

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.039.5.5.8:621.38.004.6

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ПЛАСТИНЧАТЫХ
ТЕПЛООБМЕННИКОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА АЭС

© 2021 С.А. Кузин^{*}, Н.А. Болдырева^{**}, С.Б. Кравец^{***}

^{*}АО «Атоммашэкспорт», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

^{**}Волгодонский инженерно-технический институт НИЯУ МИФИ, Волгодонск, Ростовская обл., Россия

^{***}Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, Россия, Москва, Россия

В работе анализируются основные факторы, влияющие на показатели надежности пластинчатых теплообменников, применяемых на АЭС различных факторов, а именно: материалов теплообменных пластин и прокладок, видов рабочих сред, режимов нагружения (температуры и давление), устойчивости уплотнительных элементов к ионизирующему излучению. Для пластинчатых теплообменников, применяемых для АЭС, не существует нормативных методик по тепловому и гидравлическому расчетам, предлагаются лишь отдельные методики испытаний пластинчатых теплообменников. В качестве основных отказов были определены: внешние течи, внутренние течи и случаи засорения теплообменников. В выводах работы предлагается проанализировать информацию по отказам пластинчатых теплообменников, эксплуатируемых на ЛАЭС-2, НВАЭС-2 и поставляемых иностранными и отечественными фирмами для более точного прогнозирования работы пластинчатых теплообменников при эксплуатации на АЭС.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменник, прочность, повреждение, надежность, безопасность, техническое состояние, энергетическое оборудование.

Поступила в редакцию 13.10.2020

После доработки 15.02.2021

Принята к публикации 26.02.2021

Пластинчатые теплообменники обеспечивают эффективную передачу тепла, обладая при этом компактными размерами и малой занимаемой площадью. Они позволяют легко изменять значение поверхности теплообмена, не требуя при этом внесения существенных изменений в конструкцию. Все эти положительные качества пластинчатых теплообменников привели к тому, что в настоящее время они нашли широкое применение в отечественной атомной энергетике.

Применение общепромышленного оборудования на АЭС требует выполнения дополнительных мероприятий и условий, по сравнению с традиционной энергетикой (наличие радиоактивности, повышенная надежность и т.д.). Рассмотрим, насколько выполняются повышенные требования по обеспечению надежности на АЭС применительно к пластинчатым теплообменникам. Данная работа посвящена анализу влияния на показатели надежности пластинчатых теплообменников 2 класса безопасности по НП-001-15 [1] различных факторов, а именно: материалов теплообменных пластин и прокладок, видов рабочих сред, режимов нагружения (температуры и давление), устойчивости уплотнительных элементов к ионизирующему излучению.

В России, из-за отсутствия конкурентоспособного штамповочного производства пластин, сложилась практика сборки теплообменников на основе отечественных плит и крепежных элементов, импортных теплообменных пластин и прокладок к ним. В настоящее время на АЭС применяются пластинчатые теплообменники таких фирм-изготовителей как «Теплотекс», «Альфа Лаваль», «КельвионМашимпэкс», «Ридан» и

др. Подбор конфигурации аппаратов под конкретные данные (расчетные давление и температура, обеспечение необходимого теплообмена) осуществляется фирмой-изготовителем с использованием специальных компьютерных программ.

В соответствии с требованиями ГОСТ 15.309-98, для применения аппаратов на АЭС необходимо подтверждение работоспособности теплообменного аппарата для эксплуатационных режимов, включая обеспечение заявленных тепловых и гидравлических характеристик [2]. К сожалению, в настоящее время применительно к пластинчатым теплообменникам для АЭС не существует нормативных методик по тепловому и гидравлическому расчетам, предлагаются лишь отдельные методики испытаний пластинчатых теплообменников (разработки НПО ЦКТИ [3-6]).

В современных проектах установок с реакторами ВВЭР-1200 и ВВЭР ТОИ, в качестве теплообменников 2 класса безопасности по НП-001-15 используются пластинчатые теплообменники большой тепловой мощности, с площадью теплообмена до 1300 м². Характеристики некоторых пластинчатых теплообменников для установки с реактором ВВЭР-ТОИ приведены в таблице 1. Таким образом, мощность и теплообменная поверхность теплообменников, примененных в современных проектах на порядок превышают аналогичные характеристики пластинчатых теплообменников, находящихся в эксплуатации на действующих АЭС и имеющих 3 класс безопасности по НП-001-15 [1].

Таблица 1 – Технические характеристики пластинчатых теплообменников для примененных в проекте с ВВЭР-ТОИ [Technical characteristics of plate heat exchangers used in the project with WWER-TOI]

Наименование	Класс безопасности по НП-001-15	Тепловая мощность, МВт	Охлаждаемая среда/ /(Расход в т/ч)	Охлаждающая среда/ /(Расход в т/ч)	Поверхность теплообмена, м ² /(Кол-во пластин)
Доохладитель подпитки	3Н	2,04	Теплоноситель I контура/(40)	Вода промконтура/(110)	16,56/(69)
Охладитель боросодержащей воды	3Н	0,14	Теплоноситель I контура/(6)	Вода промконтура/(6)	11,28/(47)
Охладитель подпитки	3Н	0,79	Теплоноситель I контура/(80)	Теплоноситель I контура/(80)	16,56/(59+84)
Теплообменник аварийного и планового расхолаживания	2НЗЛ	46,9×2	Теплоноситель I контура/(500×2)	Вода промконтура/(1250×2)	603,3×2/(377×2)
Теплообменник охлаждения спринклерной воды и бассейна выдержки	2НЗЛ	21,6	Раствор борной кислоты/(300)	Вода промконтура/(700)	339/(189+80)
Теплообменник промконтура	2НО	118,8	Вода промконтура/(2500)	Техническая вода/(3532)	1274/(128+509)

Таким образом, мощность и теплообменная поверхность теплообменников 2 класса безопасности по НП-001-15, примененных в современных проектах, на порядок превышают аналогичные характеристики пластинчатых теплообменников, находящихся в эксплуатации на действующих АЭС и имеющих 3 класс безопасности по НП-001-15 [1].

Эскиз теплообменника аварийного и планового расхолаживания (площадь теплообмена 603,3 м²) приведен на рисунке 1.

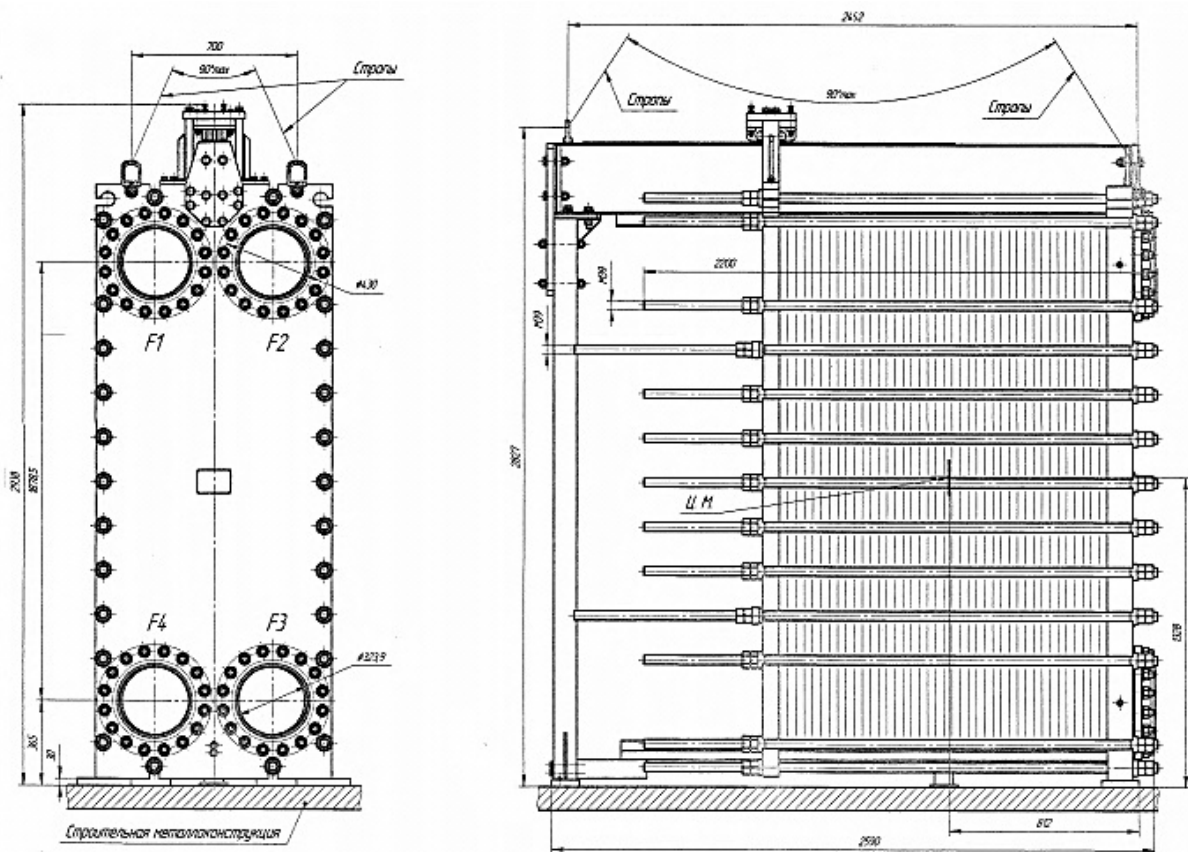


Рисунок 1 – Эскиз теплообменника аварийного и планового расхолаживания [Sketch of a heat exchanger for emergency and planned cooling down]

На российских АЭС к настоящему времени нет представительных данных о надежности пластинчатых теплообменников. Тем не менее, известные зарубежные фирмы «Альфа Лаваль» и «КельвионМашинпэкс» собирают статистические данные по эксплуатации пластинчатых теплообменников на тепловых и атомных электрических станциях.

Фирмой «Альфа Лаваль» был проведен анализ надежности произведенного теплообменного оборудования [7], на основании обработки и обобщения статистических данных, предоставленных заказчиками компании, эксплуатирующих пластинчатые теплообменники на тепловых и атомных электрических станциях. Для составления исходной базы данных для выполнения анализа фирмой «Альфа Лаваль» были опрошены 200 энергетических объектов, расположенных в 18 странах мира и имеющие в составе своего оборудования 474 пластинчатых теплообменника «Альфа Лаваль». Для получения объективных показателей надежности пластинчатых теплообменников в энергетике, в исследовании «Альфа Лаваль» обрабатывались данные лишь об оборудовании, установленном в технологических схемах энергетических объектов.

Как показал анализ результатов статистических исследований, показатели надежности несколько различаются для различных типов и материалов пластин, типов энергетических объектов и схем установок оборудования, его рабочих параметров и т.д. В качестве основных отказов были определены: внешние течи, внутренние течи и случаи засорения теплообменников.

Внешняя течь – нарушение герметичности контура эластичного уплотнения, приводящее к истечению теплоносителя в окружающую среду, являющееся одним из наиболее распространенных отказов пластинчатых теплообменников. Причины возникновения: неправильный выбор материала уплотнения, недостаточность

закрепления уплотнения по периметру пластины, превышение рабочих параметров (давления, температуры), механическое повреждение уплотнений, старение, усадка уплотнения или клея в случае клеевого соединения.

Внутренняя течь – повреждение теплообменной поверхности, приводящее к смешению рабочих сред. Причины возникновения: снашивание, истирание поверхности теплообмена абразивами, присутствующими в рабочих средах, коррозия теплообменной поверхности, механическое повреждение теплообменной поверхности, усталостное разрушение теплообменной поверхности, неправильный выбор материала пластин, неправильный выбор реагентов для химводоочистки.

Засорение теплообменника – уменьшение эффективности теплопередачи, увеличение гидравлического сопротивления.

На основании статистических данных были получены следующие основные результаты: суммарная наработка на оборудовании Альфа Лаваль составила 20,000,000 часов или 2300 лет; более 47 теплообменников, т.е. 10% от общего числа теплообменников, участвующих в анализе на момент его проведения, эксплуатируются более 12 лет, один из теплообменников из числа этих 47 эксплуатируется более 20 лет. В отдельную группу были выделены теплообменники, установленные на АЭС, частота отказов для оборудования этого класса составила 1×10^{-8} отключений/час.

Следует отметить, что на надежность влияет также и период эксплуатации. Наиболее аварийно-опасным периодом для пластинчатых теплообменников является период монтажа, пуско-наладочных работ и ввода в эксплуатацию. Частые течи или раннее забивание теплообменника – характерные симптомы этого периода. Зависимость количества отказов от времени до отказа для теплообменников, произведенных фирмой «Альфа Лаваль», представлена на рисунке 2.

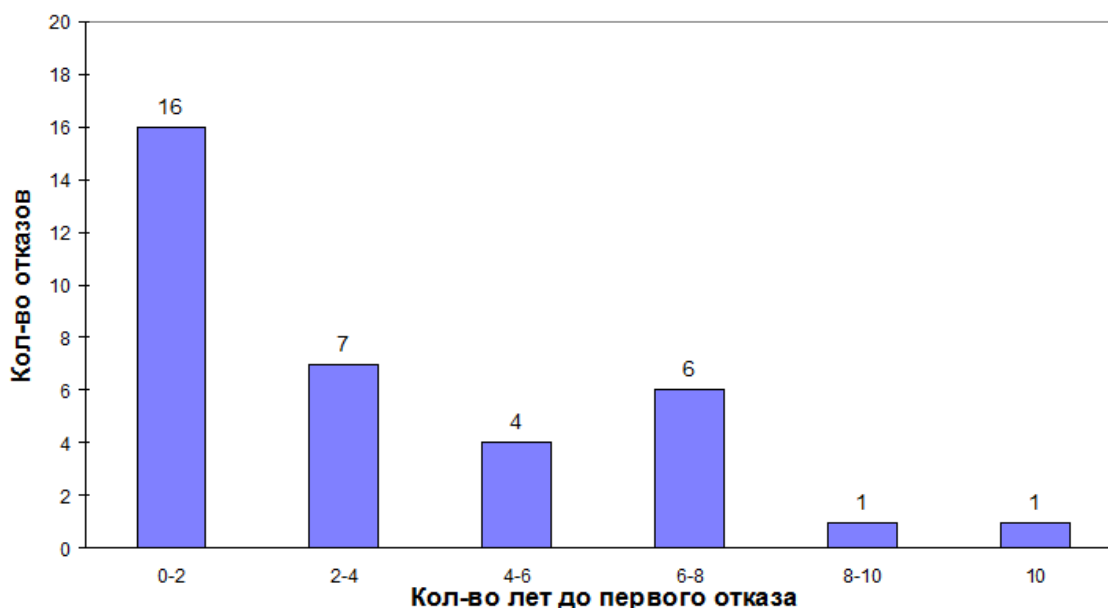


Рисунок 2 – Зависимость частоты отказов от времени эксплуатации теплообменников Альфа Лаваль
[Failure rate versus operating time for Alfa Laval heat exchangers]

Аналогичные основные отказы были определены при анализе показателей надежности пластинчатых теплообменников, находящихся в эксплуатации, выполненной фирмой Машимпэкс. Зависимость количества отказов от времени до отказа для теплообменников, произведенных фирмой Машимпэкс [8], представлена на рисунке 3.

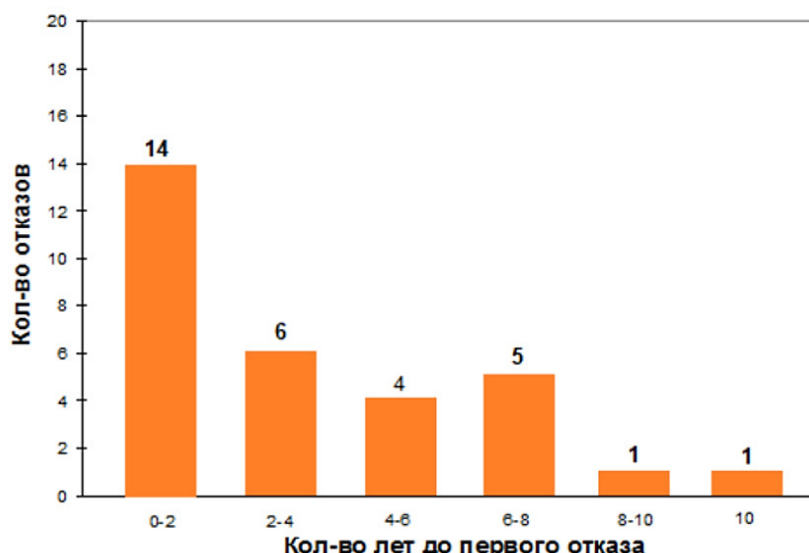


Рисунок 3 – Зависимость частоты отказов от времени эксплуатации теплообменников Машимпэкс [Dependence of the failure rate on the operating time of Mashimpex heat exchangers]

Как видно из выше приведенных рисунков зависимости частоты отказов для пластинчатых теплообменников различных производств достаточно близки.

Пластинчатые теплообменники 2 класса безопасности по НП-001-15 [1], имеют срок службы основных частей равный 60 годам и в качестве одной из сред теплоноситель 1 контура. Таким образом, для этих теплообменников важным оказывается учет срока службы и стойкость к ионизирующему излучению уплотнительных элементов теплообменников.

ФГУП «НИИП» провел испытания на стойкость к ионизирующему излучению до уровня поглощенной дозы 1000 Гр уплотнений EPDM НТ (на основе этиленпропиленового каучука) [9], применяющихся в качестве уплотнительных элементов для пластинчатых теплообменников АЭС. Испытания подтвердили устойчивость к воздействию ионизирующего излучения материала уплотнения при отсутствии повреждений уплотнений из-за воздействия других внешних факторов.

Результаты расчетов основных показателей надежности пластинчатых теплообменников, примененных в проекте с ВВЭР-ТОИ, полученные ООО «Корпорация АК «ЭСКМ» по методикам, изложенным во многих источниках [10-16], показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные величины показателей надежности пластинчатых теплообменников [Calculated values of indicators of reliability of plate heat exchangers]

Наименование	Средняя наработка на отказ, час	Интенсивность отказа нарушения герметичности по отношению к окружающей среде, 1/ч.	Интенсивность отказа нарушения герметичности по отношению к охлаждающей среде, 1/ч
Доохладитель промконтура	131500	10^{-7}	$0,017 \times 10^{-7}$
Охладитель боросодержащей воды	227200	10^{-7}	$0,017 \times 10^{-7}$
Охладитель подпитки	113600	10^{-7}	$0,04 \times 10^{-7}$
Теплообменник аварийного и планового расхолаживания	52000	10^{-7}	$0,12 \times 10^{-7}$
Теплообменник охлаждения спринклерной воды и бассейна выдержки	68000	10^{-7}	$0,14 \times 10^{-7}$
Теплообменник промконтура	50000	10^{-7}	$0,32 \times 10^{-7}$

Расчетная средняя наработка на отказ существенно выше наработок, указанных на диаграммах на рисунках 2 и 3, полученных при эксплуатации теплообменников 3 класса безопасности. В тоже время, необходимо учитывать в расчетах единичные отказы пластинчатых теплообменников, происходящих при эксплуатации, возникающие из-за чистоты рабочих сред. При применении пластинчатых теплообменников в системы продувки парогенераторов выявлены следующие практические недостатки их использования:

–необходимость обеспечения высоких требований к качеству рабочей среды в связи с узкими проходами между теплообменными пластинами;

–необходимость наличия достаточного свободного пространства вокруг пластинчатых теплообменников для их обслуживания (сборки, разборки);

–затрудненный процесс обслуживания (частая смена уплотняющих пластин, сложность равномерного уплотнения теплообменных пластин при сборке теплообменника);

–высокая вероятность повреждения теплообменных пластин. при их демонтаже, связанная с прилипанием уплотняющих элементов.

Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время отсутствуют методики расчета показателей надежности пластинчатых теплообменников, учитывающие особенности конструкции и условий эксплуатации пластинчатых теплообменников, что чрезвычайно важно для пластинчатых теплообменников с большой поверхностью теплообмена и большой мощностью, отнесенных ко 2 классу безопасности по НП-001-15 [1]. Расчетные величины показателей надежности с большой поверхностью теплообмена и большой мощностью, отнесенных ко 2 классу безопасности, в настоящее время могут быть подтверждены только при эксплуатации.

Выводы:

1. Применение в дальнейшем пластинчатых теплообменников большой мощности в качестве оборудования 2 класса безопасности по НП-001-15 должно быть обосновано с точки зрения надежности и требует изучения влияния на показатели надежности всех вышеперечисленных факторов эксплуатации пластинчатых теплообменников.

2. Необходимо проанализировать информацию по отказам пластинчатых теплообменников, эксплуатируемых на ЛАЭС-2, НВАЭС-2 и поставляемых иностранными и отечественными фирмами, для более точного прогнозирования работы пластинчатых теплообменников при эксплуатации на АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. Основные положения НП-001-15. – URL : <http://www.seogan.ru/np-001-15-obshie-polozheniya-obespecheniya-bezopasnosti-atomnix-stanciiy.html>.
2. ГОСТ 15.309-98 СРПП. Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка. Основные положения. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1999. – URL : <http://docs.cntd.ru/document/1200007262>.
3. Некоторые особенности работы и теплогидравлических испытаний пластинчатых теплообменников / Б.В. Балунов [и др.] // Надежность и безопасность энергетики. – 2017. – № 10(4). – С. 298-303. – URL : <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2017-10-4-298-303>.
4. Данюшевский, И.А. Об оценке прочности и ресурса энергооборудования с позиций современных возможностей / И.А. Данюшевский, Е.В. Георгиевская, С.Н. Гаврилов, Л.Д. Власова // Надежность и безопасность энергетики. – 2017. – № 10(3). – С. 237-242. – URL : <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2017-10-3-237-242>.

5. Гаев, А.В. Разработка методики оценки надежности и безопасности тепломеханического оборудования / А.В. Гаев, И.А. Данюшевский, Р.Э. Шевчук, Д.Н. Журавлев // Надежность и безопасность энергетики. – 2015. – № (2). – С. 65-69. – URL : <https://www.sigma08.ru/jour/article/view/168>.
6. Судаков, А.В. Современные методы оценки прочности и ресурса энергооборудования при термопульсациях и вибрациях / А.В. Судаков, С.В. Соловцев // Теплоэнергетика. – 2013. – № 1. – С. 55-62.
7. Пластинчатые теплообменники / АО «Альфа Лаваль Поток». – URL : <https://www.alfalaval.ru/products/heat-transfer/plate-heat-exchangers/fusion-bonded-plate-heat-exchangers/>.
8. Поставщик пластинчатых теплообменных аппаратов предоставил информацию и программу для расчета и подбора оборудования. – URL : <http://www.kelvion.com.ru>.
9. Протокол испытаний уплотнительных элементов теплообменных пластин теплообменников для АЭС на стойкость к ионизирующему излучению (Договор №59-13/2011). – URL : <http://www.niipriborov.ru>.
10. Клемин, А.И. Инженерные вероятностные расчеты при проектировании ядерных реакторов / А.И. Клемин. – Москва : Атомиздат, 1973. – 304 с.
11. Труханов, В.М. Надежность изделий машиностроения / В.М. Труханов. – Москва : Машиностроение, 1996. – 336 с.
12. Труханов, В.М. Надежность, испытания, прогнозирование ресурса на этапе создания сложной техники / В.М. Труханов, В.В. Клюев. – Москва : Спектр, 2014. – 313 с.
13. Надежность машин Т.IV-3. Машиностроение. Энциклопедия / В.В. Клюев, В.В. Болотин, Ф.Р. Соснин [и др.]. – Москва : Машиностроение, 2003. – 592 с.
14. Семенов, В.К. Прогнозирование отложения продуктов коррозии на теплообменных поверхностях парогенераторов АЭС с ВВЭР / В.К. Семенов, В.С. Щебнев, В.П. Дерий, В.Ф. Степанов // Материалы X Международной конференции «Безопасность АЭС и подготовка кадров – 2007». – Обнинск, 2007. – С. 114.
15. Семенов, В.К. К вопросу прогнозирования ресурса теплоэнергетического оборудования тепловых и атомных электрических станций / В.К. Семенов, В.П. Дерий, В.С. Щебнев, В.Ф. Степанов // Вестник ИГЭУ. – 2007. – № 2. – С. 30-33.
16. РБ-100-15. Рекомендации по порядку выполнения анализа надежности систем и элементов атомных электростанций важных для безопасности и их функций. – Москва : НТЦ Промбезопасность, 2016. – URL : <http://docs.cntd.ru/document/1200117032>.

REFERENCES

- [1] Obshchiye polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnykh stantsiy. Osnovnyye polozheniya [General Provisions for Ensuring the Safety of Nuclear Power Plants. Basic Provisions]. NP-001-15. URL: <http://www.seogan.ru/np-001-15-obshie-polozheniya-obespecheniya-bezopasnosti-atomnix-stanciiy.html> (in Russian).
- [2] GOST 15.309-98 SRPP. Sistema razrabotki i postanovki produktsii na proizvodstvo. Ispytaniya i priyemka. Osnovnyye polozheniya [System of Product Development and Launching into Production. Testing and Acceptance. Basic Provisions]. Moskva: IPK Izdatel'stvo standartov [Moscow: IPK Standards Publishing House]. 1999. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200007262> (in Russian).
- [3] Balunov B.F., Grigoryev K.A., Lychakov V.D., Shcheglov A.A., Matyash A.S., Starukhina K.S., Ustinov A.N., Zaytsev A.V. Nekotoryye osobennosti raboty i teplogidravlicheskih ispytaniy plastinchatykh teploobmennikov [Some Features of Operation and Thermal-hydraulic Tests of Plate Heat Exchangers]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017; 10(4):298-303. URL: <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2017-10-4-298-303> (in Russian).
- [4] Danyushevskij I.A., Georgievskaya E.V., Gavrilov S.N., Vlasova L.D. Ob otsenke prochnosti i resursa energooborudovaniya s pozitsiy sovremennykh vozmozhnostey [On Assessment of Strength and Lifetime of Power Equipment in Terms of Modern Capabilities]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2017; 10(3): 237-242. URL: <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2017-10-3-237-242> (in Russian).
- [5] Gaev A.V., Danyushevskij I.A., Shevchuk R.E., Zhuravlev D.N. Razrabotka metodiki otsenki nadezhnosti i bezopasnosti teplomekhanicheskogo oborudovaniya [Development of a Methodology for Assessing the Reliability and Safety of Thermal Mechanical Equipment]. Nadezhnost' i

- bezopasnost' energetiki [Safety and Reliability of Power Industry]. 2015; (2): 65-69. URL: <https://www.sigma08.ru/jour/article/view/168> (in Russian).
- [6] Sudakov A.V., Solovtsev S.V. Sovremennyye metody otsenki prochnosti i resursa energooborudovaniya pri termopul'satsiyakh i vibratsiyakh [Modern Methods for Assessing the Strength and Resource of Power Equipment with Thermal Pulsations and Vibrations]. Teploenergetika [Heat power engineering]. 2013; (1): 55-62.
- [7] Plastinchatyye teploobmenniki [Plate Heat Exchangers]. AO «Al'fa Laval' Potok» [Alfa Laval Potok JSC]. URL: <https://www.alfalaval.ru/products/heat-transfer/plate-heat-exchangers/fusion-bonded-plate-heat-exchangers/> (in Russian).
- [8] Postavshchik plastinchatykh teploobmennykh apparatov predostavil informatsiyu i programmu dlya rascheta i podbora oborudovaniya [Supplier of Plate Heat Exchangers Provided Information and Software for the Calculation and Selection of Equipment]. URL: <http://www.kelvion.com.ru> (in Russian).
- [9] Protokol ispytaniy uplotnitel'nykh elementov teploobmennykh plastin teploobmennikov dlya AES na stoykost' k ioniziruyushchemu izlucheniyu (Dogovor №59-13/2011) [Test Report of Sealing Elements of Heat Exchanger Plates for NPP Heat Exchangers for Resistance to Ionizing Radiation (Contract №59-13/2011)]. URL: <http://www.niipriborov.ru> (in Russian).
- [10] Klemin A.I. Inzhenernyye veroyatnostnyye raschety pri proyektirovaniy yadernykh reaktorov [Engineering Probabilistic Calculations in the Design of Nuclear Reactors]. Moskva [Moscow]: Atomizdat. 1973. 304 p. (in Russian).
- [11] Tukhanov V.M. Nadezhnost' izdeliy mashinostroyeniya [Reliability of Mechanical Engineering Products]. Moskva: Mashinostroyeniye [Moscow: Mechanical Engineering]. 1996. 336 p. (in Russian).
- [12] Tukhanov V.M., Klyuyev V.V. Nadezhnost', ispytaniya, prognozirovaniye resursa na etape sozdaniya slozhnoy tekhniki [Reliability, Testing, Resource Prediction at the Stage of Creating Complex Equipment]. Moskva: Spektr [Moscow: Spectrum]. 2014. 313 p. (in Russian).
- [13] Klyuyev V.V., Bolotin V.V., Sosnin F.R. i dr. [and others]. Nadezhnost' mashin T.IV-3. Mashinostroyeniye. Entsiklopediya [Reliability of Machines T.IV-3. Mechanical Engineering. Encyclopedia]. Moskva: Mashinostroyeniye [Moscow: Mechanical Engineering]. 2003. 592 p. (in Russian).
- [14] Semenov V.K., Shchebnev V.S., Deriy V.P., Stepanov V.F. Prognozirovaniye otlozheniya produktov korrozii na teploobmennykh poverkhnostyakh parogeneratorov AES s VVER [Prediction of the Deposition of Corrosion Products on the Heat Exchange Surfaces of Steam Generators of NPP with VVER]. Materialy X Mezhdunarodnoy konferentsii «Bezopasnost' AES i podgotovka kadrov – 2007» [Proceedings of the X International Conference «NPP Safety and Personnel Training» – 2007]. Obninsk. 2007. P. 114 (in Russian).
- [15] Semenov V.K., Deriy V.P., Shchebnev V.S., Stepanov V.F. K voprosu prognozirovaniya resursa teploenergeticheskogo oborudovaniya teplovykh i atomnykh elektricheskikh stantsiy [Issue of Forecasting the Resource of Heat and Power Equipment of Thermal and Nuclear Power Plants]. Vestnik IGEU [Bulletin of the ISPEU]. 2007. №2. P. 30-33 (in Russian).
- [16] RB-100-15. Rekomendatsii po poryadku vypolneniya analiza nadezhnosti sistem i elementov atomnykh elektrostantsiy vazhnykh dlya bezopasnosti i ikh funktsiy [Recommendations on the Procedure for Performing the Analysis of the Reliability of Systems and Elements of Nuclear Power Plants Important to Safety and Their Functions]. Moskva: NTTS Prombezopasnost' [Moscow: STC Prombezopasnost']. 2016. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200117032> (in Russian).

Operational Reliability of Plate Heat Exchangers Used in NPP

S.A. Kuzin^{*1}, N.A. Boldyreva^{*2}, S.B. Kravets^{***3}

^{*} JSC «Atommasheksport», Karl Marx Avenue, 44, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

^{**} Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI», Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360

^{***} Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety (SEC NRS), Malaya Krasnoselskaya St., 2/8, bld. 5, Moscow, Russia 107140

¹ORCID iD: 0000-0002-7384-5827

e-mail: KuzinSergey55@mail.ru

² *e-mail: nadya.boldyreva.83@mail.ru*

³ *ORCID iD: 0000-0001-8297-3102*

WoS Researcher ID: F-7817-2017

e-mail: kravets_sb@mail.ru

Abstract – The paper analyses the main factors affecting the reliability indicators of plate heat exchangers used at NPPs of various factors, namely: materials of heat exchange plates and gaskets, types of working media, loading modes (temperature and pressure), and resistance of sealing elements to ionizing radiation. There are no regulatory methods for thermal and hydraulic calculations for plate heat exchangers used for nuclear power plants. Only separate test methods for plate heat exchangers are proposed. The main failures are identified: external leaks, internal leaks and cases of clogging of heat exchangers. In the conclusions of the work it is proposed to analyze information on the failures of plate heat exchangers operated at LNPP-2, NVNPP-2 and supplied by foreign and domestic firms for more accurate prediction of the operation of plate heat exchangers during operation at NPPs.

Keywords: plate heat exchanger, strength, damage, reliability, safety, technical condition, power equipment.