

Результаты работ по оценке последствий гипотетически возможного случая «гильотинного» отрыва патрубка приварки коллектора к корпусу парогенератора

Р.Ю. Жуков, М.А. Курдин, А.А. Луковский,
С.А. Харченко, В.В. Сотсков

Начиная с 1998 при контроле металла в период ППР фиксировались случаи повреждения в зоне с.с.№111. Установлено, что разрушение протекает по механизму ЗДКР, который характеризуется высокой скоростью развития. Тем не менее, внеплановых остановов РУ по причине разуплотнения 2 контура из-за межконтурной течи в этой зоне не происходило. Но в 2014 году в «полугорячем» состоянии на «горячем» коллекторе 5ПГ-1 НвВЭС при обходе было выявлено микропарение.

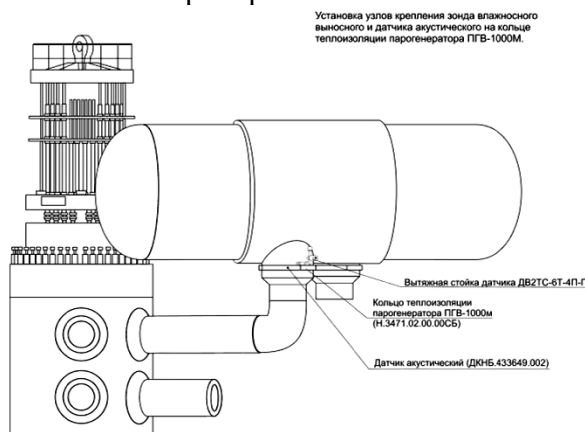


Рис. 1 Схема размещения зондов влажности и датчиков акустических для контроля течи в зоне сварного соединения №111

Начиная с 2015 года проводится оснащение всех ПГ в области прилегающей к узлу приварки коллектора системой контроля течи (рис. 1), которая позволяет гарантированно выявлять сквозной дефект на стадии когда его размер меньше критической величины и недопускать крупномасштабного разрушения. Тем не менее, с учетом позиции Ростехнадзора был выполнен анализ параметров протекания режима, связанного с постулируемым событием - «гильотинный» отрыв (всем сечением) зоны соединения коллектора с патрубком Ду 1200 коллектора.

Анализ этого гипотетически возможного события включал:

- 1) определение величины смещения коллектора вниз;
- 2) расчет расхода течи под оболочку;
- 3) оценку безопасности.

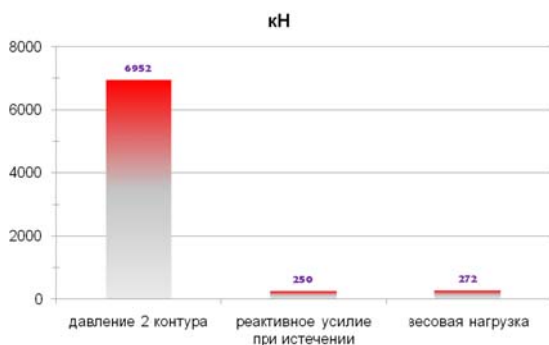


Рис. 2 Силы, возникающие на коллекторе ПГ, при «гильотинном» отрыве в зоне сварного соединения №111

На момент отрыва на коллектор действуют следующие факторы (рис. 2):

- внутреннее давление 6,46 МПа, которое воздействует на сечение $\varnothing 1176$;
- реактивное усилие, вызванное истечением теплоносителя второго контура через образовавшийся разрыв;
- собственный вес металла коллектора (16346 кг), крышки коллектора (664 кг), ГЦТ (15780 кг) и теплоносителя (5672 кг).

Расчеты показывают, что в момент «гильотинного» отрыва возникает сила, приложенная к коллектору ПГ, суммарной величиной $N=7500$ кН (или 750 т).

Под действием этой силы начинается смещение коллектора ПГ вниз и, как следствие, изгиб элементов пучка теплообменных труб ПГ и «горячей» нитки ГЦТ. Жесткость пучка выше, чем петли ГЦТ. Причем каждая из труб горизонтального ряда пучка ПГ по-разному оказывает сопротивление изгибу (рис. 3). Наибольшее сопротивление оказывают т/о трубки, находящиеся в середине центрального и бокового пакета которые напрямую входят в отверстия в стенке коллектора.



Рис. 3 Сопротивление ТОТ в горизонтальном ряду пучка ПГ при смещении на 1 мм коллектора ПГ

Смещение продолжается до тех пор, пока не достигается равновесие между внешней силой и величиной обратной силы реакции со стороны конструктивных элементов (табл. 1).

Таблица 1

Смещение коллектора ПГ в случае если оно ограничивается «жесткостью» пучка ПГ или нитки ГЦТ

Элемент	Смещение, мм
нитка ГЦТ	900
пучок т/о труб	160

Видно, что «жесткости» пучка т/о труб ПГ и нитки ГЦТ недостаточно, чтобы удержать коллектор от упорагиба ГЦТ в аварийную опору при «гильотинном» отрыве.

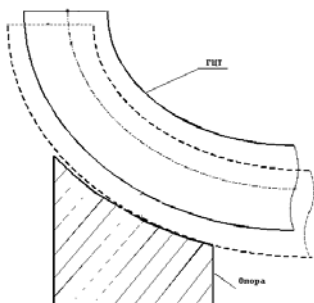


Рис. 4 Зазор между аварийной опорой и гибом ГЦТ

Но для восприятия реактивных усилий в проекте РУ предусмотрены аварийные опоры (рис. 4), выполненные в виде сварных коробчатых конструкций, устанавливаемые под колена ГЦТ с проектной величиной зазора в «горячем» состоянии 10 мм. Аварийная опора предназначена для восприятия нагрузок не менее 8852 кН или 880 т, возникающих в случае отрыва ГЦТ от коллектора ПГ. Эта величина больше чем усилия 7500 кН или 750 т, возникающие при «гильотинном» отрыве коллектора ПГ. Таким образом, в случае «гильотинного» разрыва возникает контакт(упор)гиба ГЦТ с аварийной опорой.

Зависимость максимальной деформации теплообменной трубки в зоне заделки в коллектор от его вертикального смещения представлена на рис. 5.

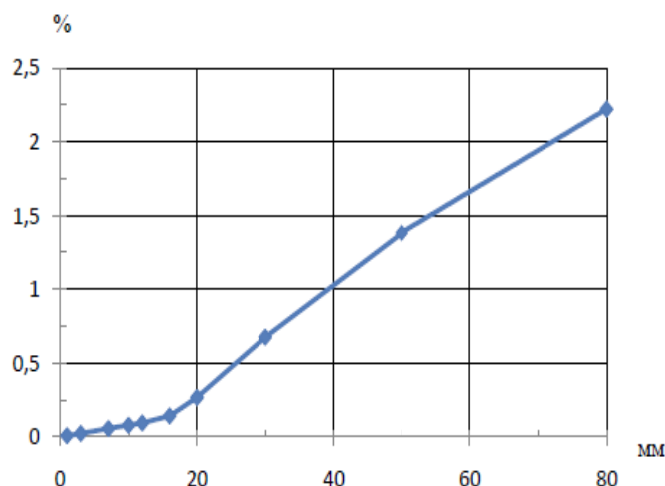


Рис. 5 Величины деформации в стенке ТОТ от смещения коллектора ПГ

Для разрушения стали 08X18H10T величина пластической деформации должна составлять не менее $\varepsilon_k = \ln \frac{1}{1-z} \approx 51\%$. При смещении коллектора ПГ до упора с аварийной опорой фактическая деформация в ТОТ не превысит 0,2%. Поэтому в случае «гильотинного» разрыва целостность первого контура будет сохранена и радиологических последствий из-за межконтурной течи не возникает.

Истечение воды ПГ происходит стадийно:

- из объема ПГ вода сначала входит в цилиндрический канал высотой 7 мм между стенкой коллектора (Ø1176) и стенкой патрубка приварки к корпусу (Ø1190);
- затем продвигается в расширяющейся до 88 мм полости «кармана» (Ø1014 и Ø1190);
- после выходит через щель, образовавшуюся в стенке из-за «гильотинного» разрушения металла, под оболочку.

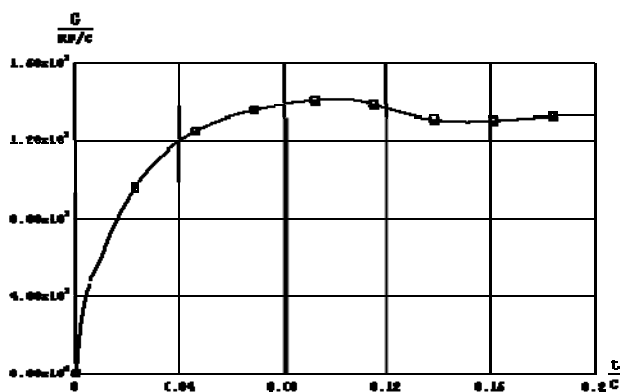
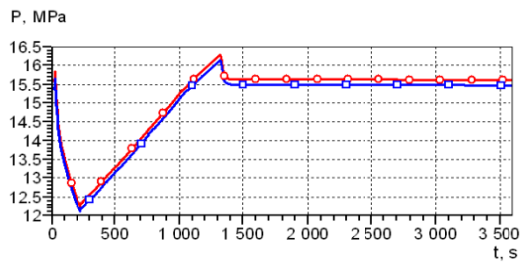


Рис. 6 Изменение расхода течи во времени

Эквивалентный диаметр полости «кармана» (Ду620) и щели, образующейся при «гильотинном» разрушении (Ду260), превышает эквивалентный диаметр цилиндрического канала между стенкой коллектора и стенкой патрубка приварки к корпусу ПГ (Ду180). Поэтому характеристика истечения при разрыве определяется цилиндрическим каналом. Гидравлический расчет «течи под оболочку» показывает, что предельный расход теплоносителя из образовавшейся щели составляет 1330 кг/с (рис. 6).

Оценка безопасности выполнялась при помощи программного комплекса ТРАП-КС. Комплекс применяется при анализе проектных и запроектных аварий при обосновании работоспособности и безопасности АЭС с ВВЭР. Исходным событием принят «гильотинный» отрыв коллектора и истечение воды из аварийного парогенератора ПГ-2.

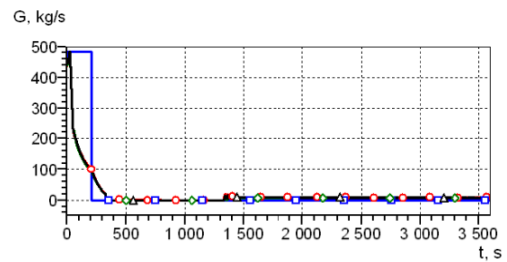
Некоторые результаты анализа параметров протекания режима приведены на рис.7.



○ 1 □ 2

1 – давление на входе в активную зону
2 – давление на выходе из активной зоны

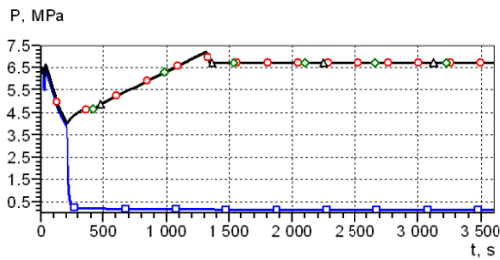
а



○ 1 □ 2 ◇ 3 ▲ 4

1 – ПГ-1; 2 – ПГ-2; 3 – ПГ-3; 4 – ПГ-4

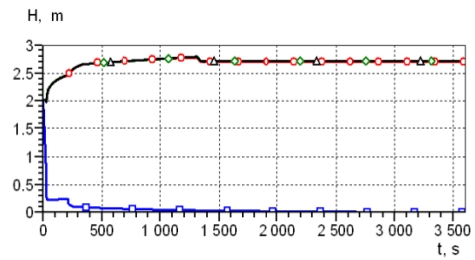
с



○ 1 □ 2 ◇ 3 ▲ 4

1 – ПГ-1; 2 – ПГ-2; 3 – ПГ-3; 4 – ПГ-4

б



○ 1 □ 2 ◇ 3 ▲ 4

1 – ПГ-1; 2 – ПГ-2; 3 – ПГ-3; 4 – ПГ-4

д

а – давление в первом контуре; б – давление во втором контуре;

с - расход питательной воды в ПГ; д - весовой уровень воды в парогенераторах

Рис. 7 Теплогидравлические параметры протекания режима

По результатам расчетов режим протекает по следующему сценарию. Из-за истечения давление теплоносителя во втором контуре аварийного ПГ-2 снижается, что приводит к увеличению отвода тепла от первого контура и снижению температуры теплоносителя на входе в активную зону. За счет действия обратных связей по температуре теплоносителя мощность реактора повышается. По причине снижения уровня в ПГ-2 срабатывают уставки на отключение сначала ГЦН, а затем и на срабатывание аварийной защиты реактора. В результате чего к 20 секунде происходит введение ОР СУЗ в активную зону и реактор переводится в подкритичное состояние и обеспечивается снижение тепловой мощности. С задержкой 10 секунд закрываются СК ТГ и пар из неаварийных ПГ-1,3,4 начинает поступать в аварийный ПГ-2 и далее в разрыв, что приводит к дальнейшему снижению давления во втором контуре. После снижения давления в паропроводе аварийного парогенератора менее 4,9 МПа или увеличения разницы температур насыщения первого и второго контуров более 75 °С к моменту времени 220 секунда формируется уставка на закрытие БЗОК и отсечение ПГ-2 по пару. После давление в неаварийных ПГ увеличивается и при достижении давления в парогенераторах 7,15 МПа к моменту времени 1350÷3600 секунд БРУ-А открываются и переходят в режим регулирования давления. В дальнейшем теплоотвод от РУ осуществляется за счет работы БРУ-А на неаварийных ПГ-1,3,4 и подачи в них питательной воды.

Теплогидравлический анализ показал, что для гипотетически возможного случая течи теплоносителя второго контура из-за «гильтинного» отрыва коллектора ПГ:

- защитные действия существующих на АЭС штатных систем безопасности планоно переводят РУ в контролируемое безопасное состояние;
- приемочные критерии выполняются;
- дополнительных мер для обеспечения безопасности не потребуется.

В заключение подчеркнем, что рассмотренный случай не входит в перечень аварийных режимов, связанных с разуплотнением второго контура, учитываемых в проекте

РУ. Оснащение парогенераторов в области прилегающей к узлу приварки коллектора системой контроля течи (СКТ) позволяет гарантированно выявлять сквозные дефекты на стадии, когда их размер меньше критической величины, что позволяет предотвратить крупномасштабное разрушение («гильотинный» отрыв).»