

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1К ДЛЯ ДВУХПЕТЛЕВОЙ РУ ВВЭР

О.В. Короткова, С.Л. Лякишев

Парогенератор ПГВ-1К представляет собой горизонтальный цилиндрический сосуд под давлением с жестко вваренным в него одним цилиндрическим вертикальным коллектором теплоносителя. Верхняя часть коллектора теплоносителя закрыта съемной эллиптической крышкой, а нижняя часть коллектора закрыта приварным эллиптическим днищем, в котором расположены один патрубок Ду1100 для подвода «горячего» теплоносителя и два патрубка Ду800 для отвода «холодного» теплоносителя. Все основные элементы ПГ изготавливаются из стали 10ГН2МФА, крепежные детали – из стали 38ХНЗМФА. Конструкция ПГВ-1К полностью удовлетворяет расчету по выбору основных размеров и представлена на рисунке 1.

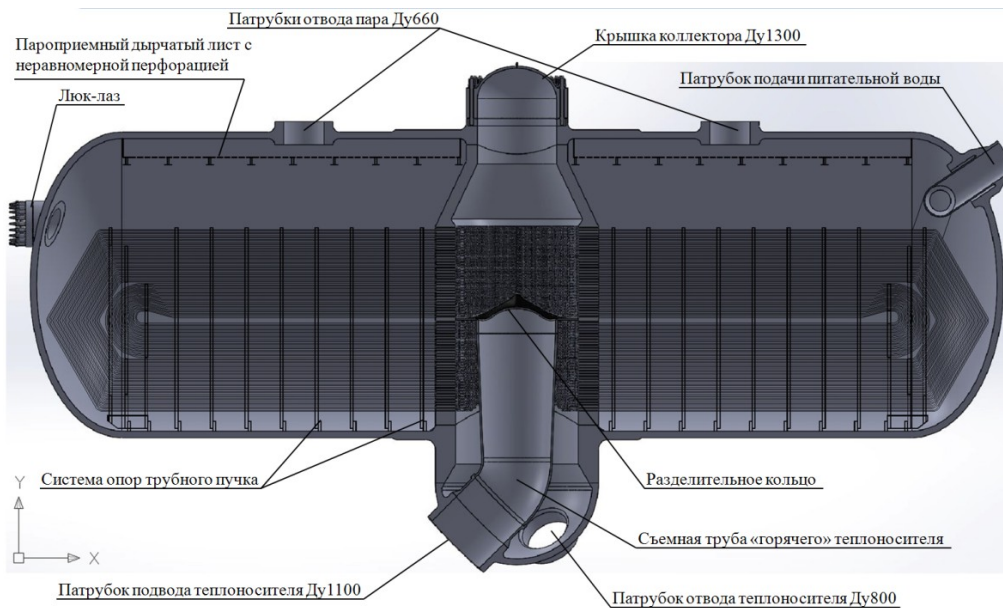


Рис. 1 Парогенератор ПГВ-1К в разрезе

Корпус ПГВ-1К состоит из обечаек внутренним диаметром 4800 мм, при этом толщина центральной обечайки составляет 145 мм, а толщина боковых обечаек 110 мм. Коллектор теплоносителя ПГВ-1К разделен перегородкой на две части. Внутри «холодной» части коллектора расположена съемная труба, по которой «горячий» теплоноситель поступает в «горячую» часть коллектора, раздается по теплообменным трубам, проходит по ним отдавая тепло котловой воде, затем собирается в «холодной» части коллектора и через два патрубка Ду800 в эллиптическом днище коллектора поступает в главные циркуляционные насосы и далее подается в реактор. Отвод пара из корпуса ПГ осуществляется через два патрубка Ду 660. В связи с применением к конструкции ПГВ-1К ряда новых технических решений, таких как жестко вваренный коллектор большой толщины и укрепление отверстий в обечайках корпуса проходными патрубками возникла необходимость обоснования прочности данного ПГ в трехмерной постановке методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS.

Для обоснования статической прочности ПГВ-1К были рассмотрены следующие основные элементы: верхний фланец коллектора со съемной крышкой (узел уплотнения); эллиптическое днище коллектора с патрубками теплоносителя; корпус ПГ с днищами и патрубками, а также с жестко вваренным коллектором; перемычки между отверстиями под теплообменные трубы в коллекторе.

Эллиптическая крышка соединяется с фланцем Ду1300 коллектора при помощи 28 шпилек М90. Исходя из условий симметрии в расчетной модели УУ рассмотрена ½ часть шпильки с фрагментами фланца и крышки, а также сферических шайб и гайки. В качестве нагрузок учитывались усилие начальной затяжки шпильки, давление от обжатия графитовых прокладок и расчетное давление в первом контуре 17,64 МПа.

Особенностью эллиптического днища является то, что патрубок Ду1100 приварен по проходной технологии, для укрепления ослабленного отверстием днища, с наружной и с внутренней сторон. В виду того, что НДС днища коллектора будет состоять в основном из местных напряжений, вызванных концентрацией напряжений вокруг патрубков, для корректной оценки прочности днища был проведен расчет по несущей способности в упругопластической постановке. На рисунке 2 показано распределение интенсивности напряжений в УУ и днище коллектора.

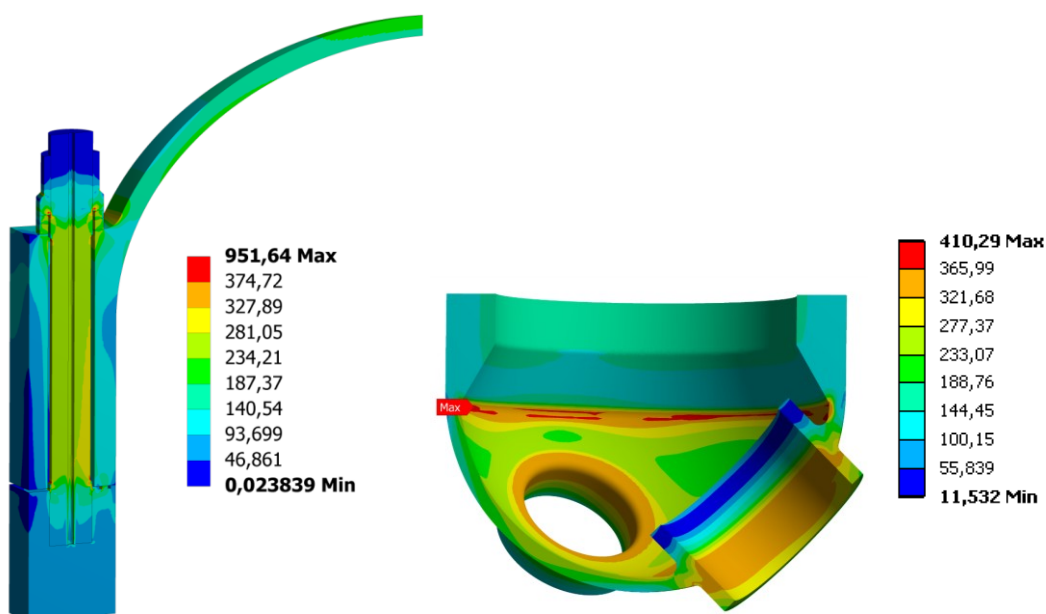


Рис. 2 Распределение интенсивности напряжений в УУ и днище коллектора, МПа

Анализ НДС показал, что определенные расчетом категории напряжений во всех элементах УУ не превышают допускаемых напряжений. Анализ результатов предельного расчета показал, что расчетное давление 17,64 МПа не превышает допускаемое давление 19,04 МПа, которое выдерживает конструкция днища коллектора, соответственно прочность днища коллектора обеспечена.

Для оценки прочности корпуса ПГ с днищами и патрубками, а также с жестко вваренным коллектором использовалась методика предельного расчета. В качестве нагрузки задавалось давление по первому и второму контурам. Для упрощения расчетной модели, зона перфорации коллектора заменена сплошным материалом, в котором модуль упругости уменьшен на коэффициент ослабления ϕ . На рисунке 3 показано распределение интенсивности напряжений в корпусе ПГ с патрубками, а также в коллекторе теплоносителя.

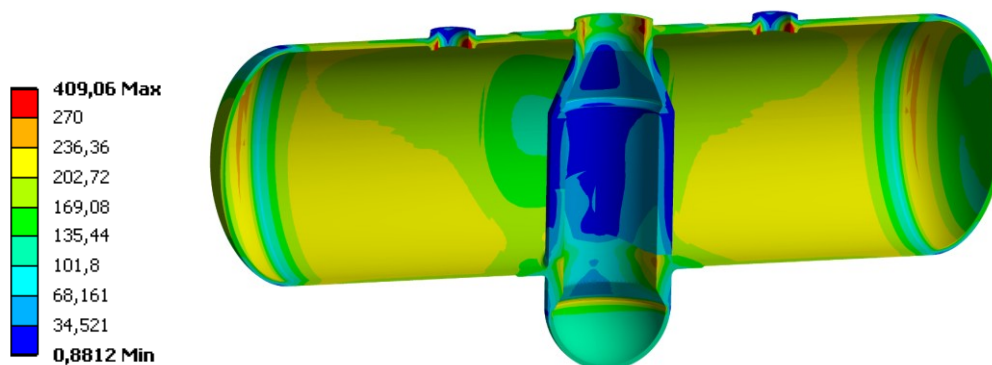


Рис. 3 Распределение интенсивности напряжений в корпусе ПГ, МПа

Анализ результатов предельного расчета показал, что расчетное давление 9 МПа не превышает допустимого давления 10,86 МПа, которое выдерживает конструкция корпуса ПГ, соответственно прочность корпуса ПГ с днищами и патрубками обеспечена.

Для расчета НДС в наиболее нагруженных перемычках между отверстиями под теплообменные трубы коллектора построена трехмерная модель, в которой смоделированы четыре нижних ряда отверстий под теплообменные трубы. Остальная перфорированная часть коллектора смоделирована сплошным материалом с учетом коэффициента ослабления ϕ . В качестве нагрузок на модель задавалось расчетное давление по первому и второму контурам. Распределение интенсивности напряжений в перемычках показано на рисунке 4.

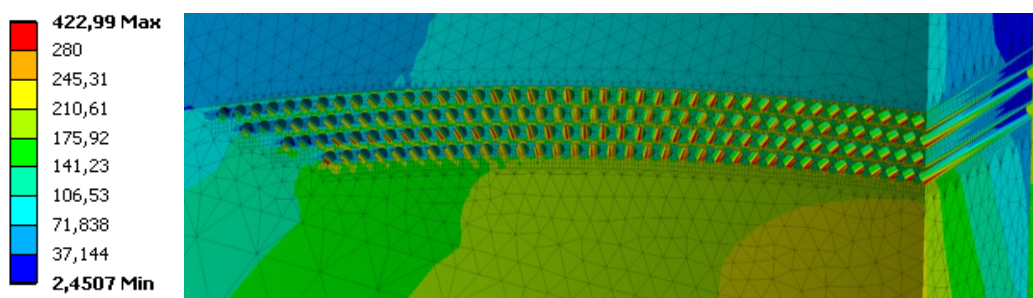


Рис. 4 Распределение интенсивности напряжений в перемычках, МПа

Виден значительный перепад напряжений в конечных элементах, расположенных в зоне перфорации. Перед тем, как выполнить анализ НДС в наиболее напряженной перемычке необходимо уменьшить размер конечных элементов в районе перемычки. Для этих целей использовался метод субмоделирования. На плоскостях выреза субмодели задавались перемещения от основной модели. В результате расчета, за счет более качественной сетки, удалось значительно снизить градиент напряжений в конечных элементах зоны перфорации и провести анализ НДС. Вырезанная из основной модели субмодель с распределением интенсивности напряжений показана на рисунке 5. Приведенные напряжения в перемычке, рассчитанные по формулам сопротивления материалов, не превышают допустимые напряжения, следовательно, прочность наиболее нагруженной перемычки между отверстиями под теплообменные трубы обеспечена.

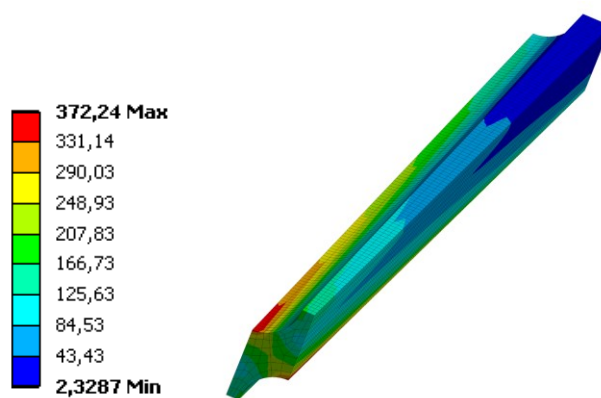


Рис. 5 Распределение интенсивности напряжений в субмодели, МПа

Проведенные расчеты на прочность позволяют сделать вывод об обеспечении статической прочности горизонтального ПГВ-1К, который можно применить в двухпетлевой РУ, например, ВВЭР-С. Прочность основных элементов ПГ при расчетных параметрах удовлетворяет требованиям норм расчета на прочность. В дальнейшем, по мере разработки проекта РУ с ПГВ-1К, планируется выполнить остальные поверочные расчеты на прочность.

Список сокращений

НДС	- напряженно-деформированное состояние
ПГ	- парогенератор
УУ	- узел уплотнения