

УДК 539.3

С.М. Банько

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КАВЕРНИ В ГАЛТЕЛІ ВУЗЛА З'ЄДНАННЯ КОЛЕКТОРА З КОРПУСОМ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1000М НА ЙОГО НАПРУЖЕНИЙ СТАН

Виконано розрахунковий аналіз тривимірного пружно-пластичного напруженого стану вузла з'єднання «гарячого» колектора з корпусом парогенератора ПГВ-1000М з дефектом у вигляді плоскої напівеліптичної каверни, розташованої на внутрішній поверхні патрубку вузла з'єднання в області галтельного переходу. Проведено оцінювання впливу глибини каверни на напружений стан в її вершині при моделюванні режиму гідралічних випробувань парогенератора. Виконано оцінювання впливу історії навантаження на напружений стан вузла з'єднання.

Вступ. На парогенераторах ПГВ-1000М атомних станцій України та Росії в процесі експлуатації протягом останніх 10 років виявлено дефекти у вигляді каверн та тріщин, які розташовувались на внутрішній поверхні патрубку вузла з'єднання колектора з корпусом парогенератора в зоні галтельного переходу та обумовлені впливом корозійного середовища і високим рівнем експлуатаційних напружень. У зв'язку з виявленням такого типу дефектів у вузлах з'єднання при експлуатації в межах розрахункового терміну служби актуальною є задача проведення детального розрахункового аналізу напруженого стану вузла з'єднання з дефектом при моделюванні експлуатаційних режимів навантаження з врахуванням пружно-пластичної поведінки матеріалу в околиці дефекту.

В публікаціях фахівців провідних підприємств, які займаються проектуванням і експлуатацією обладнання атомних електростанцій (АЕС), розрахунки напруженого стану вузла з'єднання при дії експлуатаційних навантажень представлені переважно в пружній постановці без врахування дефектності в області галтельного переходу [1-3]. В роботах [4, 5] крім того в розрахунковій практиці на основі тривимірного чисельного моделювання показано суттєво неоднорідний характер розподілу напружень на внутрішній поверхні галтельного переходу вздовж колової координати вузла з'єднання при моделюванні експлуатаційних навантажень. Результати чисельного аналізу напруженого стану (НС) вузла з'єднання колектора з корпусом парогенератора ПГВ-1000М з каверною представлено в роботах [6, 7]. Розрахунки проводились в пружно-пластичній постановці з використанням тривимірної моделі парогенератора.

Мета роботи. Провести розрахунковий аналіз пружно-пластичного напруженого стану вузла з'єднання колектора з корпусом парогенератора ПГВ-1000М з дефектом у вигляді плоскої напівеліптичної каверни, розташованої в області галтельного переходу. Дослідити вплив геометричних параметрів каверни та історії навантаження на НС вузла з'єднання.

Розрахунки проводили з використанням програмного комплексу SPACE-RELAX [8]. Задачу розв'язували в пружно-пластичній постановці з застосуванням тривимірної скінченно-елементної моделі 1-го контуру АЕС, яка включала корпус парогенератора, «гарячий» колектор, головний циркуляційний трубопровід (ГЦТ) і корпус реактора [7]. Моделювали плоску каверну з еліпсоїдальною вершиною, яка розташована в галтелі вузла в зоні максимальних розтягуючих осьових напружень. Розрахунки проводили для режиму гідравлічних випробовувань (ГВ). Тиск в першому контурі приймали 24.5 МПа, тиск в другому – 10.78 МПа. Розглядали каверни наступних розмірів: радіус r у вершині каверни приймали 2.5 мм, співвідношення напівосей a/b - 1/3, глибину a каверни змінювали в діапазоні від 10 до 60 мм з кроком 10 мм. При проведенні розрахунків використовували процедуру фрагментації дискретної моделі парогенератора [7], яка передбачає розв'язання задачі в два етапи. На першому етапі розв'язували пружно-пластичну задачу для основної розрахункової моделі, на другому – задачу для фрагмента вузла з'єднання з каверною. Для визначення НС в околиці каверни розроблено спеціальну процедуру побудови регулярної сітки скінченних елементів з локальним згущенням її вузлів до вершини каверни. Для всього тіла застосовували спеціальні змішані скінченні елементи у формі шестигранних призм, а вздовж фронту каверни - тетраедри [9]. Основна розрахункова модель 1-го контуру складалась із 445716 елементів і 492845 вузлів, розрахункова модель фрагмента містила 783992 елементів і 466739 вузлів. При розв'язанні задачі використовували рівняння теорії пластичної течії з ізотропним зміцненням [10]. Приймали модель ідеально пружно-пластичного матеріалу.

Результати. Встановлено, що при гідравлічних випробовуваннях каверна глибиною 20 мм є найбільш небезпечною з точки зору віртуального росту, оскільки для неї осьові і колові напруження досягають максимальних значень, які становлять відповідно 553 і 282 МПа (рис. 1, 2). В подальшому для каверни глибиною 20 мм розв'язок отримали для наступної послідовності експлуатаційних навантажень вузла з'єднання: ГВ – розвантаження – нормальні умови експлуатації (НУЕ). При моделюванні НУЕ тиск в першому контурі приймали 16.0 МПа, тиск в другому – 6.0 МПа. Для оцінки впливу історії навантаження на напружений стан в околиці каверни результати розрахунків напруженого стану для режиму НУЕ порівнювали з розрахунками без врахування історії навантаження.

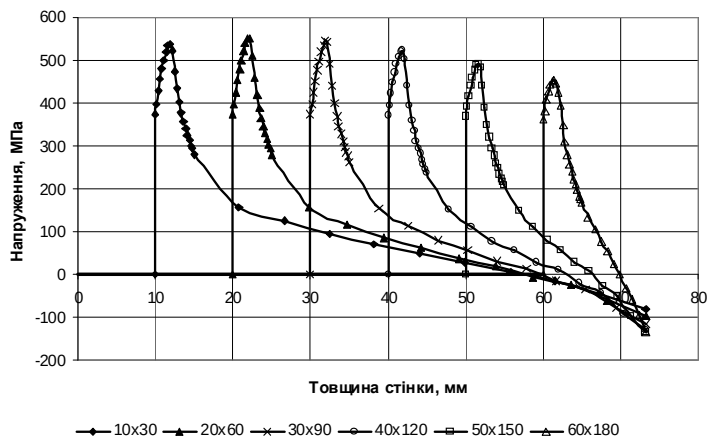


Рис. 1. Розподіл осевих напружень S_z по товщині стінки для різних глибин каверн при ГВ

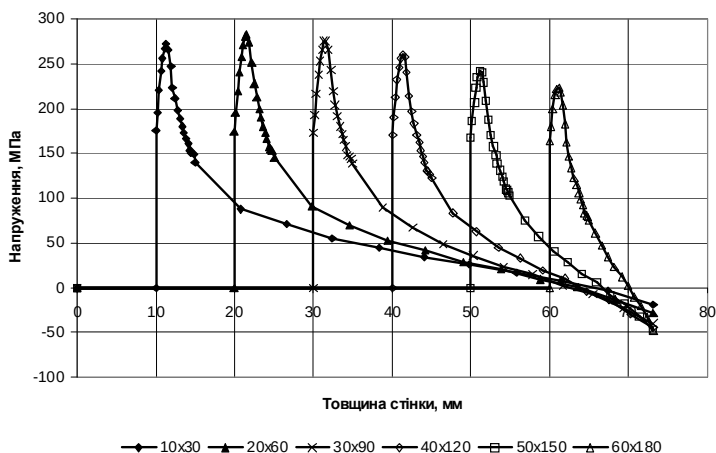


Рис. 2. Розподіл колових напружень S_f по товщині стінки для різних глибин каверн при ГВ

Значення максимальних осевих та колових напружень в залежності від глибини каверни представлені на рис. 3.

На рис. 4, 5 для режиму ГВ показано характер розподілу осевих та колових напружень у площині, що проходить через вісь колектора і вершину каверни глибиною 20 мм.

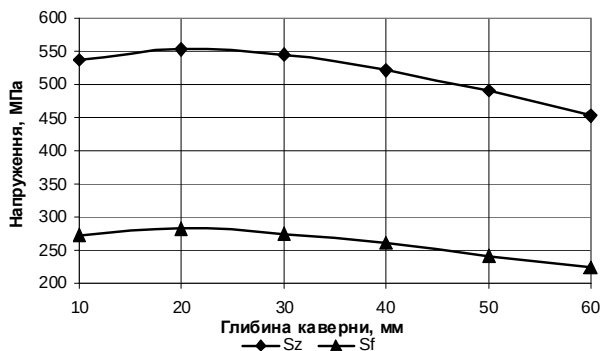


Рис. 3. Максимальні напруження Sz та Sf в залежності від глибини каверни при ГВ

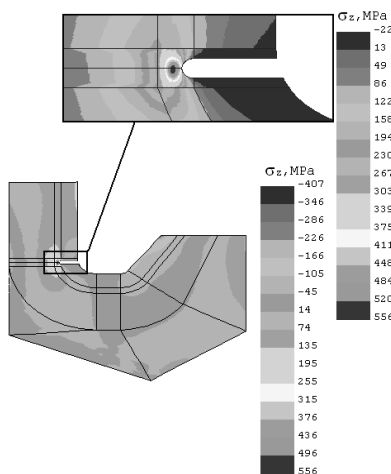


Рис. 4. Розподіл осевих напружень для каверни глибиною 20 мм при ГВ

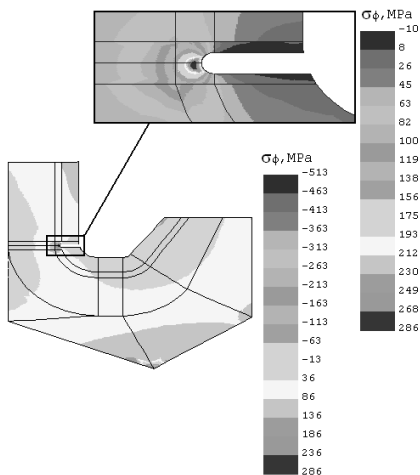


Рис. 5. Розподіл колових напружень для каверни глибиною 20 мм при ГВ

На рис. 6, 7 представлені графіки розподілу осевих та колових напружень для каверни глибиною 20 мм на відрізку 5 мм перед її вершиною з врахуванням та без врахування історії навантаження. Із приведених результатів розрахунків слідує, що для режиму НУЕ при врахуванні історії навантаження максимальні осеві та колові напруження складають відповідно 408 і 191 МПа, без врахування історії навантаження - відповідно 442 і 188 МПа. При врахуванні історії навантаження точка локалізації максимальних напружень зміщується від вершини каверни.

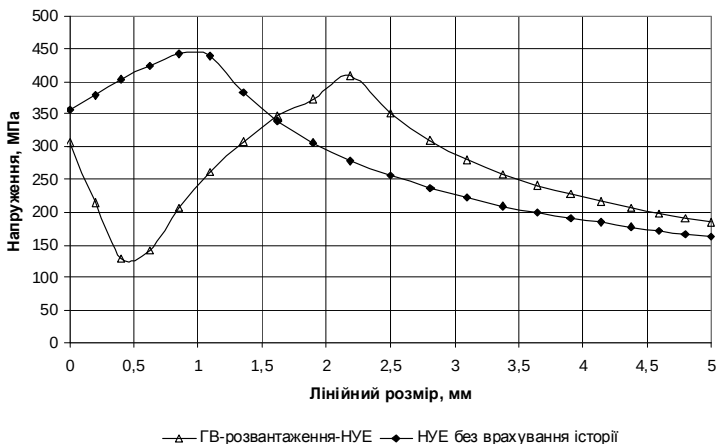


Рис.6. Розподіл осевих напружень перед вершиною каверни глибиною 20 мм для різних варіантів навантаження

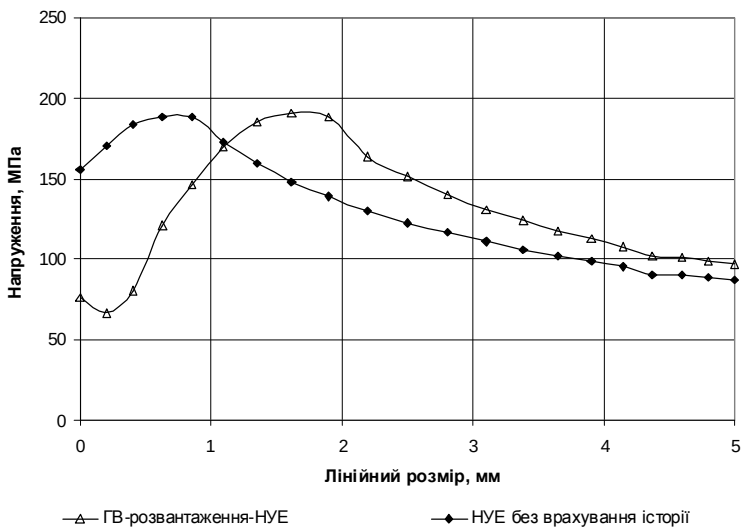


Рис. 7. Розподіл колових напружень перед вершиною каверни глибиною 20 мм для різних варіантів навантаження

Висновки. Проведено аналіз впливу глибини каверни в галтелі вузла з'єднання колектора з корпусом парогенератора ПГВ-1000М на його пружнопластичний напружений стан. Показано, що найбільші напружен-

ня в галтелі при моделюванні режиму ГВ мають місце для каверни глибиною 20 мм.

Розрахунки напруженого стану вузла з'єднання з врахуванням і без врахування історії термосилового навантаження показали, що неврахування історії навантаження призводить до завищених значень максимальних осевих напружень (на 8%) і незначного зниження колових (на 1.5%). При врахуванні історії навантаження точка локалізації максимальних напружень зміщується від вершини каверни.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Драгунов Ю.Г., Петрова О.Ю., Лякишев С.Л. и др. Повышение надежности эксплуатации коллекторов парогенераторов ПГВ-1000, -1000М //Атомная энергия. – 2008, Том 104, №1. с.9-13.
2. Лякишев С.Л., Харченко С.А., Кучерявченков А.В., Коротаев Н.Ф. Оптимизация конструкции узла приварки коллектора к корпусу парогенератора. //Сб.трудов 7-го Международного семинара по горизонтальным парогенераторам. – 2006.- ФГУП ОКБ «Гидропресс», Подольск, Россия.
3. Лякишев С.Л., Трунов Н.Б., Харченко С.А. и др. Разработка и обоснование мероприятий по обеспечению надежной и безопасной эксплуатации сварных соединений № 111 парогенератора ПГВ-1000М //Труды 6-й Международной научно-технической конференция «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». – 2009.- ФГУП ОКБ «Гидропресс», Подольск, Россия.
4. Степанов Г.В., Харченко В.В., Бабуцкий А.И. и др. Оценка напряженно-деформированного состояния узла сварного соединения “горячего” коллектора с патрубком парогенератора ПГВ-1000 АЭС// Пробл. прочности.- 2003, №5. с.142-153.
5. Степанов Г.В., Харченко В.В., Бабуцкий А.И. и др. Влияние компоновки реакторов ВВЭР «малой» и «большой» серий атомных электростанций на напряженно-деформированное состояние узла приварки коллектора к патрубку парогенератора // Пробл. прочности.- 2007, №5. с.114-120
6. Банько С.Н., Кобельский С.В., Кравченко В.И. Численный анализ напряженно-деформированного состояния в вершине каверны, расположенной в галтели узла приварки коллектора к корпусу парогенератора ПГВ-1000М // Надежность и долговечность машин и сооружений. – 2012. – Вып. 35. – С. 214 – 220.
7. Банько С.М. Напружений стан вузла з'єднання колектора з корпусом парогенератора ПГВ-1000М з каверною // Вісник Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя. – 2012. – №3 (67). – С. 56 – 63.
8. Програмне забезпечення «Тривимірне скінченноелементне моделювання теплового і термонапруженого стану елементів машинобудівних конструкцій» (SPACE) / Система сертифікації УкрСЕПРО. Сертифікат відповідності № UA1.017.0054634-04. – 2004.
9. Чирков А. Ю., Кобельский С.В., Звягинцева А.А. Построение смешанной аппроксимации МКЭ для решения пространственных задач теории упругости // Надёжность и долговечность машин и сооружений. – 2008. – Вып. 31. – С. 118 – 123.
10. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. – М.: Наука, 1969. – 420 с.

Стаття надійшла до редакції 03.05.2013 р.

Банько С.М.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КАВЕРНЫ В ГАЛТЕЛИ УЗЛА СОЕДИНЕНИЯ КОЛЛЕКТОР С КОРПУСОМ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ ПГВ-1000М НА ЕГО НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Выполнен расчетный анализ трехмерного упруго-пластического напряженного состояния узла соединения «горячего» коллектора с корпусом парогенератора ПГВ-1000М с дефектом в виде плоской полуэллиптической каверны, расположенной на внутренней поверхности патрубка узла соединения в области галтельного перехода. Проведена оценка влияния глубины каверны на напряженное состояние в ее вершине при моделировании режима гидравлических испытаний парогенератора. Выполнено оценку влияния истории нагружения на напряженное состояние узла соединения.

Ban'ko S.N.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS OF THE CAVITY IN THE FILLET REGION OF THE HEADER-TO-PGV-1000M STEAM GENERATOR CONNECTOR WELDMENT ON ITS STRESS STATE

The computational analysis of the three-dimensional elastoplastic stress state for the hot header-to-PGV-1000M steam generator connector weldment with a defect in the form of a semi-elliptical planar cavity on the inner surface of the connector weldment in the fillet region is carried out. The assessment of the influence of the cavity depth on the stress state at its tip in simulating hydraulic testing conditions for the steam generator is performed. The effect of the loading history on the stress state of the connector weldment is assessed.