ключові слова:** система паророзподілу, турбіна, розрахунок, температура корпусу, напружено-деформований стан, повзучість.

*A.S. KOLIADIUK, M.H. SHULZHENKO*

### **ESTIMATION OF CREEP OF THE TURBINE CONTROL VALVE BODY AT INCREASED STEAM TEMPERATURE**

The influence of the temperature of the supplied steam on the operating and strength characteristics during creep of the control valve body of the steam turbine K-325 is considered. Currently, the valves are operated with steam supply with a pressure of 24 MPa and a temperature of 540°C. The analysis of the effect of increasing the temperature of the supplied steam up to 565°C. The study was car-

ried out in connection with a possible increase in steam temperature to increase the power of the turbine. The temperature and pressure of steam on the walls of the vessel are determined based on the numerical solution of the Navier-Stokes equations in a three-dimensional setting. It was found that an increase in the temperature of the supplied steam has little effect on the nature of the distribution of temperature and pressure on the walls of the valve body. Temperature fields and steam pressure on the walls of the valve body are used to further solve the problems of the strength of the control valve bodies of the K-325 turbine in a stationary mode of operation. The stress-strain state of the valve body of a steam turbine in a stationary mode of robots is numerically determined. The problem was solved by the finite element method in a three-dimensional setting. The results showed that the maximum elastic stresses on the outer surfaces are observed in the region of the upper transition of the inlet pipe. On the inner surfaces, the maximum values of elastic stresses are observed in the area of the branch pipes in front of the control valves. It was determined that an increase in the temperature of the supplied steam up to 565°C insignificantly affects the stress state of the valve body. The creep of the body was calculated using a model of implicit creep with hardening, taking into account the variable and constant creep components. The influence of the temperature of the supplied steam on the creep of the valve body is estimated. The results indicate that an increase in the temperature of the supplied steam by 25°C leads to an increase in creep deformation by a factor of 2.3 after 200 thousand hours of operation. Temperatures, pressures, and equivalent stresses are plotted at the body surfaces and creep curves are plotted at 540°C and 565°C.

**Key words:** steam distribution system, turbine, calculation, body temperature, stress-strain state, creep.

**Вступлення.** В настоящее время важное значение имеет повышение рабочих характеристик и надежности энергетических агрегатов при повышении их мощности. Ресурс высокотемпературных узлов и частей паровых турбин существенно зависит от ползучести их элементов (1). Надежная работа системы парораспределения турбины влияет на работоспособность всего энергоблока. Исполнительные органы систем регулирования паровых турбин включают стопорные и регулирующие клапаны. В современной паровой турбине К-325 стопорный и два регулирующих клапана расположены в одном общем корпусе, представляющем собой отливку сложной конфигурации [1]. Перегретый пар подводится по патрубку в центральную камеру (под стопорным клапаном) и подается далее в камеру, общую для двух регулирующих клапанов, расположенных в том же корпусе [2]. Как показывает опыт эксплуатации, в центральной камере клапана и патрубках перед регулируемыми клапанами обнаруживаются трещины, что требует проведения значительных ремонтно-восстановительных работ. В связи с этим актуальной является задача прочности корпуса регулирующего клапана для оценки причин его возможных повреждений.

Клапан эксплуатируется на переходных режимах – пусках из холодного, горячего и неостывшего состояний и стационарных режимах работы [3]. Прочность корпуса клапана на стационарных режимах работы определяется его ползучестью. В данной работе рассматривается влияние температуры подаваемого

пара на рабочие и прочностные характеристики при ползучести корпуса регулирующего клапана паровой турбины К-325. В данный момент клапаны эксплуатируются при подаче пара с давлением 24 МПа и температурой 540°C. Анализ влияния повышения температуры подаваемого пара до 565°C проводится в связи с возможным повышением температуры для увеличения мощности турбины.

**Оценка температурного состояния корпуса клапана.** В работе рассматривается влияние повышения температуры подаваемого пара до 565°C на статическую прочность и ползучесть корпуса регулирующего клапана. В работах [4, 5] рассматривались вопросы определения распределения давления на стенках и температуры корпуса клапана на стационарных режимах работы. Температура и давление пара на стенки корпуса определяются численным решением уравнений Навье-Стокса [6].

На рис. 1, 2 показаны распределения температурных полей в корпусе клапана для разных температур подаваемого пара. Как видно из результатов, повышение температуры незначительно повлияло на перепад температур в корпусе клапана. Значение максимальных градиентов температур составило 4°C и 5°C для температуры подаваемого пара 540°C и 565°C соответственно. При этом повысилось только само значение температур, а характер распределения остался подобным.

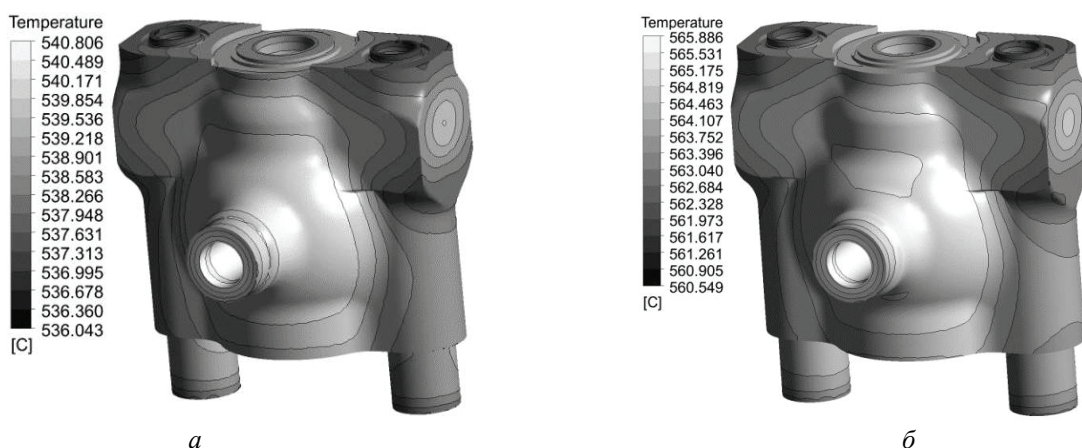


Рисунок 1 – Температура наружной поверхности корпуса клапана: а – при 540°C; б – при 565°C

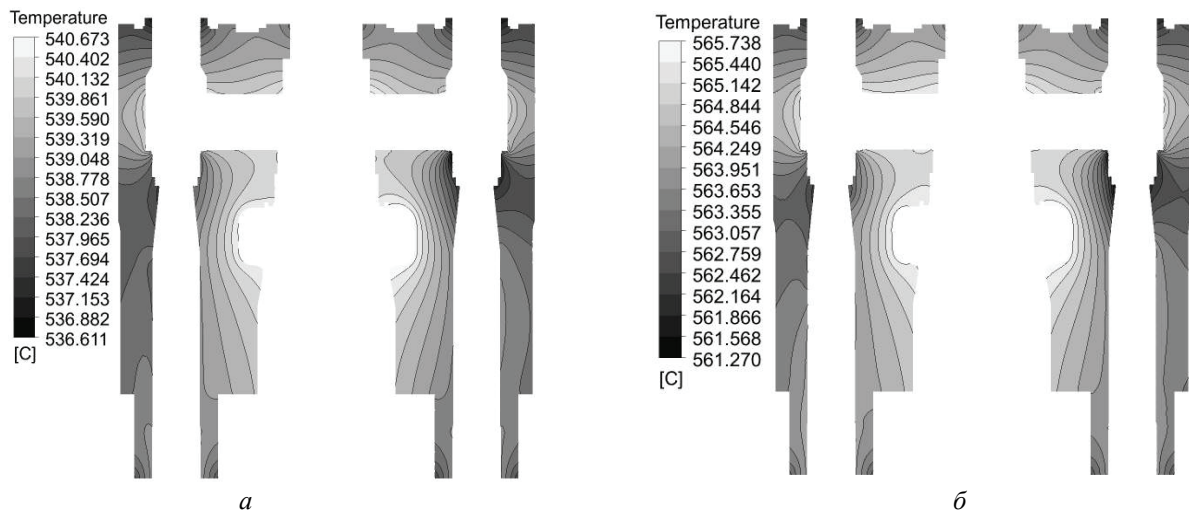


Рисунок 2 – Температура в сечении корпуса клапана: а – при 540°C; б – при 565°C

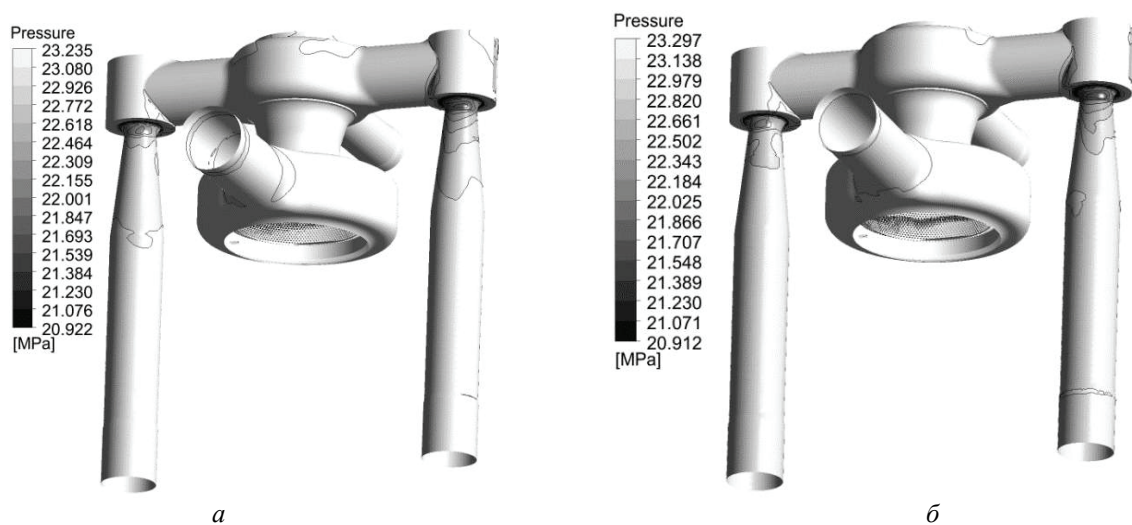


Рисунок 3 – Давление пара на стенки корпуса клапана: а – при 540°C; б – при 565°C

На рис. 3 показано распределение давления пара на стенки корпуса при разных значениях температуры подаваемого пара. Из полученных результатов следует что для двух вариантов температуры, максимальные значения и характер распределение давления на стенках корпуса практически одинаковы.

Можно сказать, что повышение температуры с 540°C до 565°C почти не влияет на характер распределения температуры и давления на стенки корпуса (отличия не превышают 1%). Эти данные использовались для дальнейшего решения задач прочности корпусов регулирующих клапанов турбины К-325 на стационарном режиме работы.

**Анализ напряженно-деформированного состояния корпуса клапана.** На первом этапе исследования ползучести выполнен расчет упругого напряженно-деформированного состояния по трехмерной модели корпуса [7]. Задача решалась методом конечных элементов в трехмерной постановке. Полные деформации в точке описываются следующим уравнением

$$\{\varepsilon_n\} = \{\varepsilon^{th}\} + [D]^{-1} \{\sigma_e\},$$

где  $\{\sigma_e\}$  – вектор упругих напряжений;  $[D]$  – матрица жесткости;  $\{\varepsilon_n\}$  – вектор упругих деформаций;  $\{\varepsilon^{th}\} = \Delta T [\alpha_x^{se}, \alpha_y^{se}, \alpha_z^{se}, 0, 0, 0]^T$  – вектор температурной деформации;  $\alpha_x^{se}, \alpha_y^{se}, \alpha_z^{se}$  – коэффициенты температурного расширения.

На рис. 4,5 показаны результаты решения задачи напряженно-деформированного состояния для разных температур подаваемого пара. Результаты расчетов свидетельствуют, что повышение температуры пара несущественно влияет на напряженное состояние корпуса клапана. Установлено, что для температуры подаваемого пара 540 °C упругие напряжения внешних поверхностей корпуса от совместного воздействия температуры и давления пара в клапане не превышают в основном 60 МПа. Максимальные упругие напряжения на внешних поверхностях наблюдаются в районе верхнего перехода входного патрубка. На внутренних поверхностях максимальные величины упругих напряжений наблюдаются в зоне патрубков перед регулирующими клапанами ( $\sigma_{max} = 82$  МПа). В нижней части центральной камеры, в районе входного патрубка, напряжения достигают 55 МПа, в верхней части – 43 МПа.

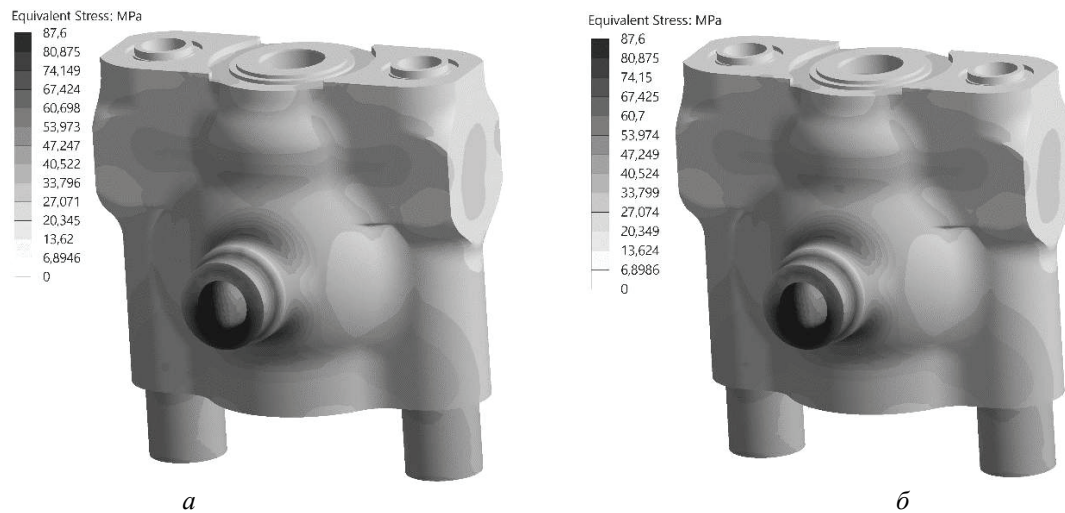


Рисунок 4 – Упругие напряжения на наружных поверхностях корпуса клапана: *a* – при 540 °С; *б* – при 565 °С

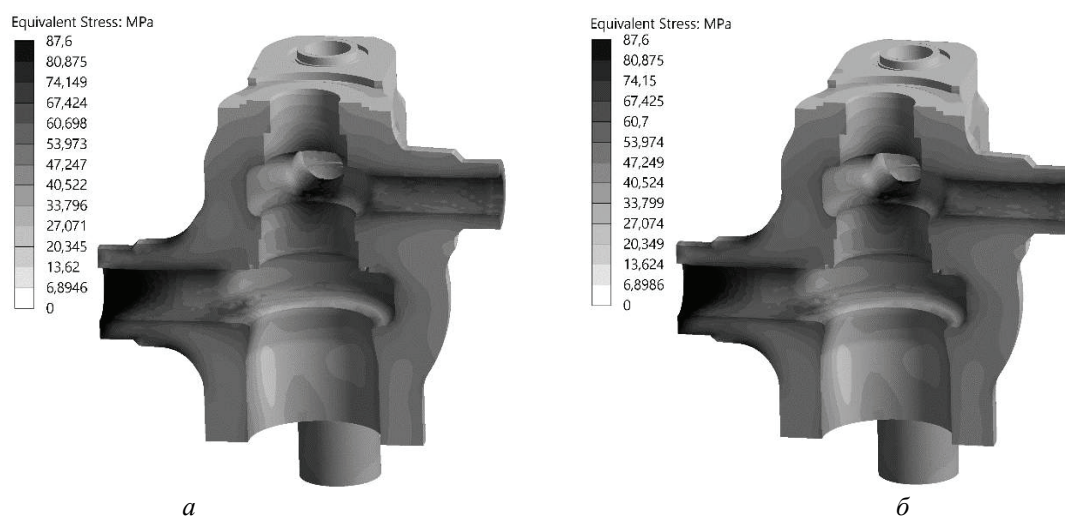


Рисунок 5 – Упругие напряжения в корпусе клапана: *a* – при 540°С; *б* – при 565°С

Можно сказать, что повышение температуры подаваемого пара до 565 °С незначительно влияет на напряженное состояние корпуса клапана (не более 1 %).

**Оценка ползучести корпуса клапана.** Ползучесть корпуса рассчитывалась с использованием модели неявной ползучести с упрочнением. Используемая модель позволяет учесть переменную и постоянную составляющие ползучести. Уравнения ползучести интегрируются по явной схеме Эйлера, что эффективно при малых значениях накопленной деформации ползучести. Общая упругая деформация определялась как:

$$\{\varepsilon'_n\} = \{\varepsilon_n\} - \{\varepsilon_n^{pl}\} - \{\varepsilon_n^{th}\} - \{\varepsilon_{n-1}^{cr}\}$$

где  $\{\varepsilon_n^{pl}\}$  – вектор деформации пластичности;  $\{\varepsilon_n^{th}\}$  – вектор температурной деформации;  $\{\varepsilon_{n-1}^{cr}\}$  – вектор деформации ползучести.

Общая эквивалентная деформация определяется соотношением

$$\varepsilon_{et} = \frac{1}{\sqrt{2}(1+\nu)} \left[ (\varepsilon'_x - \varepsilon'_y)^2 + (\varepsilon'_y - \varepsilon'_z)^2 + (\varepsilon'_z - \varepsilon'_x)^2 + \right.$$

$$\left. + \frac{3}{2}(\gamma'_{xy})^2 + \frac{3}{2}(\gamma'_{yz})^2 + \frac{3}{2}(\gamma'_{zx})^2 \right]$$

где  $\varepsilon'_x, \varepsilon'_y, \varepsilon'_z, \gamma'_{xy}, \gamma'_{yz}, \gamma'_{zx}$  – значения соответствующих компонент эквивалентной деформации;  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Эквивалентные упругие напряжения определяются формулой

$$\sigma_e = 3G\varepsilon_{et},$$

где  $G = E/2(1 + \nu)$  – модуль сдвига;  $E$  – модуль Юнга.

Эквивалентная деформация ползучести находится как скалярная величина из уравнения

$$\varepsilon^{cr} = \frac{C_1 \sigma_e^{C_2} t^{C_3+1} e^{-C_4/T}}{C_3 + 1} + C_5 \sigma_e^{C_6} t e^{-C_7/T},$$

где  $C_1 \dots C_7$  – константы модели ползучести. Используемая модель неявной ползучести с упрочнением учитывает переменную и постоянную составляющие ползучесть.

Мера приращения деформации ползучести в заданной точке интегрирования находится из выражения  $C_s = \Delta\varepsilon^{cr} / \varepsilon^{et}$ . Так как используется явная процедура интегрирования (все значения в уравнениях при-



ращения, кроме температуры, относятся к моменту времени  $t_{n-1}$ ) устойчивость решения определяется величиной шага по времени. Шаг выбирался так, чтобы наибольшее значение  $C_S$  для всех элементов во всех точках интегрирования не превышало 0,05, что позволило получить устойчивое решение.

Приращения компонент деформации ползучести можно представить в виде полного тензора деформаций

$$\Delta \varepsilon_x^{cr} = \frac{\Delta \varepsilon^{cr} (2\varepsilon'_x - \varepsilon'_y - \varepsilon'_z)}{\varepsilon_{et} 2(1+\nu)}; \quad \Delta \varepsilon_y^{cr} = \frac{\Delta \varepsilon^{cr} (2\varepsilon'_y - \varepsilon'_z - \varepsilon'_x)}{\varepsilon_{et} 2(1+\nu)};$$

$$\Delta \varepsilon_z^{cr} = -\Delta \varepsilon_x^{cr} - \Delta \varepsilon_y^{cr}; \quad \Delta \varepsilon_{xy}^{cr} = \frac{\Delta \varepsilon^{cr}}{\varepsilon_{et}} \frac{3}{2(1+\nu)} \gamma'_{xy};$$

$$\Delta \varepsilon_{yz}^{cr} = \frac{\Delta \varepsilon^{cr}}{\varepsilon_{et}} \frac{3}{2(1+\nu)} \gamma'_{yz}; \quad \Delta \varepsilon_{xz}^{cr} = \frac{\Delta \varepsilon^{cr}}{\varepsilon_{et}} \frac{3}{2(1+\nu)} \gamma'_{xz}.$$

Упругие деформации и суммарные деформации ползучести вычисляются по зависимостям

$$(\varepsilon_x^{el})_n = (\varepsilon'_x)_n - \Delta \varepsilon_x^{cr}; \quad (\varepsilon_y^{el})_n = (\varepsilon'_y)_n - \Delta \varepsilon_y^{cr};$$

$$(\varepsilon_z^{el})_n = (\varepsilon'_z)_n - \Delta \varepsilon_z^{cr}; \quad (\varepsilon_x^{cr})_n = (\varepsilon'_x)_{n-1} + \Delta \varepsilon_x^{cr};$$

$$(\varepsilon_y^{cr})_n = (\varepsilon'_y)_{n-1} + \Delta \varepsilon_y^{cr}; \quad (\varepsilon_z^{cr})_n = (\varepsilon'_z)_{n-1} + \Delta \varepsilon_z^{cr}.$$

Учитывая предельные упругие напряжения и тепловое состояние корпуса клапана, для определения констант модели ползучести использовались четыре кривые ползучести для стали 15X1M1Ф соответствующие температурам 550°C, 525 °C и напряжениям 80, 60 МПа [8, 9]. Расчет ползучести проводился до 200 тыс. часов работы клапана.

Расчетными исследованиями определены деформации ползучести корпуса клапана на стационарном

режиме работы в неоднородном тепловом поле. Можно отметить, что деформации ползучести наблюдаются на внутренних поверхностях корпуса клапана, при этом наружные поверхности практически не испытывают ползучести.

На рис. 6 показаны максимальные деформации ползучести в зависимости от времени для разных температур подаваемого пара. Полученные за 200 тыс. ч. эксплуатации деформации ползучести не превышают 0,136% для температуры подаваемого пара 540°C. Для температуры подаваемого пара 565°C максимальные деформации ползучести составили 0,32% за 200 тыс. ч. эксплуатации.

Как показали расчетные исследования, значения деформации ползучести в корпусе клапана значительно меньше допустимых деформаций – около 1% с учетом запаса. Исходя из того, что на практике в корпусе клапана обнаруживают трещины после четырех лет эксплуатации (около 35 тыс. часов), можно утверждать по полученным результатам с повышением температуры до 565°C, что ползучесть материала не является основной причиной наличия трещинообразования при эксплуатации клапана.

Как показали расчетные исследования, значения деформации ползучести в корпусе клапана значительно меньше допустимых деформаций – около 1% с учетом запаса. Исходя из того, что на практике в корпусе клапана обнаруживают трещины после четырех лет эксплуатации (около 35 тыс. часов), можно утверждать по полученным результатам с повышением температуры до 565°C, что ползучесть материала не является основной причиной наличия трещинообразования при эксплуатации клапана.

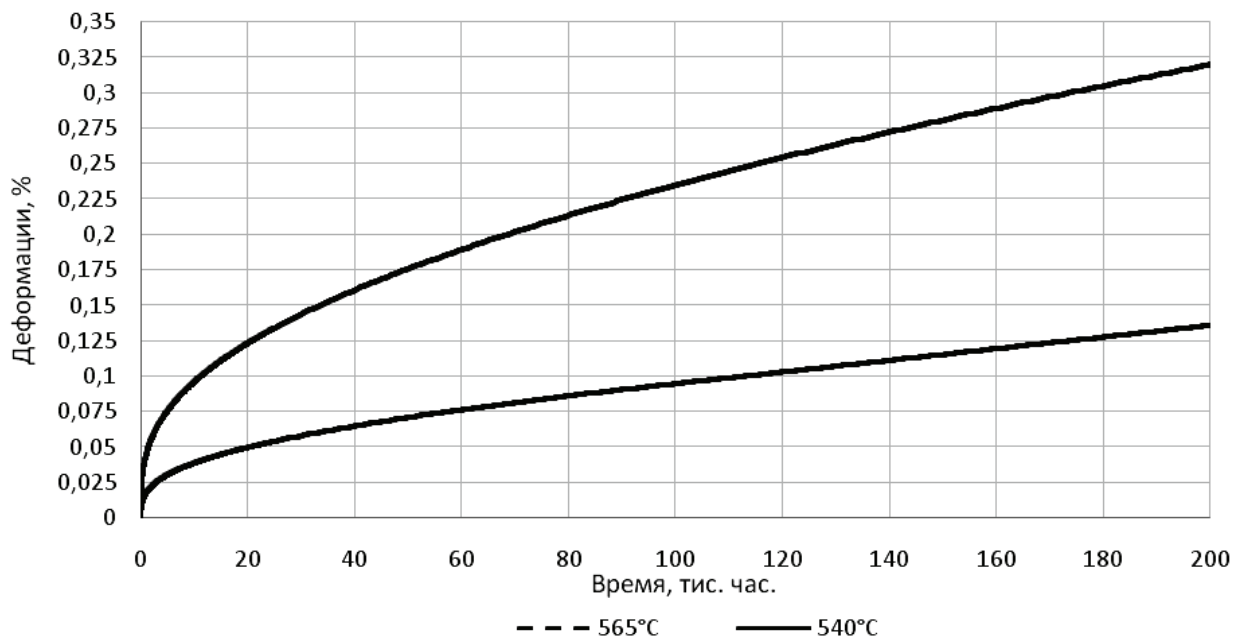


Рисунок 6 – Деформации ползучести в патрубке перед регулирующим клапаном

**Выводы.** Осуществлено численное решение в трехмерной постановке задач течения пара и теплопроводности в системе парораспределения турбины

К-325 для двух вариантов температуры подаваемого пара. Определены граничные условия для решения задачи прочности. Повышение температуры с 540 °C

до 565 °С незначительно влияет на характер распределения температур в корпусе и давления на его стенках (отличия не превышают 1%).

При этом решение задачи напряженно-деформированного состояния показало, что повышение температуры подаваемой пары до 565 °С незначительно влияет на напряженное состояние корпуса клапана (не более 1%).

Решение задачи ползучести корпуса для двух вариантов температур в трехмерной постановке показало, что повышение температуры подаваемого пара на 25°С имеет значительное влияние. Так, при температуре подаваемого пара 540°С, полученные деформации ползучести не превышают 0,136% за 200 тыс. ч. эксплуатации. При температуре подаваемого пара 565°С, максимальные деформации ползучести составили 0,32% за 200 тыс. ч. эксплуатации. Исходя из этого можно сказать, что повышение температуры подаваемого пара на 25°С приводит к повышению деформации ползучести в 2,3 раза после 200 тыс. ч. эксплуатации.

#### Список литературы

1. Шульженко Н.Г., Гонтаровский П.П., Зайцев Б.Ф. Задачи термочности, вибродиагностики и ресурса энергоагрегатов. Модели, методы, результаты исследований. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 370 с. ISBN 978-3-8465-1493-1.
2. Зарянкин А.Е., Симонов Б.П. Регулирующие и стопорно-регулирующие клапана паровых турбин. Москва: МЭИ, 2005. 360 с.
3. Плоткин Е.Р., Лейзерович А.Ш. Пусковые режимы паровых турбин энергоблоков. Москва: Энергия, 1980. 192 с.
4. Колядюк А.С., Шульженко Н.Г., Бабаев И.Н. Численное моделирование течения пара в регулировочном клапане турбины. Вестник двигателестроения. 2011. № 2. С. 106-110. ISSN 1727-0219.
5. Колядюк А.С., Шульженко Н.Г., Ершов С.В. Течение пара и распределение температуры в системе парораспределения турбины для различных режимов ее работы. Авиационно-космическая техника и технология. 2012. № 7. С. 85-90. ISSN 1727-7337.
6. Menter F.R. Eddy Viscosity Transport Equations and their Relation to  $k-\omega$  the Model. NASA Technical Memorandum 108854. November. 1994.
7. Koliadiuk A.S., Shulzhenko M.H. Thermal and stress state of the steam turbine control valve casing, with the turbine operation in the stationary modes. Journal of Mechanical Engineering. 2019. Vol.22, no. 2. P. 37-44. ISSN 0131-2928.

8. Шульженко Н.Г., Колядюк А.С. Оценка ползучести корпуса регулирующего клапана паровой турбины К-325. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Харків: НТУ «ХПІ», 2014. № 11. С. 125-131. ISSN 2078-774X.

9. Шульженко Н.Г., Колядюк А.С. Оценка влияния формы камеры на течение пара и на ползучесть корпуса регулирующего клапана турбины. Проблемы машиностроения. 2015. № 3. С. 45-53. ISSN 0131-2928.

#### References (transliterated)

1. Shul'zhenko N.G., Gontarovskij P.P., Zajcev B.F. Zadachi termoprochnosti, vibrodiagnostiki i resursa jenergoagregatov. Modeli, metody, rezul'tatyissledovanij. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 370 p. ISBN 978-3-8465-1493-1
2. Zaryankin A.Ye., Simonov B.P. Reguliruyushchiye i stoporno-reguliruyushchiye klapana parovykh turbin [Regulating and stop-regulating valves of steam turbines]. Moscow: Moscow Power Engineering Institute, 2005. 360 p.
3. Plotkin Ye.R., Leyzerovich A.Sh. Puskovyerezhimy-parovykh turbin energoblokov [Start-up modes of steam turbines of power units]. Moscow: Energiya, 1980. 192 p.
4. Kolyadyuk A.S., Shulzhenko N.G., Babayev I.N. Chislennoye modelirovaniye techeniya para v regulirovochnom klapane turbiny [Numerical simulation of steam flow in a turbine control valve]. Vestnik dvigatelestroyeniya – Engine Building Bulletin. 2011. No. 2. P. 106-110.
5. Kolyadyuk A.S., Shulzhenko N.G., Yershov S.V. Tечeniye para i raspredeleniye temperatury v sisteme paroraspedeleniya turbiny dlya razlichnykh rezhimov yeye raboty [Steam flow and temperature distribution in the steam distribution system of a turbine for various modes of its operation]. Aviatsionno kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya – Aerospace Technic and Technology. 2012. No. 7. P. 85-90.
6. Menter F.R. Eddy Viscosity Transport Equations and their Relation to  $k-\omega$  the Model. NASA Technical Memorandum 108854. November. 1994.
7. Koliadiuk A.S., Shulzhenko M.H. Thermal and stress state of the steam turbine control valve casing, with the turbine operation in the stationary modes. Journal of Mechanical Engineering. 2019. Vol. 22, no. 2. P. 37-44. ISSN 0131-2928.
8. Shulzhenko N.G., Kolyadyuk A.S. Otsenka polzuchesti korpusa reguliruyushchego klapana parovoy turbiny K-325 [Evaluation of the creep of the control valve body of the K-325 steam turbine]. Visnyk NTU «KhPI». Seria Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy y ustatkuvannya – Bulletin of the NTU "KhPI": Power and Heat Engineering Processes and Equipment. 2014. No. 11. P. 125-131.
9. Shulzhenko N.G., Kolyadyuk A.S. Ocenka vlijanija formy kamery na techenie para i na polzuchest' korpusa reguliruyushchego klapana turbiny. Problemy mashinostroeniya. 2015. № 3. P. 45-53. ISSN 0131-2928.

Поступила (received) 25.09.2019

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Колядюк Андрей Сергеевич (Колядюк Андрій Сергійович, Koliadiuk Andrii Sergiyovich)** – начальник лаборатории анализа прочности оборудования АЕС, ДП «ДНІЦ СКАР», Киев, Украина. Тел.:0990777154. E-mail: duk86@outlook.com

**Шульженко Николай Григорьевич (Шульженко Микола Григорович, Shulzhenko Mykola Hrigorovich)** доктор технических наук; профессор, ведущий научный сотрудник, ИПМаш НАНУ, Харьков. Украина. Тел.:0679343623. E-mail: shulzh@ipmach.kharko.ua )