

УДК 621.822.172

Влияние параметров истечения водяного пара на эрозионный износ оксидных покрытий трубной решетки в среде свинцового теплоносителя

Н.С. Волков, Т.А. Бокова, А.Г. Мелузов, Т.К. Зырянова, Р.В. Сумин, М.Д. Погорелов, С.Е. Шашков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева», г. Нижний Новгород 603950, Россия

Поступила в редакцию 20.08.2024.

После доработки 30.11.2024.

Принята к публикации 10.12.2024.

Представлены результаты экспериментальных исследований стойкости защитных оксидных покрытий нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т в среде свинцового теплоносителя, при моделировании аварийной ситуации «межконтурная неплотность парогенератора». Испытания проводились на стенде ФТМ-2023 НГТУ в свинцовом теплоносителе с температурой до 430—450 °С, без циркуляции. Трубный пучок для моделирования течи парогенератора при истечении лёгкой фазы представляет собой два ряда труб 22×3,5 приваренных к пластине с шагом в 33 мм. Данные получены для трубных пучков с двумя разными видами отверстий для истечения паровой фазы: щелевое отверстие 13×1 мм и круглое отверстие диаметром 4 мм. Обработка и анализ результатов позволили сделать вывод о том, что при попадании пароводяной смеси в контур ТЖМТ происходит утонение оксидных покрытий в зависимости от места расположения трубки в пучке и от формы отверстия истечения. Происходит заметное уменьшение микротвёрдости (на 49 HV для трубного пучка с круглым отверстием истечения и на 23 HV для трубного пучка с прямоугольным отверстием истечения), что проявляется сильнее при приближении к отверстию истечения и зависит от ориентации поверхности трубки, на которую падает смесь, относительно неплотности. Полученные данные рекомендуется использовать при оценке последствий большой течи парогенератора горизонтального исполнения в установках с ТЖМТ.

Ключевые слова: течь парогенератора, свинцовый теплоноситель, горизонтальный парогенератор, износ оксидного покрытия, микротвёрдость, трубная решетка.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-541-547

Адрес для переписки:

Н.С. Волков
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева», г. Нижний Новгород 603950, Россия
e-mail: volkov.ns@nmtu.ru

Для цитирования:

Н.С. Волков, Т.А. Бокова, А.Г. Мелузов, Т.К. Зырянова, Р.В. Сумин, М.Д. Погорелов, С.Е. Шашков

Влияние параметров истечения водяного пара на эрозионный износ оксидных покрытий трубной решетки в среде свинцового теплоносителя

Трение и износ.

2024. – Т. 45, № 6. – С. 541–547.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-541-547

Address for correspondence:

N.S. Volkov
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev”,
Nizhny Novgorod 603950, Russia
e-mail: volkov.ns@nmtu.ru

For citation:

N.S. Volkov, T.A. Bokova, A.G. Meluzov, T.K. Zyryanova, R.V. Sumin, M.D. Pogorelov, and S.E. Shashkov.

[The Influence of Water Vapor Flow Parameters on the Erosive Wear of Oxide Coatings of a Tube Sheet in a Lead Coolant Environment].

Trenie i Iznos.

2024, vol. 45, no. 6, pp. 541–547 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-541-547

The Influence of Water Vapor Flow Parameters on the Erosive Wear of Oxide Coatings of a Tube Sheet in a Lead Coolant Environment

N.S. Volkov, T.A. Bokova, A.G. Meluzov, T.K. Zyryanova, R.V. Sumin, M.D. Pogorelov, and S.E. Shashkov

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev”,
Nizhny Novgorod 603950, Russia

Received 20.08.2024.

Revised 30.11.2024.

Accepted 10.12.2024.

Abstract

The article presents the results of experimental studies of the durability of protective oxide coatings of 12X18N10T stainless steel in a lead coolant environment, when simulating an emergency situation of “inter-circuit leakage of a steam generator”. The tests were carried out on the FTM-2023 NSTU stand in a lead coolant with a temperature of up to 430—450 °C, without circulation. The tube bundle for simulating a steam generator leak during the outflow of the light phase is two rows of 22x3.5 pipes welded to a plate with a pitch of 33 mm. The data were obtained for tube bundles with two different types of holes for the outflow of the vapor phase: a slit hole of 13x1 mm and a round hole with a diameter of 4 mm. The processing and analysis of the results allowed us to conclude that when a steam-water mixture enters the HLMC circuit, the oxide coatings become thinner depending on the location of the tube in the bundle and the shape of the discharge hole. There is a noticeable decrease in microhardness (by 49 HV for a tube bundle with a round discharge hole and by 23 HV for a tube bundle with a rectangular discharge hole), which is more pronounced when approaching the discharge hole and depends on the orientation of the tube surface onto which the mixture enters, relative to the leak. The obtained data are recommended for use in assessing the consequences of a large leak in a horizontal steam generator in installations with heavy liquid metal coolant.

Keywords: steam generator leak, lead coolant, horizontal steam generator, oxide coating wear, microhardness, tube sheet.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-541-547

Адрес для переписки:

Н.С. Волков
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексея»,
г. Нижний Новгород 603950, Россия
e-mail: volkov.ns@nmtu.ru

Для цитирования:

Н.С. Волков, Т.А. Бокова, А.Г. Мелузов, Т.К. Зырянова, Р.В. Сумин, М.Д. Погорелов, С.Е. Шашков

Влияние параметров истечения водяного пара на эрозионный износ оксидных покрытий трубной решетки в среде свинцового теплоносителя

Трение и износ.

2024. — Т. 45, № 6. — С. 541—547.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-541-547

Address for correspondence:

N.S. Volkov
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
“Nizhny Novgorod State Technical University named after
R.E. Alekseev”,
Nizhny Novgorod 603950, Russia
e-mail: volkov.ns@nmtu.ru

For citation:

N.S. Volkov, T.A. Bokova, A.G. Meluzov, T.K. Zyryanova, R.V. Sumin, M.D. Pogorelov, and S.E. Shashkov.

[The Influence of Water Vapor Flow Parameters on the Erosive Wear of Oxide Coatings of a Tube Sheet in a Lead Coolant Environment].
Trenie i Iznos.

2024, vol. 45, no. 6, pp. 541—547 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-541-547

Список использованных источников

1. **Chauthwani G.C. and Kannan U.** Development of Computer Code IGDC for Generation and Depletion of Fission Products and Actinides in Pressure Tube Type Heavy Water Reactors (PT-HWRs) Using Klopfenstien-Shampine Numerical Differentiation Formula (NDF) // Nuclear Engineering and Design. — 2019 (**341**), 220—238. doi:10.1016/j.nucengdes.2018.11.006
2. **Jeltsov Marti and Kudinov Pavel.** Simulation of a Steam Bubble Transport in the Primary System of the Pool Type Lead Cooled Fast Reactors // Conference: The 14th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-14) 2011, Toronto, Ontario, Canada, September 25–29
3. **Рачков В.И. [и др.]** Анализ последствий крупной течи парогенератора в двухконтурной реакторной установке со свинцовым теплоносителем // Атомная энергия. — 2021 (**130**), № 4, 183—188
4. **Wang Gang.** A Review of Research Progress in Heat Exchanger Tube Rupture Accident of Heavy Liquid Metal Cooled Reactors // Annals of Nuclear Energy. — 2017 (**109**), 1—8. 10.1016/j.anucene.2017.05.034
5. **Gu Z., Wang G., Bai Y., Song Y., and Zhao Z.** Preliminary Investigation on the Primary Heat Exchanger Lower Head Rupture Accident of Forced Circulation LBE-Cooled Fast Reactor // Annals of Nuclear Energy. — 2015 (**81**), 84—90. doi:10.1016/j.anucene.2015.03.018
6. **Безносков А.В., Бокова Т.А., Новожилова О.О. [и др.]** Экспериментальные исследования процессов, сопровождающих межконтурную неплотность парогенератора в эксплуатационно-безопасных пределах в РУ с ТЖМТ // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. — 2016, 154—162. 10.26583/npe.2016.2.15
7. **Алексеев В.В., Орлова Е.А., Козлов Ф.А. [и др.]** Расчетно-теоретический анализ процесса оксидирования стали в свинцовом теплоносителе // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерные константы. — 2010, № 1-2, 56—66
8. **Иванов К.Д., Ниязов С.-А.С., Гурбич А.Ф.** Результаты исследования начального этапа окисления аустенитной стали 12X18H10T в водяном паре // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. — 2019, № 1, 161—169. DOI 10.55176/2414-1038-2019-1-161-169

References

1. **Chauthwani G.C. and Kannan U.** Development of Computer Code IGDC for Generation and Depletion of Fission Products and Actinides in Pressure Tube Type Heavy Water Reactors (PT-HWRs) Using Klopfenstien-Shampine Numerical Differentiation Formula (NDF) // Nuclear Engineering and Design. — 2019 (**341**), 220—238. doi:10.1016/j.nucengdes.2018.11.006
2. **Jeltsov Marti and Kudinov Pavel.** Simulation of a Steam Bubble Transport in the Primary System of the Pool Type Lead Cooled Fast Reactors // Conference: The 14th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-14) 2011, Toronto, Ontario, Canada, September 25–29
3. **Rachkov V.I. [et al.]** Analiz posledstviy krupnoy techi parogeneratora v dvukhkoturnoy reaktornoy ustanovke so svintsovym teplonositelem // Atomnaya energiya. — 2021 (**130**), № 4, 183—188 (in Russian)
4. **Wang Gang.** A Review of Research Progress in Heat Exchanger Tube Rupture Accident of Heavy Liquid Metal Cooled Reactors // Annals of Nuclear Energy. — 2017 (**109**), 1—8. 10.1016/j.anucene.2017.05.034
5. **Gu Z., Wang G., Bai Y., Song Y., and Zhao Z.** Preliminary Investigation on the Primary Heat Exchanger Lower Head Rupture Accident of Forced Circulation LBE-Cooled Fast Reactor // Annals of Nuclear Energy. — 2015 (**81**), 84—90. doi:10.1016/j.anucene.2015.03.018
6. **Beznosov A. et al.** Experimental Studies into the Processes Accompanying an Intercircuit Steam Generator Break in the Safe Operating Limits in HLHC Reactor Facilities // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zawedeniy, Yadernaya Energetika. — 2016, 154—162. 10.26583/npe.2016.2.15
7. **Alekseev V.V., Orlova E.A., Kozlov F.A. [et al.]** Raschetno-teoreticheskiy analiz protsessa oksidirovaniya stali v svintsovom teplonositele // Voprosy Atomnoj Nauki i Tekhniki Seriya: Yaderno-Reaktornye Konstanty. — 2010, № 1-2, 56—66 (in Russian)
8. **Ivanov K.D., Niyazov S.-A.S., and Gurbich A.F.** The Results of the Study of the Initial Stage of Oxidation of Austenitic Steel 12Cr18Ni10T in Water Vapor // Voprosy Atomnoj Nauki i Tekhniki Seriya: Yaderno-Reaktornye Konstanty. — 2019 (**1**), 161—169 (in Russian)

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11
Full text of articles can be purchased from the editorial office.
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11
E-mail: FWJ@tut.by