

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕННЫХ СВАРНЫХ ШВОВ №111 ПГВ-1000 И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ УСТРАНЕНИЮ

В.П. Поваров

Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» Нововоронежская АЭС.

396072 г. Нововоронеж, Воронежской обл., Промышленная зона Южная 1



Надежность сооружаемых и эксплуатирующихся сложных технических объектов, таких как АЭС – главное условие безопасности для человека и окружающей среды. Основными факторами, влияющими на надежность, являются отсутствие ошибок в проектировании и расчете конструкций, правильность выбора материалов и технологии изготовления, качество применяемых материалов и монтажно-сварочных работ, условия эксплуатации и эксплуатационный контроль.

Несмотря на то, что при проектировании и эксплуатации АЭС большое внимание уделяется обеспечению надежности, опыт эксплуатации показал, что в сварном соединении №111 парогенератора ПГВ-1000М возможно образование трещин. Механизм зарождения и роста трещин до сих пор однозначно не определен.

Представлены результаты исследования причин повреждения металла в зоне сварного соединения №111 приварки горячего коллектора к патрубку Ду1200 корпуса парогенератора.

Ключевые слова: несплошность, парогенератор, сварное соединение, экспериментальные исследования.

Надежность основного оборудования АЭС с ВВЭР-1000, особенно в режимах продленного срока эксплуатации, зависит от надежности отдельных его элементов. Наиболее критическим элементом для парогенераторов ВВЭР-1000 является узел приварки «горячего» коллектора теплоносителя первого контура к патрубку Ду 1200 корпуса парогенератора (рис. 1).

Рассмотрим описания повторяющихся нарушений в работе АЭС России и Украины по признаку «трещины и несплошности металла сварного соединения №111 приварки коллектора первого контура к корпусу ПГ» за период 1996 – 2013 гг. (по состоянию на 2013 г.) [1].

На энергоблоке (ЭБ) №1 Южно-Украинской АЭС в период проведения ППР-2001 на ПГ-2 выявлено сквозное повреждение сварного соединения (СС) №111 приварки «горячего» коллектора к припуску ПГ. На ЭБ №2 при проведении ультразвукового контроля (УЗК) СС №111 приварки и «горячего» коллектора к корпусу ПГ-1 обнаружена несквозная трещина длиной 315 мм на продолжении центральной частигиба ГЦТ Ду850. В ППР-2010 г. ЭБ №2 Запорожской АЭС при УЗК СС №111-2 ПГ-2 обнаружены недопустимые несплошности СС приварки «холодного» коллектора первого контура к патрубку Ду1200. На ЭБ №1 Калининской АЭС в период проведения планового предупредительного ремонта в 2006 г.

© **В.П. Поваров, 2015**

при проведении планового УЗК СС № 77/1 1ПГ-3 по методике ЦНИИТМАШ были обнаружены несплошности, протяженность ~400 мм вдоль СС с глубиной залегания до 30 мм от внутренней поверхности. Проведенный дополнительный «ручной» контроль дефектного участка СС № 77/1 подтвердил наличие несплошности.

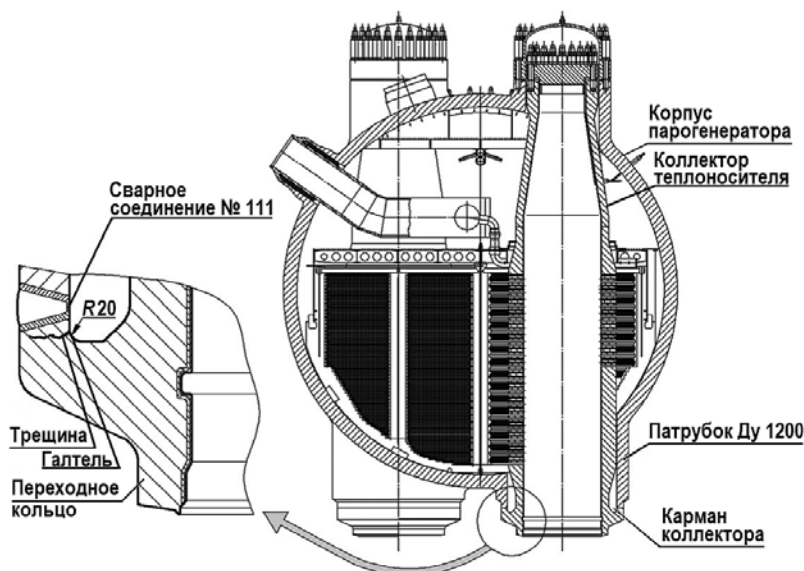


Рис. 1. Парогенератор ПГВ-1000М

Визуальным осмотром «кармана» «холодного» коллектора в месте дефекта обнаружено наличие рыхлых отложений черного цвета до 20 мм толщиной. На ЭБ №2 Балаковской АЭС в период среднего ремонта в 2006 г. при проведении планового УЗК металла СС №111-1 1ПГ-1 по методике ЦНИИТМАШ была зафиксирована прерывистая цепь несплошностей из четырех участков, протяженностью 20 – 30 мм каждый вдоль СС на длине ~470 мм и шириной ~30 мм с глубиной залегания от 45 до 50 мм от наружной поверхности. При контроле этого соединения системой автоматизированного УЗК «Авгур 4.2» недопустимых дефектов не обнаружено. Для уточнения УЗК был проведен повторный «ручной» УЗК дефектного участка СС №111-1 ПГ-1. Наличие несплошностей подтвердилось. После устранения ошибки измерения был выполнен повторный контроль системой «Авгур 4.2» по методике АУЗК «Авгур». В результате контроля были выявлены несплошности размером, превышающим допустимые нормы оценки качества по ПНАЭ Г-7-010-89.

Анализ опыта эксплуатации энергоблока № 5 НВАЭС показывает, что значительные повреждения зоны СС №111 всех ПГ происходили на всех четырех ПГ [2]. Дефекты располагаются на радиусном переходе кармана и металле СС №111-1.

За период эксплуатации дефекты были обнаружены в СС №111-1 на ПГ: 5ПГ-1 – в 1998 и в 2004 гг.; 5ПГ-2 – в 2007 г.; 5ПГ-3 – в 2001 г.; 5ПГ-4 – в 2007 и 2009 гг.; 5ПГ-1 – в 2013 г. Шестого июля 2013 г. в 10 ч 20 мин энергоблок находился в «горячем» состоянии, выполнялась программа останова на ППР-2013. При проведении осмотра оборудования было обнаружено парение из под теплоизоляции в районе «горячего» коллектора в нижней части корпуса 5 ПГ-1. По результатам визуального и капиллярного контроля примерно в 7 ч 30 мин 08.07.2013 обнаружена трещина протяженностью 23 мм со сквозным дефектом, ориентированная под углом ~ 45° к оси сварного шва. После перевода РУ в «холодное» состояние и снятия теплоизоляции в 10 ч 40 мин того же дня обнаружена неплотность в районе СС №111 «горячего» коллектора 5ПГ-1.

Парогенератор 5ПГ-1 введен в эксплуатации в сентябре 1989 г. Срок службы до

обнаружения дефекта – 24 года. В 1998 и 2005 гг. узел подвергался ремонту с применением сварки на участках протяженностью 575 и 285 мм соответственно. Контроль узла неразрушающими методами проводился в ходе ППР в 2012 г.

При проведении УЗК и АУЗК выявлены трещиноподобные несплошности с амплитудой выше браковочного уровня. Несплошности расположены на участке СС протяженностью 510 мм.

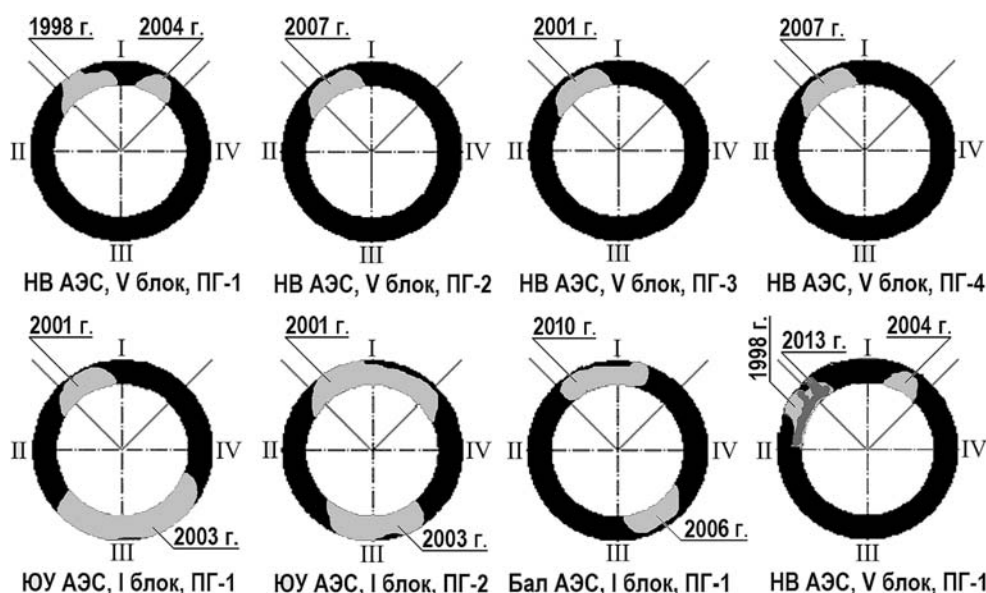


Рис. 2. Зоны повреждений СС №111: I – короткая образующая патрубка Ду 1200; II – длинная образующая патрубка Ду 1200; III – образующая патрубка Ду 1200, ближняя к «горячему» днищу; IV – образующая патрубка Ду 1200, ближняя к «холодному» днищу

На рисунке 2 графически представлены зафиксированные повреждения критического узла – зоны приварки горячего коллектора ПГ к патрубку ГЦТ (СС №111). Трещиноподобные дефекты значительных протяженности и высоты, в том числе сквозные, к настоящему времени обнаружены на девяти ПГ AES с ВВЭР-1000.

Как видно из рисунка, зона первоначальных повреждений расположена во всех случаях в направлении горячей нитки ГЦТ со стороны короткой образующей патрубка вблизи зоны с максимальными механическими напряжениями.

При первом повреждении основное направление магистральной трещины вдоль шва с многочисленными ответвлениями. Повторные повреждения тех же швов имели другой вид: по пять – шесть ножевых трещин вдоль оси патрубка (поперек шва) на противоположной стороне от первого повреждения.

Причины повреждения СС №111 являлись следствием коррозионного повреждения металла вследствие протекания активных коррозионных процессов, приведших к возникновению язв; воздействия значительных растягивающих нагрузок в зоне галтельного перехода; распространения трещины в металле по транскристаллитному характеру до сквозного повреждения после ее развития и достижения критических размеров.

Решение проблемы растрескивания СС №111 парогенераторов AES с ВВЭР-1000 является одним из приоритетных направлений повышения безопасности эксплуатации энергоблока в период сверхпроектного срока службы. Указанная проблема определяется комплексным сочетанием температурных условий, механического и коррозионного воздействия, является актуальной и до настоящего времени окончательно не решена.

Можно отметить конструкционные и эксплуатационные особенности узла приварки коллектора к патрубку ДУ1200:

- сложная конструкция узла приварки коллектора;
- одновременное сложное термосиловое эксплуатационное воздействие теплоносителя первого и второго контуров;
- застойная зона в месте повреждения (коррозионно-активная среда в кармане);
- термодеструкционное эксплуатационное старение материала.

Проведенный анализ случаев эксплуатационной повреждаемости СС №111 показал:

- выявленная фактическая эксплуатационная нагруженность и возможные уровни остаточных напряжений в районе мест зарождения и развития трещин относительно низкие;
- разрушение начинается в основном металле в зоне радиусного перехода и распространяется на всю толщину изделия, проходя вверх через металл шва;
- зона «кармана» имеет неблагоприятный водно-химический режим (зашламовывается);
- сходственный механизм разрушения – совместное воздействие замедленного деформационно-коррозионного растрескивания (ЗДКР) и коррозионной усталости (КУ);
- началу разрушения предшествует длительный инкубационный период;
- ремонтные зоны «трещат» в последнюю очередь.

Непосредственной причиной повреждения металла узла приварки коллектора к патрубку ДУ 1200 является образование множественных трещин по механизму ЗДКР, вызванному напряженным состоянием данного узла, сочетанием эксплуатационных условий, конструктивных особенностей и режимов нагружения ГЦТ.

В работе сделана попытка проанализировать все коренные причины, приводящие к повреждению металла зоны приварки коллектора ПГ к патрубку ДУ 1200 в порядке доминирования. Приоритетным фактором является водно-химический режим второго контура и наличие коррозионных отложений в зоне кармана.

На АЭС с ВВЭР до последнего времени применялся водно-химический режим второго контура с коррекционной обработкой питательной воды и конденсата гидразин-гидратом и аммиаком. Нормы качества рабочей среды второго контура устанавливают требования к качеству воды второго контура, ограничения по эксплуатации энергоблока при отклонении показателей качества питательной и продувочной воды ПГ от нормируемых значений и эксплуатационный предел, требования к объему и периодичности контроля, средствам и методам поддержания водно-химического режима второго контура.

Для поддержания водно-химического режима второго контура в ПГ организован «солевой» отсек, из которого осуществляется продувка с расходом от 10 до 15 т/ч для вывода растворимых солей. Для вывода шлама с нижней образующей корпуса ПГ организована периодическая продувка расходом от 15 до 20 т/ч, в том числе и из «карманов» ПГ.

Известно, что оборудование конденсатно-питательного тракта содержит медьсодержащие сплавы, в связи с чем в парогенератор вместе с питательной водой поступает медь и ее окислы, отложения которых обнаружены в «карманах» коллекторов.

После вырезки темплета узла приварки «горячего» коллектора к патрубку Ду-1200 5ПГ-1 (сквозная течь) в период ППР-2013 были выполнены отбор отложений из кольцевого зазора и определение химического состава отложений [3].

Рыхлые отложения состоят из мелких пластинок коричневого цвета. Вид отложений из кольцевого зазора, по визуальной оценке, идентичен виду отложений с теплообменной поверхности парогенератора со стороны второго контура.

Количество отложений, удаленных из кольцевого зазора в районе вырезки темплета, – 4,5 кг. Химический состав отложений приведен в табл. 1.

Известно, что качество питательной воды, достигнутое на зарубежных АЭС, где конденсатно-питательный тракт выполнен из коррозионно-стойких сплавов, на порядок выше достигнутого на наших блоках.

Таблица 1

Состав отложений в кольцевом зазоре

Показатели, %								Величина pH водной вытяжки, ед.
Fe ₂ O ₃	CuO	SiO ₂	CaO+ MgO	Cl	SO ₄	Na	H ₃ BO ₃	
85,2	3,1	2,9	2,2	0,04	0,092	0,056	–	6,3

Одна из важнейших задач поддержания водного режима второго контура АЭС с ВВЭР – борьба с отложениями в парогенераторах, другой важной задачей является снижение скорости коррозии всех конструкционных материалов. При этом допустимая скорость коррозии определяет ресурс работы оборудования, который зависит, в частности, и от концентрации продуктов коррозии, являющихся основными примесями питательной воды.

Особенности водного режима определяет одновременное использование во втором контуре оборудования из перлитных сталей, аустенитной нержавеющей стали и медьсодержащих сплавов, обладающих различной коррозионной стойкостью в рабочих средах.

Наиболее уязвимым оборудованием второго контура является ПГ, в котором вследствие упаривания котловой воды происходит концентрирование ионогенных примесей, поступающих с питательной водой. Именно коррозионные проблемы второго контура, невозможность поддержания оптимальных значений pH продувочной воды ПГ и двухфазных сред послужили причиной поиска альтернативных добавок для коррекции величины pH во втором контуре как средства продления срока службы парогенераторов [4].

Разработанные и реализуемые в последние годы мероприятия по совершенствованию ВХР второго контура, такие как коррекционная обработка рабочей среды второго контура гидроокисью лития, морфолином, этаноламином, наряду с повышением плотности конденсаторов турбин и вакуумной части конденсатного тракта, внедрением автоматического химического контроля могут существенно повлиять на процесс образования отложений на теплообменных поверхностях ПГ и накопления их в кармане ПГ.

Морфолин обладает низкой коррозионной агрессивностью по отношению к медьсодержащим сплавам. Морфолиновый водно-химический режим второго контура энергоблока Ростовской АЭС позволил обеспечить значительное уменьшение уровня поступления продуктов коррозии в объемы парогенераторов приблизительно с 200 до 30 – 60 кг за топливную компанию на один парогенератор, увеличение выноса железа с продувочной водой парогенераторов за счет разрыхления накопленных ранее шламов вследствие моющего эффекта воздействия морфолина, что приводит к уменьшению загрязненности поверхностей металла парогенераторов, а следовательно, снижению риска коррозии.

На смену морфолиновому режиму был найден, теоретически обоснован и практически испытан этаноламиновый ВХР второго контура реакторов PWR. В России он был внедрен в 2007 г. на втором блоке Балаковской АЭС [5]. После введения этаноламинового режима на теплообменной поверхности ПГ содержание меди в отложениях снизилось в 3,3 раза. В [5] показано, что замена гидразинно-аммиачного водно-химического режима второго контура АЭС на этаноламиновый позволила существенно снизить скорость эрозионно-коррозионного износа ответственных элементов второго контура.

После ППР-2010-2011 на ЭБ №5 Нововоронежской АЭС внедряется этаноламиновый водно-химический режим второго контура. Критерием проведения химических промывок при данном ВХР является величина удельной загрязненности трубного пучка – 100 г/м² и более, определяемая по результатам осмотра коррозионного состояния ПГ.

Результаты контроля удельной загрязненности трубного пучка ПГ ЭБ №5 [6] в местах, определенных инструкцией по эксплуатации ОКБ «Гидропресс», приведены в табл. 2.

Таблица 2

Удельная загрязненность трубного пучка ПГ энергоблока №5

Год	Удельная загрязненность, г/м ²			
	ПГ-1	ПГ-2	ПГ-3	ПГ-4
2006	< 20			
2007		< 20		
2008				< 20
2009			< 20	
2010				
2011	< 20	< 20		
2012			< 20	< 20

Отдельное проведение химических промывок кольцевых зазоров стандартом по ВХР второго контура и конструкторской документацией не регламентируется, а проектная схема продувки ПГ не обеспечивает эффективное удаление шлама из «карманов» коллекторов.

Химические промывки парогенераторов энергоблока №5 проводились с 1997 г. в соответствии с требованиями рабочих программ, разработанных на основании нормативных документов. Периодичность промывок – один раз в четыре года определялась стандартом «Водно-химический режим второго контура на АЭС с реакторами ВВЭР-1000. Нормы качества рабочей среды и средства их обеспечения». Кольцевые зазоры промывались одновременно с промывкой трубного пучка.

Данные по количеству вымытых отложений (в килограммах) с 1977 по 2011 гг. [6] приведены в табл. 3.

Наиболее радикальным из существующих в настоящее время методов предотвращения коррозионного износа теплообменных трубок ПГ и удаления шламовых отложений из карманов ПГ является проведение периодических химических промывок ПГ со стороны второго контура.

С учетом необходимости удаления загрязнений из «карманов» коллекторов в ОКБ «Гидропресс» разработано и испытано устройство смывное парогенератора, которое вводится по патрубку в «карман» коллектора, и на остановленном блоке проводит отмывку от отложений, т.к. проектно-конструкторская схема продувки не обеспечивает эффективного выноса отложений из кольцевого зазора.

Таблица 3

Количество вымытых отложений (кг) при промывках ПГ энергоблока №5 НВ АЭС

Год	ПГ-1	ПГ-2	ПГ-3	ПГ-4	Год	ПГ-1	ПГ-2	ПГ-3	ПГ-4
1997			500		2005			300	
1998	600				2006	330			
1999		800		1000	2007		480		
2000					2008				800
2001			800		2009			500	
2002	400				2010				
2003		600			2011	1230	580		
2004				750					

Эффективность работы устройства подтверждена натурными испытаниями на 5ПГ-1 НВ АЭС [7]. Применение специальных смывных устройств позволило полностью удалить «следы» отложений из объема «кармана» «горячего» коллектора после химической промывки.

Результаты исследований процесса ЗДКР в ОАО «ЦНИИТМАШ» [8, 9] показали, что при испытании образцов на растяжение в условиях контактирования рабочей поверхности со

шламом 75% Fe_2O_3 + 25% CuO наблюдалось квазихрупкое разрушение образцов по механизму ЗДКР. Скорость роста трещин составила $7 \cdot 10^{-6}$ мм/с или 221 мм/г. При испытании образцов на растяжение в условиях контактирования рабочей поверхности со шламом, содержащим менее 10% CuO , наблюдалось вязкое разрушение образцов, ЗДКР не наблюдается. Испытания со шламом (75% Fe_2O_3 + 25% CuO), выполненные на компактных образцах толщиной 20 мм с начальной усталостной трещиной при постоянной нагрузке, не вызывающей текучести в металле, показали отсутствие подроста трещин.

Из данных результатов можно сделать заключение, что при концентрации оксида меди в отложениях менее 10% ЗДКР не наблюдается. При уровне растягивающих напряжений в металле ниже предела текучести (даже при наличии достаточной для ЗДКР концентрации оксида меди) процесс ЗДКР также не наблюдается.

Корректирующие мероприятия, необходимые для исключения повреждения СС №111: замена гидразинно-аммиачного водно-химического режима второго контура АЭС на морфолиновый или этаноламиновый; химическая отмывка карманов коллекторов ПГ в каждый ППР, а не раз в четыре года; проведение контроля металла СС №№111-1, 111-2 парогенераторов методами ВК, КК, УЗК и методом фазированных решеток в ППР энергоблока; замена конденсаторов ТПН и основных конденсаторов на конденсаторы с трубчаткой из нержавеющей стали.

Причиной повреждений зоны СС №111 является электрохимическая коррозия металла, происходящая под влиянием коррозионно-активных примесей воды.

Для ЭБ, работающих в режиме продленного срока эксплуатации, необходимо внедрение компенсирующих мероприятий по снижению эксплуатационного воздействия на динамику повреждаемости по двум направлениям:

- снижение влияния коррозионного фактора на повреждаемость (внедрение технологии пассивации кармана и снижение уровня влияния электрохимической коррозии);
- оптимизация режимов эксплуатации, влияющих на фактическую нагруженность СС №111 парогенераторов АЭС ВВЭР-1000.

По результатам мониторинга термдеформационной нагруженности СС №111 установлено, что в переходных режимах работы РУ (разогрев, расхолаживание) внутри «кармана» коллектора происходят нестационарные температурные процессы, зафиксированы непроектные «термошоки» [10], приводящие к высоким непроектным напряжениям, что подтверждается результатами натурного тензометрирования системой непрерывного мониторинга эксплуатационной повреждаемости (СНМЭП).

Анализ данных мониторинга в 2011 и 2012 гг. показывает, что все температурные аномалии возникали при неработающей продувке. При этом наиболее опасно возникновение аномалий при работе РУ на рабочих параметрах, когда на рабочие нагрузки накладываются нестационарные термосиловые нагрузки.

Полученные данные позволяют продемонстрировать общий сценарий возникновения температурных аномалий: продувка ПГ отключена, все ПГ объединены по коллектору периодической продувки, поток в линиях продувки Ду20, Ду80 отсутствует, вода в них постепенно охлаждается ($5 - 10$ °С/ч), объем «стоячей» воды в трубопроводах продувки одного ПГ составляет около $1 - 2$ м³. При превышении давления в одном из ПГ остывшая вода по линиям продувки передавливается в другие ПГ с более низким давлением, в зоне СС №111 происходит термоудар. В [2] показано, что наиболее высокий коэффициент концентрации напряжений находится в зоне радиусного перехода галтели.

На рисунке 3 представлены изменения температуры и напряжений при термоударах в галтели кармана [2]. Моделирование температурных режимов в зоне СС №111 с разными скоростями изменения температуры в зоне галтели показало, что при высоких скоростях ресурс материала может снижаться на 10,7% за 1000 циклов только за счет температурных аномалий.

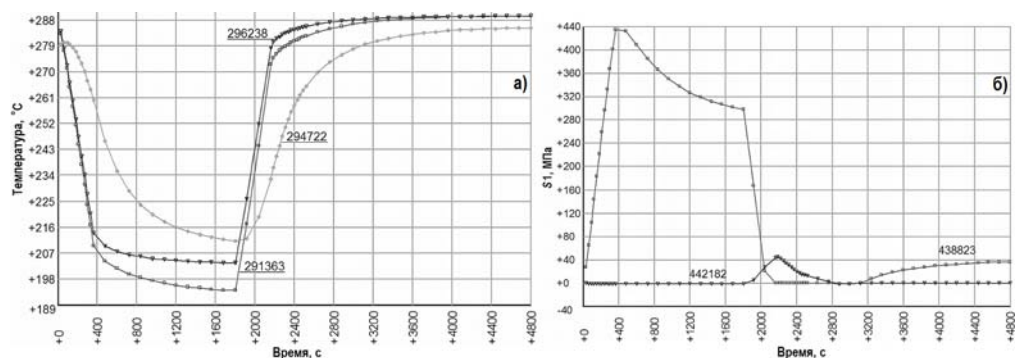


Рис. 3. Термоудары в зоне галтели кармана CCN111: а) – изменение температуры; б) – изменение напряжений

Усталостная версия образования трещин [11] объясняет замедленный хрупкий стадийный механизм разрушения металла СС №111 как следствие нагружения последовательно тремя нагрузками: от вибрации (длительная нагрузка), от жесткой малоцикловой нагрузки (температурная компенсация) и периодических нагрузок. Редкие циклы с высоким напряжением объединяют малые микротрещины, возникающие от вибрации, и постепенно, в течение ряда лет, формируют магистральную трещину под днищем ПГ в месте концентрации скручивающих (касательных) напряжений. Такая картина развития повреждений в зоне СС №111 достаточно хорошо описана в заключении ЦНИИТМАШ [12] относительно формирования трещин в зоне СС №111.

Что можно сделать для исключения неучитываемых в проекте термошоков, связанных с работой системы продувки? Необходимы доработка процедуры гидроиспытаний первого контура с изменением процедуры переключения коллекторов периодической продувки и включение в технологический регламент безопасной эксплуатации инструкции по эксплуатации порядка открытия (закрытия) арматуры на линиях периодической продувки. Это приведет к снижению уровня эксплуатационного термосилового воздействия на металл СС №111 и понизит уровень повреждаемости.

ВЫВОДЫ

1. Анализ нарушений в работе АЭС с ВВЭР-1000 позволяет утверждать, что примерно после 20-ти лет эксплуатации возникают реальные риски появления трещиноподобных дефектов на сварных швах №111 парогенераторов. Как правило, они возникают в зонах узлов приварки горячих патрубков Ду 1200 к корпусам ПГ.

2. Одной из причин развития таких дефектов является наличие отложений окислов меди и железа в кармане ПГ.

Литература

1. Техническая справка ЦАЭ АЭС ОАО «ВНИИАЭС» для совещания-видеоконференции концерна Росэнергоатом 11.07.2013. Информация об аналогичных (повторяющихся) нарушениях в работе АЭС (к нарушению, происшедшему 08.07.2013 г. на энергоблоке № 5 Нововоронежской АЭС).
2. Технический отчет «Разработка, изготовление, калибровка и отладка системы комплексного мониторинга целостности металла на основании термомеханической нагруженности зоны кармана коллектора ПГ и момента развития дефекта в зоне СС №111 на полномасштабном стенде. Разработка технологии выполнения сбора данных системы комплексного мониторинга термо-деформационной нагруженности и момента развития трещины (целостности) металла корпуса ПГВ-1000 в зоне сварного шва №111 приварки коллектора теплоносителя первого контура к патрубку Ду 1200», ООО «НСУЦ «ЦМиР», Москва, 2011 г.
3. Акт № 149/2013-ХЦ. Нововоронежская АЭС. Результаты контроля состава отложений, отобранных из кольцевого зазора «горячего» коллектора парогенератора 5ПГ-1 в период

ППР-2013.

4. Рошкетав Б.М. Водно-химический режим АЭС с реакторами ВВЭР-1000 и РБМК-1000. Учебное пособие. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 132 с.
5. Шутиков А.В., Савченко В.Е., Виграненко Ю.М., Хрусталева В.А. Пути совершенствования водно-химического режима второго контура АЭС с ВВЭР-1000. // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 2.
6. Техническая справка №144/2013-ХЦ о выполнении химических промывок ПГ энергоблока №5 НВ АЭС.
7. Отчет об испытании смывного устройства «карманов» коллекторов парогенераторов при проведении химической промывки ПГ-1 блока 5 Нововоронежской АЭС. Калининский филиал (КАТЭ), 2006.
8. Трунов Н.Б., Харченко С.А., Коротаев Н.Ф., Лякишев С.Л. Результаты работ по исследованию причин повреждения металла в районе сварного шва приварки коллектора первого контура к корпусу парогенератора и разработка компенсирующих мероприятий. ОАО ОКБ «Гидропресс» Подольск.
9. Харченко С.А., Трунов Н.Б., Денисов В.В., Коротаев Н.Ф. Анализ причин повреждения металла в зоне сварного шва №111 парогенераторов ПГВ-1000М. ФГУП ОКБ «Гидропресс» Подольск.
10. Бакиров М.Б., Левчук В.И., Поваров В.П., Громов А.Ф. Анализ причин появления не-проектных термосиловых воздействий в зоне сварного соединения №111-1 ПГВ-1000М и рекомендации по их исключению //Теплоэнергетика. 2014. № 8. С. 3.
11. Вережемский В.Г. Усталостная версия образования трещин в металле зоны СС №111 между коллекторами и патрубками корпуса ПГВ-1000. / Отчет ВНИИАЭС. Основные работы, выполненные в 2011г.
12. Заключение ЦНИИТМАШ от 30.08.2001 г. О причинах разрушения узла соединения коллектора с ПГ ВВЭР-1000.

Поступила в редакцию 23.12.2014 г.

Автор

Поваров Владимир Петрович, заместитель генерального директора ОАО «Концерн Росэнергоатом», директор филиала «Нововоронежская атомная станция»
E-mail: PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru

УДК 621.039

ANALYSIS OF THE DEFECTIVENESS OF THE WELDS OF №111 PGV-1000 AND PROPOSAL ON THEIR ELIMINATION

Povarov V.P.

Novovoronezh Nuclear Power Plant.

1, Industrial Area South, Novovoronezh, Voronezh Reg., 396072 Russia

ABSTRACT

Reliability of planned and exploiting complex technical objects, such as AES – main condition of safety for the man and the environment. The basic factors, which influence reliability are:

- absence of errors in design and calculation of constructions, the correctness of the selection of materials and technology of production;
- quality of the materials used;
- quality of assembly and welding works;
- operating condition and operational control.

Despite the fact that with the design and the operation AES, clout is given to the guarantee of reliability, operating experience showed that in the welded joint of №111 PGV-1000M is possible crack formation. The mechanism of origin and increase in the cracks, until now, is not unambiguously determined.

In the article are represented the results of investigating the reasons for the damage of metal in the zone of the welded joint of № of 111 weldings of hot collector to the branch pipe Of du1200 of housing. The first case of the splitting of metal in the region of the connection of collector with the housing PG occurred in 1998 on 5 block Novovoronezh atomic station. Subsequently are discovered uniform damages even on several PG, which made it necessary to consider the cases of damage as the system problem, which has the general reasons.

To identify factors that lead to cracking, conducted a significant amount of R & d: analysis of the manufacture and properties of the metal; a detailed computational study of the stress state from operational factors; assessment of residual stresses from manufacturing techniques; experimental study of the stress state of the node models and the NPP; measurements and the analysis of the displacements of equipment RU with the thermal expansion; the determination of the critical dimension of cracks; the correction working of the working medium of secondary circuit; the exception of the thermo-shocks, connected with the work of the system of scavenging.

Key words: discontinuity, steam generator, welded joint, experimental studies.

REFERENCES

1. Tehnicheskaya spravka TSAE AES OAO «VNIIAES» dlya soveschaniya-videokonferencii koncerna Rosenergoatom 11.07.2013. Informaciya ob analogichnykh povtoryayuschihsya narusheniyah v rabote AES (k narusheniyu, proizoshedshemu 08.07.2013 na energobloke №5 Novovoronezhskoj AES). [Information similar repetitive NPP operational events (to a breach occurring July 08 2013 at power unit №5 Novovoronezh NPP)] (in Russian).
2. Tehnicheskij otchyot «Razrabotka, izgotovlenie, kalibrovka i otladka sistemy kompleksnogo monitoringa celostnosti metalla na osnovanii termodeformacionnoj nagruzhennosti zony karmana kollektora PG i momenta razvitiya defekta v zone SS №111 na polnomasshtabnom stende. Razrabotka tehnologii vypolneniya sbora dannykh sistemy kompleksnogo monitoringa termodeformacionnoj nagruzhennosti i momenta razvitiya treschiny (celostnosti) metalla korpusa PGV-1000 v zone svarnogo shva №111 privarki kollektora teplonositelya pervogo kontura k patrubku Du 1200» Technical report «Design, manufacture, calibration and debugging of complex monitoring system based on the integrity of the metal thermal loading of the deformation area pocket collector PG and since the development of a defect in the area of SS №111 on a full stand. Development of technology for performing data acquisition system integrated monitoring thermal deformation of loading and the date of the crack (integrity) of the metal body of PGV-1000 in the area of the weld welding №111 coolant reservoir 1-st loop to pipe DN 1200». Moscow. OOO «NSUTS «TSMiR» Publ., 2011 (in Russian).
3. Akt № 149/2013-HC. Novovoronezhskaya AES. Rezul'taty kontrolya sostava otlozhenij, otobrannykh iz kol'cevogo zazora «goryachego» kollektora parogeneratorsa 5PG-1 v period PPR-2013. [The results of monitoring of silt taken from the annular gap «hot» collector steam 5PG-1 during the PPR-2013 outage] (in Russian).
4. Roschektaev B.M. Vodno-himicheskij rezhim AES s reaktorami VVER-1000 i RBMK-1000. [Water-chemical mode of NPP with the reactors of VVER- 1000 and RBMK- 1000] Uchebnoe posobie. Moscow. NIYaU MIFI Publ., 2010. 132 p. (in Russian).
5. Shutikov A.V., Savchenko V.E., Vigranenko YU.M., Khrustalev V.A.. Puti sovershenstvovaniya vodno-himicheskogo rezhima vtorogo kontura AES s VVER=1000. [Ways of perfection of the water-chemical mode of the second contour of NPP with VVER-1000] *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta*. 2008, v. 312, no 2 (in Russian).
6. Tehnicheskaya spravka №144/2013-HC o vypolnenii himicheskikh promyvok PG energobloka №5 NV AES (in Russian).
7. Otchyot ob ispytanii smyvnoy ustrojstva «karmanov» kollektorov parogeneratorov pri provedenii himicheskoy promyvki PG-1 bloka 5 Novovoronezhskoj AES. Kalininskij filial (KATE), 2006 (in Russian).
8. Trunov N.B., Kharchenko S.A., Korotaev N.F., Lyakishev S.L. Rezul'taty rabot po

issledovaniyu prichin povrezhdeniya metalla v rajone svarnogo shva privarki kollektora pervogo kontura k korpusu parogeneratora i razrabotka kompensiruyuschich meropriyatij. [Results of works on research of reasons of damage of metal in the district of the weld-fabricated guy-sutures of welding on of collector of the first contour to the corps of steam generator and development of compensative events]. Podol'sk. OAO OKB «Gidropress» Publ. (in Russian).

9. Kharchenko. S.A., Trunov N.B., Denisov V.V., Korotaev N.F., Analiz prichin povrezhdeniya metalla v zone svarnogo shva №111 parogeneratorov PGV-1000m. [Analysis of reasons of damage of metal in the zone of the weld-fabricated guy-sutures №111 steam generator PGV-1000M]/ Podol'sk. FGUP OKB «Gidropress» Publ. (in Russian).

10. Bakirov M.B., Levchuk V.I., Povarov V.P., Gromov A.F. Analiz prichin poyavleniya neproektnykh termosilovykh vozdeystvij v zone cvarnogo soedineniya №111-1 PGV-1000M i rekomendacii po ih isklyucheniyu. [Analysis reasons of appearance of unproject thermo power influences in the area of weld-fabricated connection № 111-1 PGV-1000M and recommendations on their exception. *Teploenergetika*. 2014, no 8, p. 3.

11. Verezemskij V.G. Ustalostnaya versiya obrazovaniya treschin v metalle zony SS №111 mezhdru kollektorami i patrubkami korpusa PGV-1000. [Fatigue cracking version of SS in metal between №111 the collectors and pipes corps PGV-1000]. Otchyot VNIIAES. Osnovnye raboty, vypolnennye v 2011g. Moscow. VNIIAES Publ., 2011 (in Russian).

12. Zaklyuchenie CNIITMASH ot 30.08.2001g. O prichinah razrusheniya uzla soedineniya kollektora s PG VVER-1000. Moscow. CNIITMASH Publ., 2001 (in Russian).

Author

Povarov Vladimir Petrovich, Deputy General Director of JSC «Concern Rosenergoatom»,
Director of the Branch «Novovoronezh Nuclear Power Plant»

E-mail: PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru