

УДК 621.311.25:621.039.5

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В КОЛЛЕКТОРЕ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1000

Адаменков А.К., Малахов И.В. (Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская АЭС», г. Волгодонск), Веселова И.Н. (ВИТИ НИЯУ МИФИ, г. Волгодонск)

Безопасная эксплуатация энергоблоков АЭС проекта В-320 во многом определяется эксплуатационной надежностью узла приварки коллектора парогенератора к патрубку Ду1200 в зоне сварного соединения № 111. Согласно исследованиям [1] соединение № 111 разрушается по механизму замедленного деформационного коррозионного растрескивания. Этот процесс образования трещин в корпусной стали перлитного класса реализуется при действии трех факторов: коррозионно-активная среда, температура, соответствующая области минимальной пластичности стали, напряженно-деформированное состояние, соответствующее пределу текучести материала. Первый фактор определяется водно-химическим режимом, организацией соответствующего режима продувки «карманов» парогенератора. В настоящее время регламент продувки оптимизирован почти на всех АЭС. Температурный фактор является технологическим в условиях нормальной эксплуатации реакторной установки. Напряженно-деформированное состояние в общем случае зависит от нескольких причин, таких, как остаточное напряжение, реакция на тепловое расширение и внутрикорпусное давление, напряжение от перемещения парогенератора при разогреве/расхолаживании первого контура.

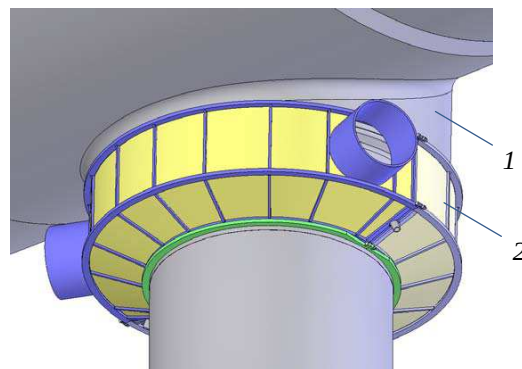
В качестве меры, предусматривающей снижение растягивающих напряжений, можно рассматривать разные методы. Одним из них является метод периодического воздействия (вибрационного или ультразвукового) излучателя на структуру шва и зону термического влияния [2]. Следует отметить, что такая обработка возможна только во время планово-предупредительного ремонта. Кроме того, данных о положительных отзывах применения таких методов для стали 10ГН2МФА нет.

Другой метод, предложенный АО ОКБ «Гидропресс» и реализованный на некоторых энергоблоках, заключается в создании сжимающих напряжений на галтели кармана путем охлаждения наружной поверхности узла присоединения коллектора в зоне сварного соедине-

ния № 111 [3]. На коллектор парогенератора устанавливается специальный кожух, в который подается воздух с температурой бокса парогенератора. В результате подачи воздуха температурой 40—50 °С на наружную поверхность коллектора, нагретую в среднем до 270 °С, образуется разность температуры внутренней и наружной поверхности коллектора. Таким образом, наружные слои металла становятся холоднее внутренних, меньше расширяются и сжимают внутренние слои (рис. 1).

Оценка эффективности работы устройства для снижения напряжений после года опытно-промышленной эксплуатации показала, что образование новых трещин в узлах приварки коллекторов не произошло. Но напряженно-деформированное состояние металла в зоне термического влияния сварного соединения № 111 не исследовали. Рассматривали только распределение температуры на поверхности коллектора и эффективность системы обдува в устройстве для снижения напряжений. Для полной оценки эффективности работы данного устройства необходимо изучить его влияние на напряженно-деформированное состояние металла шва.

В настоящее время напряженно-деформированное состояние металлических конструкций определяется при проведении натурных испытаний, основанных на разных физических принципах — магнитная память, акустоупругость, магнитная анизотропия. Выполненные ранее испытания на основе магнитной анизотропии [4]



Р и с. 1. Схема установки кожуха на коллектор парогенератора: 1 — коллектор; 2 — кожух

показали как неравномерность распределения напряжений по образующей шва, так и технологическую природу такой неравномерности.

В настоящей работе приведены результаты исследования влияния горячего коллектора парогенераторов, эксплуатирующихся на одном из энергоблоков АЭС с реакторной установкой проекта серии В-320, на шов № 111. Исследования проводили с помощью сканера механических напряжений Stressvision на коллекторах парогенераторов одного энергоблока: ПГ-1, на котором смонтировано устройство для снижения напряжений, ПГ-3, который работает на симметричной петле главного циркуляционного контура, ПГ-4, работающий на смежной петле этого же контура.

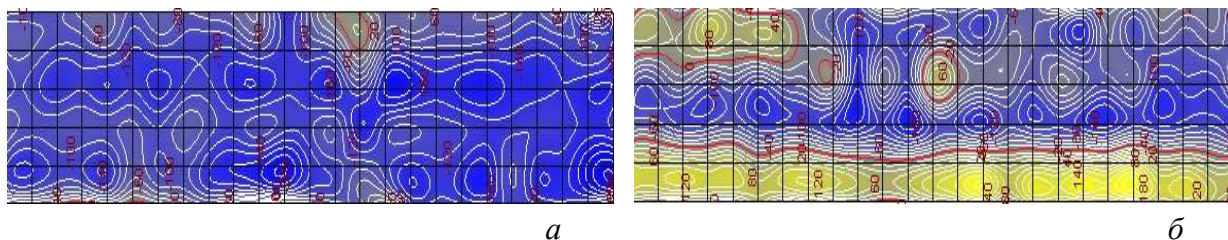
Анализ полученных на основе метода магнитной анизотропии картограмм свидетельствует о равномерном распределении разности главных механических напряжений в металле коллектора со смонтированным охлаждающим кожухом (рис. 2, а) [4].

Последующая статистическая обработка данных позволила получить диаграммы распределения разности главных механических напряжений как послойно (в поверхностном и подпо-

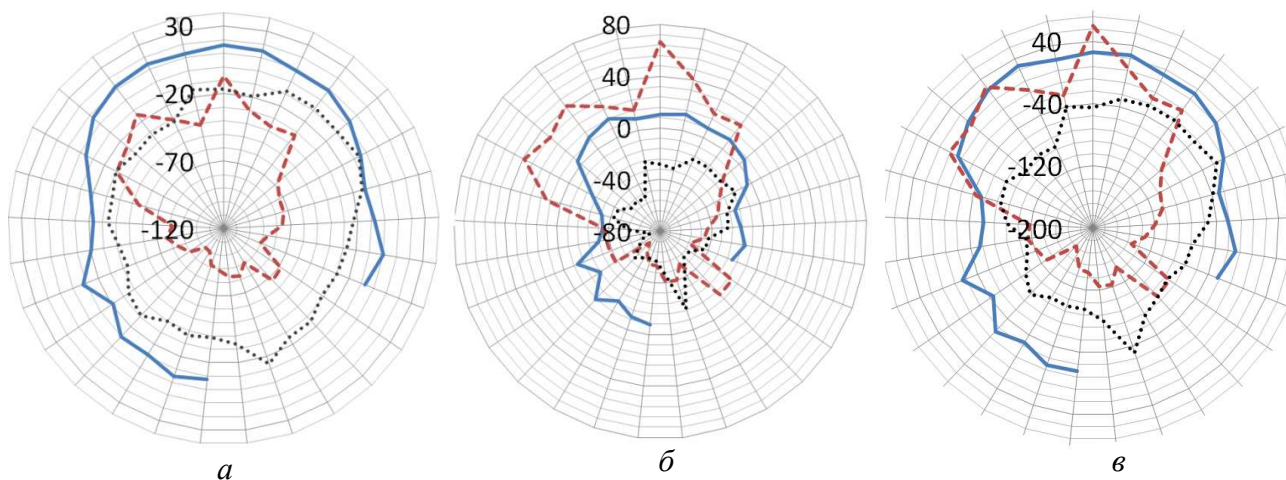
верхностном слое), так и в среднем сечении по толщине (рис. 3). Кожух установлен на парогенераторе № 1. Характер распределения напряжений показывает, что металл подповерхностного слоя коллектора со смонтированным устройством снижения напряжений находится в отличие от других коллекторов в зоне отрицательных значений (см. рис. 3, а). В поверхностном слое распределение обратное (см. рис. 3, б). В целом уровни разности главных механических напряжений сопоставимы (см. рис. 3, в).

Распределение среднеквадратичного отклонения разности главных механических напряжений как меры рассеивания случайной величины относительно ее математического ожидания показало, что рассеивание главных механических напряжений шва со смонтированным устройством в среднем в 1,5—2 раза меньше, чем в металле других коллекторов парогенераторов (рис. 4).

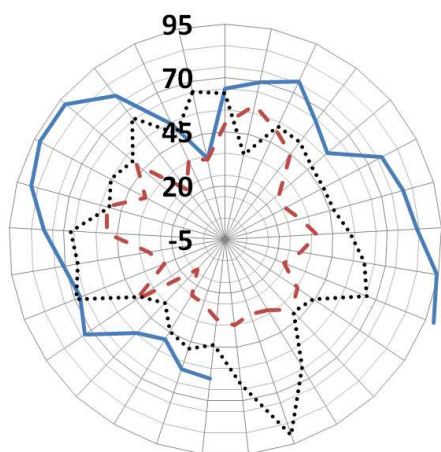
Таким образом, эксплуатация устройства снижения напряжений коллекторов не зафиксировала снижение уровня остаточных напряжений по сравнению с коллекторами парогенераторов, эксплуатирующихся без обдува. Рассеивание главных механических напряжений в



Р и с. 2. Картограмма распределения главных механических напряжений на участках сварного шва коллектора парогенератора со смонтированным устройством для снижения напряжений (а) и без него (б)



Р и с. 3. Распределение разности главных механических напряжений в подповерхностном (а) и поверхностном слое (б), в среднем сечении по толщине (в) ПГ-4 (—), ПГ-1 (---), ПГ-3 (···)



Р и с. 4. Распределение среднеквадратичного отклонения по окружности соединения шва № 111 на трех парогенераторах (обозначения см. на рис. 3)

металле коллектора с устройством снижения напряжений значительно меньше, чем на других коллекторах. Полученные данные можно объяснить обдувом поверхности коллектора более холодным воздухом, в результате чего происхо-

дит выравнивание напряжений по образующей соединения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лякишев С.Л., Денисов В.В., Харченко С.А., Петрова О.Ю. Анализ факторов, приводящих к повреждению коллекторов парогенератора ПГВ-1000М. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Обеспечение безопасности АЭС, 2007, вып. 19, с. 55—68.
2. Летуновский А.П., Антонов А.А., Стеклов О.И. Снятие остаточных напряжений низкочастотной виброобработкой. — Заготовительные производства в машиностроении, 2012, № 8, с. 12—16.
3. Лякишев С.Л. Исследование напряженно-деформированного состояния и модернизация конструкции коллектора теплоносителя парогенератора АЭС с ВВЭР. Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Подольск, ОКБ «Гидропресс», 2011.
4. Адаменков А.К., Веселова И.Н., Малахов И.В. Обеспечение контроля термомеханической нагруженности узла приварки коллектора теплоносителя к патрубку Ду1200 парогенераторов ПГВ-1000. — Глобальная ядерная безопасность, 2015, № 4(17), с. 84—89.

Поступила в Редакцию 25.10.16

УДК 621.039.544.57

ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО НА ОСНОВЕ УРАН-ЦИРКОНИЕВОГО КАРБОНИТРИДА

Черников А.С., Зайцев В.А., Хромов Ю.Ф. (НПО «Луч», г. Подольск, Московская обл.)

Среди рассмотренных видов ядерного топлива для высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов наряду с оксидами и карбидами урана представляют интерес уран-циркониевые карбонитридные композиции [1—3]. Они обладают высокой плотностью урана, совместимостью с конструкционными материалами и приемлемой радиационной стойкостью, что стимулирует развитие исследований такого топлива, в том числе в виде микротвэлов с многослойным пироуглеродным и карбидным покрытием, в котором в качестве силового слоя рассматривается карбид циркония вместо карбида кремния, традиционно используемого в проектах топлива ВТГР.

Для обоснования работоспособности твэлов на основе такого топлива необходимо изучить его характеристики, в том числе давление азота и урана в системе $U-Zr-C-N$, поведение топлива в условиях аварийного перегрева и градиента температуры. Рассмотрению этих вопросов и вариантов топливных композиций на ос-

нове уран-циркониевых карбонитридов посвящена настоящая работа.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ТОПЛИВО—ПОКРЫТИЕ

Системы $U-C-N$ и $U-Zr-C-N$. Согласно диаграмме на рис. 1 твердые растворы $UC + UN$ в контакте с углеродом стабильны в широком интервале состава при сохранении в объеме микротвэлов равновесного давления азота [4, 5].

Легирование металлической подрешетки цирконием расширяет область существования однофазных твердых растворов [6]. Пределы их распространения в зависимости от температуры и давления малоизвестны. Для уточнения положения фазовых границ исследовано равновесное давление азота в системе $U-Zr-C-N$ в температурной области 1873—2073 К.

Исследования проводили с использованием интегрального эффузионного метода [7]. Состав