

ОЦЕНКА ГРАНИЧНОЙ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ГЕРМОПРОХОДОК ЭНЕРГОБЛОКА № 2 РОВЕНСКОЙ АЭС

В.М. ТОРОП, А.А. ПЕРЕПИЧАЙ

ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ, 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Рассмотрены основные подходы, используемые для определения граничной сейсмостойкости гермопроходок энергоблока № 2 Ровенской АЭС. Проведен анализ результатов консервативного и уточненного методов расчета граничной сейсмостойкости, а также границы применимости рассмотренных подходов. Библиогр. 5, табл. 2, рис. 6.

Ключевые слова: граничная сейсмостойкость, оценка работоспособности трубопроводных систем, элементы оборудования АЭС, границы применимости подходов, коэффициент запаса

Работы, связанные с выполнением оценки работоспособности трубопроводных систем и элементов оборудования АЭС сопряжены с рядом трудностей. Одной из них является та, что далеко не всегда имеется вся проектная, а также эксплуатационно-техническая документация. Выходом с этой ситуации является составление чертежей элементов оборудования «по месту» во время планово-производственного ремонта (ППР). Но описанный подход не удается применить для неразборных элементов, которые скрыты под «внешним слоем» оборудования.

Именно с такой ситуацией пришлось столкнуться во время проведения работ по оценке граничной сейсмостойкости (HCLPF) гермопроходок энергоблока № 2 Ровенской АЭС в связи с конструктивными особенностями гермопроходок (рис. 1) и отсутствием проектно-конструкторской документации на большинство из них.

Для решения поставленной задачи было решено принять, что формой отказа при сейсмическом воздействии для гермопроходки является нарушение герметичности гермообъема (ГО). При разрушении сварных швов трубопроводов герме-

тичность ГО не нарушается, так как на них установлена локализирующая арматура. Учитывая сказанное выше, оценка граничной сейсмостойкости герметичных проходок проводится по наиболее слабому элементу конструкции проходки, а именно сварному шву стыковки проходки с закладными элементами (рис.2).

Целью данной работы является сравнение нескольких упрощенных консервативных подходов к расчету граничной сейсмостойкости с уточненной методикой. Все рассмотренные подходы к определению HCLPF выполнены в соответствии с требованиями ПНАЭ [1] и учетом рекомендаций МАГАТЭ [2].

В соответствии с приведенными выше документами анализ сейсмостойкости оборудования и трубопроводов проводится методом граничной сейсмостойкости. Для вычисления величины граничной сейсмостойкости используется коэффициент запаса, который определяется соотношением:

$$FS = \frac{C - D_{NS}}{\left((D_S^2 + D_{SAM}^2)^{\frac{1}{2}} + \delta C_S \right)}, \quad (1)$$

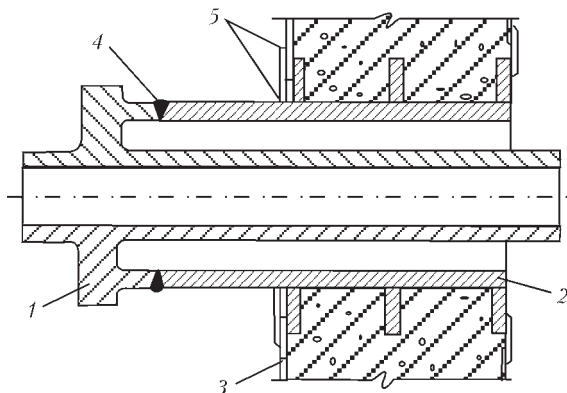


Рис. 1. Схема гермопроходки: 1 – корпус проходки; 2 – закладная труба; 3 – герметичная облицовка; 4 – контролируемый шов; 5 – сварные швы

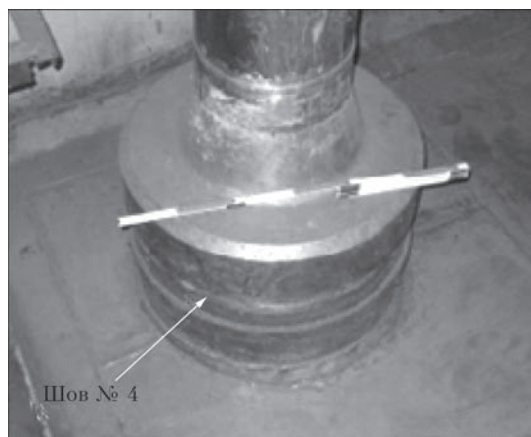


Рис. 2. Фото гермопроходки со стороны реакторного зала (шов № 4 – стыковка проходки с закладными элементами)

где FS – коэффициент запаса; C – значение допускаемого параметра (например, допускаемые напряжения); D_{NS} – вклад в оцениваемый параметр всех сейсмических нагрузок, входящих в предписанную комбинацию нагрузок; D_S – вклад в оцениваемый параметр только сейсмических инерционных нагрузок; D_{SAM} – вклад в оцениваемый параметр нагрузок от сейсмического смещения опор; δC_S – снижение величины допускаемого параметра из-за действия сейсмической нагрузки.

Величина граничной сейсмостойкости определяется следующим соотношением (2):

$$HCLPF = FS F_{\mu} ZPA, \quad (2)$$

где HCLPF – величина граничной сейсмостойкости; F_{μ} – коэффициент неупругого поглощения энергии; $ZPA = 0,1g$ – ускорение нулевого периода (пиковое ускорение).

Расчеты гермопроходок выполнены с помощью программных комплексов ANSYS и АСТРА–АЭС.

Возможность использования «консервативного» подхода при оценке граничной сейсмостойкости сварного шва стыковки проходки с закладными элементами рассмотрен на примере локализирующего барьера 2ГПТСаОЗНД1С2. Указанная гермопроходка была выбрана в связи с тем, что имела полный комплект проектно-технической документации. Рабочие параметры проходки $T = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P_{\text{внутри}} = 14 \text{ МПа}$.

Суть первого «консервативного» подхода заключается в определении усилий и моментов при нормальных условиях эксплуатации (НУЭ) и максимальном расчетном землетрясении (МРЗ) с помощью АСТРА–АЭС в центральной точке сечения трубы без моделирования «тела» проходки (рис. 3). Полученные расчетные значения усилий и моментов прикладываются к внешней части гермопроходки и представлены на рис. 3.

Суть «консервативного» подхода №2 заключается также в определении усилий и моментов при

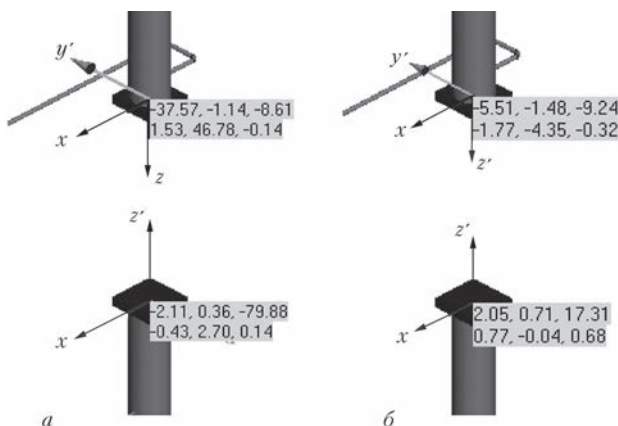


Рис. 3. Результаты расчетов сил (первый ряд) и моментов (второй ряд) в узлах примыкания гермопроходки 2ГПТСаОЗНД1С2 к трубопроводам в локальной системе координат: а – НУЭ; б – МРЗ

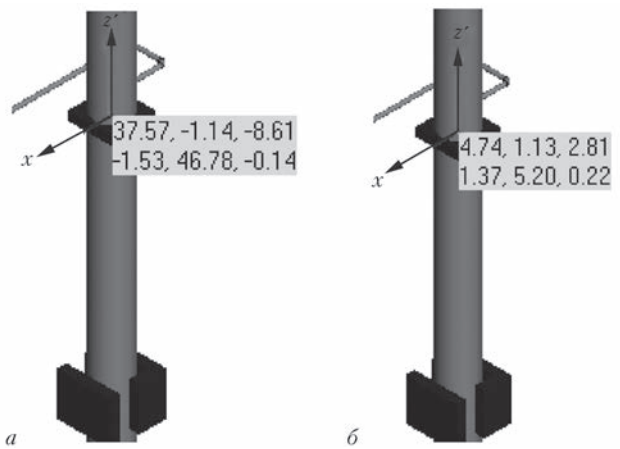


Рис. 4. Результаты расчетов сил (первый ряд) и моментов (второй ряд) в узлах примыкания гермопроходки 2ГПТСаОЗНД1С2 к трубопроводам в локальной системе координат: а – НУЭ; б – МРЗ

НУЭ и МРЗ в центральной точке сечения трубы, но уже с «телом» проходки (рис. 4).

Ниже приведены известные соотношения (3) – (5) для определения напряжений в сварном шве приварки трубы гермопроходки к закладным деталям [3]:

$$\sigma = \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\pi r^3} + \frac{N_z}{F}, \quad (3)$$

$$\tau = \frac{M_z}{\pi r^3} + \frac{4}{3} \frac{\sqrt{P_x^2 + P_y^2}}{F}, \quad (4)$$

$$\sigma_{\text{экр}} = \sqrt{(\sigma)^2 + 4(\tau)^2}, \quad (5)$$

где σ – нормальные напряжения, МПа; τ – касательные напряжения, МПа; $\sigma_{\text{экр}}$ – эквивалентные напряжения, МПа; P_x, P_y, N_z – усилия, кН; M_x, M_y, M_z – моменты, кН·м; r – радиус трубы в месте приварки проходки к закладным деталям, м; F – площадь поперечного сечения трубы в месте приварки проходки к закладным деталям, м².

В табл. 1 приведены результаты расчета напряжений для сварного шва приварки трубы гермопроходки к закладным деталям при использовании «консервативного» подходов № 1 и 2.

Полученные в результате расчетов в АСТРА–АЭС усилия и моменты в узлах примыкания трубопроводов к гермопроходке при НУЭ, а также при МРЗ используются далее в качестве граничных условий при «уточненном» моделировании гермопроходки методом конечных элементов.

Таблица 1. Сравнение результатов расчета напряжений при использовании «консервативного» подходов № 1 и 2

Номер подхода	НУЭ, МПа	НУЭ+МРЗ, МПа	HCLPF
1	119,5	122,3	1,97
2	119,5	122,1	1,93

Использование метода конечных элементов позволяет с высокой точностью определить напряжения в элементах оборудования в результате сейсмического воздействия. В настоящее время наиболее распространенным и универсальным программным пакетом, использующим конечно-элементный анализ, является программный комплекс (ПК) ANSYS [4].

ПК ANSYS – наиболее универсальная программная система конечно-элементного анализа. Она является довольно популярной у специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчетов (CAE, Computer-Aided Engineering). Пакет позволяет решать задачи из множества областей науки и техники: решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твердого тела и механики конструкций, задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей. Моделирование и анализ в некоторых областях промышленности позволяет избежать дорогостоящих и длительных циклов разработки типа «проектирование – изготовление – испытания».

Используемые в ПК ANSYS инструменты численного моделирования и анализа удобны для пользователя, совместимы с другими пакетами, работают на различных платформах и позволяют решать связанные задачи механики и физики [5].

На рис. 5 изображены расчетная (геометрическая) модель локализационного барьера 2ГПТСаОЗНД1С2, а также конечно-элементная модель, разработанные в препроцессоре ANSYS.

Расчет граничной сейсмостойкости проводился в четыре этапа:

- расчет напряжений, возникающих в результате воздействия статических нагрузок при НУЭ;
- проведение модального анализа – расчет форм и частот собственных (резонансных) колебаний конструкции с использованием результатов предыдущего анализа в качестве преднапряженного состояния конструкции;



Рис. 5. Расчетная (геометрическая) модель локализационного барьера 2ГПТСаОЗНД1С2 (а) и конечно-элементная модель 2ГПТСаОЗНД1С2 (б)

- расчет напряжений, возникающих от воздействия сейсмических нагрузок в виде спектров отклика, соответствующих 7 баллам МРЗ;
- расчет напряжений от совместного воздействия статических нагрузок от НУЭ и МРЗ, а также расчет HCLPF.

Полученные в результате расчета распределения эквивалентных напряжений в гермопроходке 2ГПТСаОЗНД1С2 с учетом приведенных на рис. 3 комбинации нагрузок при НУЭ и при НУЭ+МРЗ показаны на рис. 6 и 7 соответственно.

Эквивалентные напряжения в сечении примыкания трубопроводов к гермопроходке 2ГПТСаОЗНД1С2 с приложенными максимальными значениями нагрузок при НУЭ и моделировании гермопроходки в качестве жесткой заделки равны 75,8 МПа, что близко к полученным нами значениям 119,5 МПа при «консервативном» подходе. Максимальные напряжения в 124,5 МПа в данном случае возникают в так называемой точке сингулярности в месте приложения граничных условий и не являются показательными.

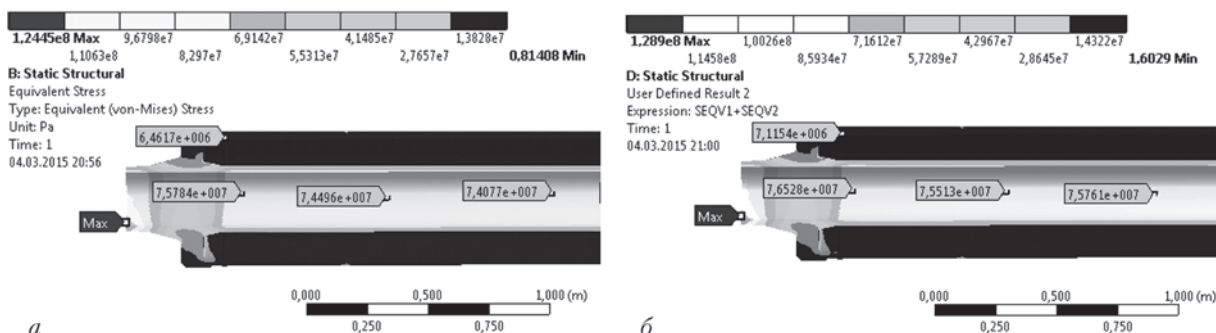


Рис. 6. Результаты расчета на статическую прочность при НУЭ (а) и НУЭ+МРЗ (б)



Таблица 2. Сравнения результатов расчета напряжений при использовании «консервативного» подходов № 1 и 2 и «уточненного»

Подход	НУЭ, МПа	НУЭ+МРЗ, МПа	HCLPF
№1	119,5	122,3	1,97
№2	119,5	122,1	1,93
ANSYS	75,8	76,52	2,03

Сопоставление результатов расчетов по консервативному подходу № 1 и 2 (с помощью ПК АСТРА–АЭС) и уточненному (с помощью ПК АСТРА–АЭС и ПК ANSYS) подходам приведены в табл. 2.

Из данных, представленных в табл. 2, следует, что консервативный подход № 1 и 2 дает более высокие значения приведенных максимальных эквивалентных напряжений как при НУЭ, так и при сочетании нагрузок НУЭ+МРЗ.

Выводы

Выполнена оценка граничной сейсмостойкости гермопроходки с помощью консервативного и уточненного подходов. При этом для гермо-

проходки 2ГПТСаОЗНД1С критерии прочности [1] удовлетворяются как для консервативного, так и для уточненного подходов. Консервативный подход дает более высокие значения приведенных максимальных эквивалентных напряжений и в случае неперевышения допустимых напряжений и отсутствии достоверной информации о конструктивных особенностях гермопроходки он обоснованно может быть использован при оценке сейсмостойкости гермопроходки в составе локализирующего барьера и примыкающих трубопроводов.

1. ПНАЭ Г-7-002–86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.
2. *Evaluation of Seismic Safety for Existing Nuclear Installation Safety Standards Series № NS-G-2.13*, IAEA, Vienna, 2009.
3. Яковлев Г. С., Матвеев А. П., Писаренко В. В. Справочник по сопротивлению материалов / Отв. ред. Г.С. Писаренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наук. думка, 1988. – 736 с.
4. Басов К. А. ANSYS для конструкторов. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 248 с.
5. Басов К. А. ANSYS и LMS Virtual Lab. Геометрическое моделирование. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 240 с.

The main approaches are considered, which are used to determine seismic stability boundary of sealed passages in power generating unit #2 of Rovno NPS. Analysis was performed of the conservative and refined method of calculation of seismic stability boundary, as well as the limit of applicability of the considered approaches. 5 References, 2 Tables, 6 Figures.

Keywords: seismic stability boundary, evaluation of piping system performance, NPS equipment components, limits of applicability of the approaches, safety factor

Поступила в редакцию
20.06.2015



NDT Systems & Services Ukraine

Международный сертификат за 2014 год «Экспортер Року»



Установка НКЗ80ВЛ

для автоматизированного ультразвукового контроля тела трубы
диаметром 146-426 мм толщиной стенки 6-40 мм

УСТАНОВКА ОБЕСПЕЧИВАЕТ

- обнаружение расслоений
- измерение толщины стенки трубы
- обнаружение дефектов различной ориентации относительно оси трубы

УНИКАЛЬНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НА ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТКАХ

**ОДНОВРЕМЕННЫЙ КОНТРОЛЬ НАЛИЧИЯ ДЕФЕКТОВ РАЗЛИЧНОЙ
ОРИЕНТАЦИИ (17 НАПРАВЛЕНИЙ)**

**ОДНОВРЕМЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ И РАССЛОЕНИЯ ПО
ЭХО-ИМПУЛЬСНОМУ И ЭХО-ТЕНЕВОМУ МЕТОДАМ**

**ТРИ ОДИНАКОВЫЕ НЕЗАВИСИМЫЕ КАРЕТКИ ПОЗВОЛЯЮТ ПРОИЗВОДИТЬ
КОНТРОЛЬ ТРУБ РАЗЛИЧНЫХ ДЛИН С МАКСИМАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ**

Украина, 03151, Киев, пр-т Воздухофлотский, 94 а
Тел./факс: +38(044) 249-00-94, +38(044) 383-19-81
www.ndt-global.com.ua, E-mail: office@ndt-paton.com.ua