

С.А. БЕЛОВ, канд. техн. наук,

М.А. ОРАЗОВА, УкрНИИхиммаш, г. Харьков, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОПОРНОГО УЗЛА КОКСОВОЙ КАМЕРЫ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

У роботі розглядається задача тривалої циклічної міцності опорного вузла коксової камери. Через великий градієнт температур по висоті опорної обичайки в області приварки опори виникають значні місцеві напруження. Для зниження градієнта температур в опорному вузлі між опорною обичайкою та днищем камери, на деякій відстані від зварного шва приварки опори, встановлюється додаткове кільце, яке передає температуру від днища до опорної обичайці. Вирішується задача оптимізації параметрів встановлення додаткового кільця. Виконується оцінка тривалої циклічної міцності коксової камери.

В работе рассматривается задача длительной циклической прочности опорного узла коксовой камеры. Из-за большого градиента температур по высоте опорной обечайки в области приварки опоры возникают значительные местные напряжения. Для снижения градиента температур в опорном узле между опорной обечайкой и днищем камеры, на некотором расстоянии от сварного шва приварки опоры, устанавливается дополнительное кольцо, которое передает температуру от днища к опорной обечайке. Решается задача оптимизации параметров установки дополнительного кольца. Выполняется оценка длительной циклической прочности коксовой камеры.

The problem of long-term cyclic strength of the holding bridge of coke oven chamber is considered in this work. Due to the large temperature gradient in height bearing shell in the area of welding support there are significant local tensions. To reduce the temperature gradient in the holding bridge between the bearing shell and the bottom of the camera at some distance from the weld welding supports an additional ring is established which transmits the temperature from the bottom to the supporting sidewall. The problem of the parameters of the installation of additional rings is solving. The estimate of prolonged cyclical strength of coke oven chamber is performing.

Коксовая камера является реактором циклического действия.

Циклический характер работы обуславливает циклические перепады и неравномерность температур оболочки реактора, как по периметру и высоте, так и по толщине стенок аппарата.

Наиболее нагруженной областью коксовой камеры является зона соединения опорной обечайки с корпусом.

Циклический характер работы камеры может привести к возникновению трещин в сварном шве приварки опорной обечайки к корпусу.

В частности, на Херсонском НПЗ во всех пяти коксовых камерах после

20 лет эксплуатации при обследовании были обнаружены трещины в зоне приварки опор.

Склонность к трещинообразованию обусловлена большим градиентом температур по высоте опорной обечайки.

Для снижения градиента температур в опорном узле между опорной обечайкой и днищем на некотором расстоянии от сварного шва приварки опоры устанавливается кольцо.

При монтаже между кольцом и днищем имеется зазор.

В режиме коксования этот зазор выбирается и за счет теплопроводности кольца снижается градиент температур.

В данной работе решаются задачи оптимизации параметров установки указанного выше кольца (расстояние от сварного шва до места установки кольца и зазор между кольцом и днищем) и оценки циклической прочности опорного узла коксовой камеры с учетом температурных напряжений.

Корпус коксовой камеры изготовлен из двухслойной стали 12ХМ+08Х13.

Толщина плакирующего слоя 6 мм.

Опорная обечайка в нижней части (на высоте 1500 мм) выполнена из стали 09Г2С, в верхней части – из стали 12ХМ.

Основные размеры корпуса и опорного узла показаны на рис. 1.

Аппарат изолируется от тепловых потерь.

Толщина тепловой изоляции 200мм.

На наружной поверхности нижней части опорной обечайки, высотой 600мм теплоизоляция отсутствует.

В качестве теплоизоляционного материала используются маты минераловатные прошивные М-100, которые укладываются в два слоя.

Для определения напряженного состояния опорного узла коксовой камеры применялся программный комплекс, реализующий метод конечных элементов.

Для создания расчетной модели использовались элементы двух типов: 8-узловой конечный элемент твердого тела с одной степенью свободы в узле – температурой и 8-узловой конечный элемент твердого тела с тремя степенями свободы в узле.

Расчеты выполнялись в два этапа: первый этап - получение поля распределения температур, второй этап – определение напряженного состояния (НС).

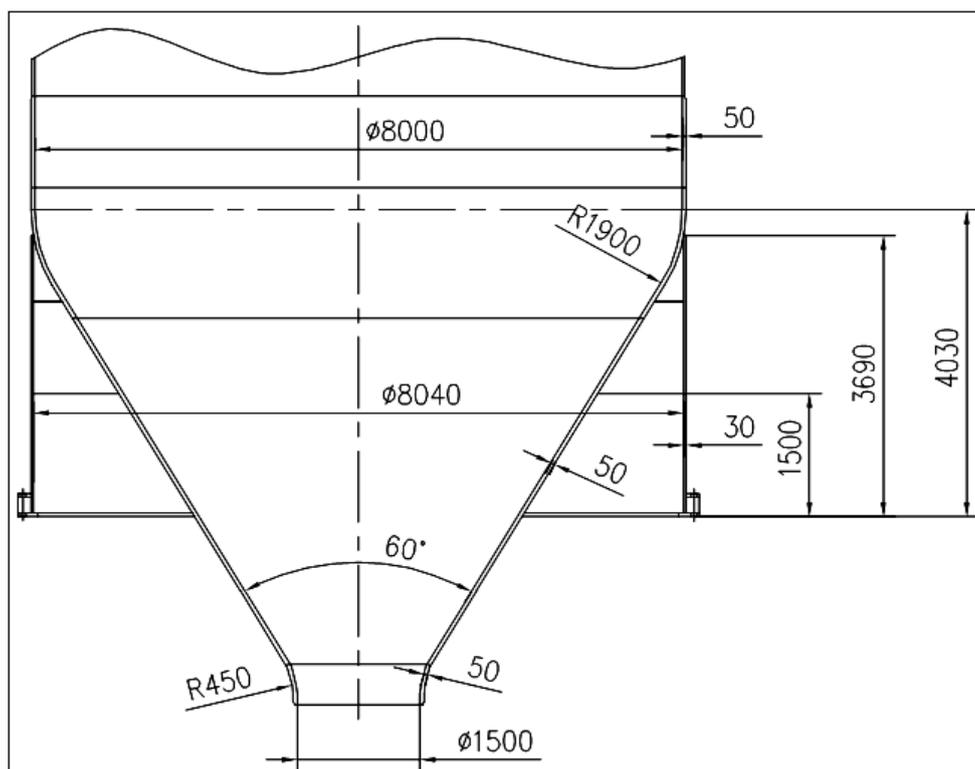


Рис. 1. Конструкция опорного узла коксовой камеры

В рассматриваемой модели учитывается основной и плакирующий слои, имеющие различные коэффициенты линейного расширения.

Расчеты показали, что эффективнее всего установить кольцо 10×250 мм на расстоянии 700 мм от сварного шва приварки опорной обечайки. Кольцо состоит из 25 сегментов, зазор между сегментами 15 мм. При монтаже между кольцом и днищем существует зазор 10 мм, который выбирается при повышении температуры в режиме коксования. Ввиду симметрии аппарата и нагружения рассматривается $1/25$ часть корпуса.

При определении температурного поля применялись следующие граничные условия: задание температуры 495 °С на внутренней поверхности корпуса; задание на внешней поверхности теплоизоляции температуры окружающей среды 25 °С и коэффициента теплоотдачи от изоляции к воздуху. На этом этапе учитывается теплопроводность воздуха, который находится в «треугольнике», образованном частью внутренней поверхности опоры, частью внешней поверхности днища и верхней поверхностью кольца.

Диаграмма температур приведена на рис. 2.

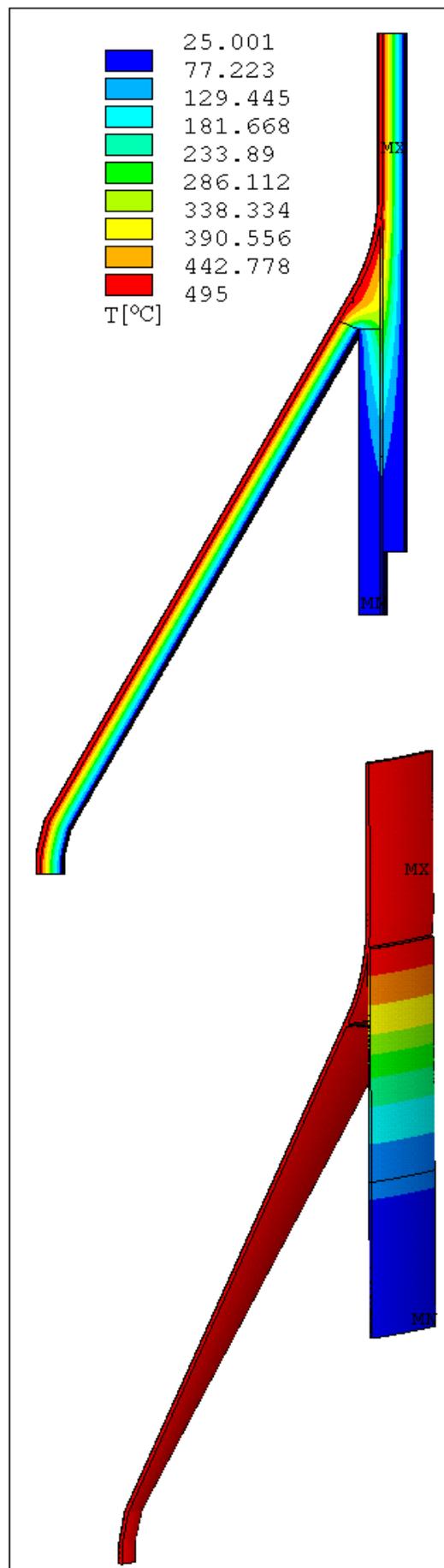


Рис. 2. Диаграмма температур

График распределения температуры вдоль образующей на внутренней поверхности опорной обечайки показан на рис. 3 (верхняя тонкая кривая соответствует опорной обечайке с приваренным дополнительным кольцом, нижняя утолщенная кривая – опорной обечайке без дополнительного кольца).

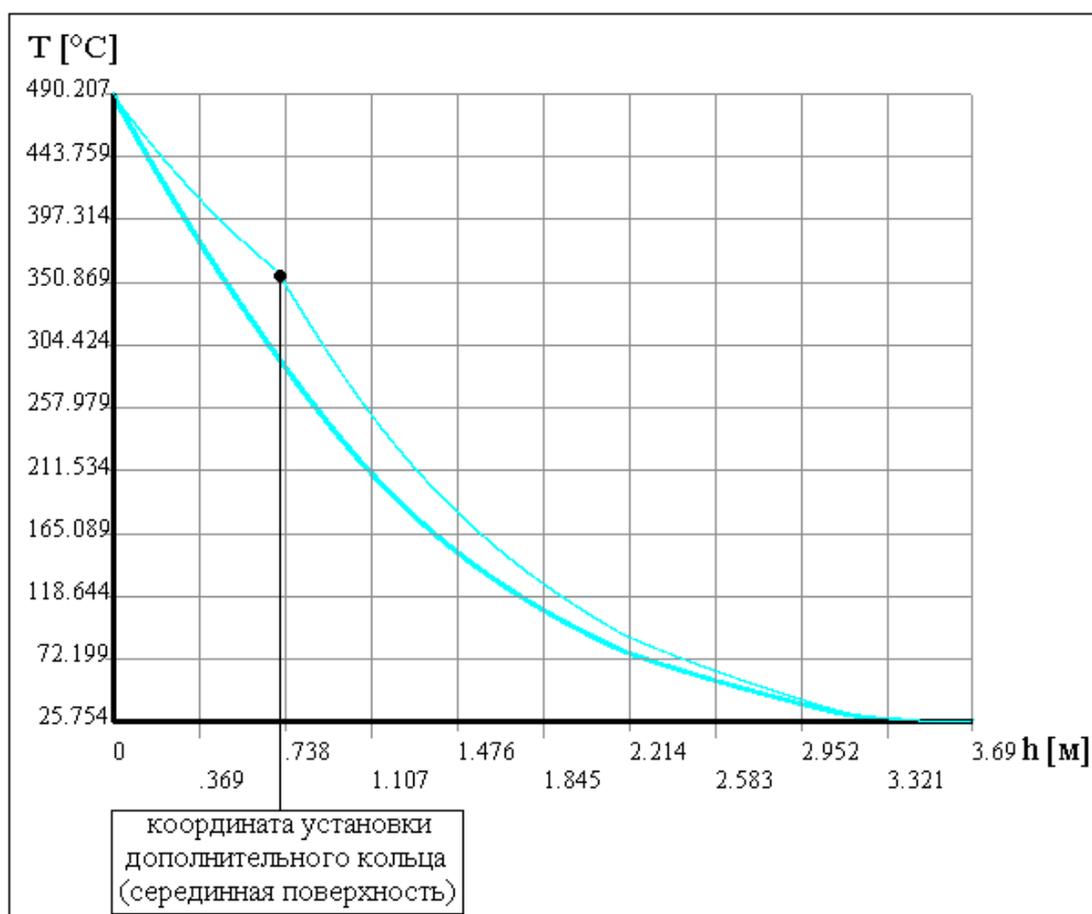


Рис. 3. График распределения температуры вдоль образующей на внутренней поверхности опорной обечайки

На основании графика распределения температуры вдоль образующей опорной обечайки можно сделать вывод о том, что установка дополнительного кольца способствует снижению градиента температур опорной обечайки и, соответственно, снижению уровня НДС.

При выполнении расчета на прочность давление принимается для цикла коксования.

На высоте от 0 до 23665 мм давление равномерно меняется от 8,51 кг/см² до 5,27 кг/см².

Температурное поле, полученной ранее, используется в качестве внешней нагрузки.

В расчете также учитываются следующие массовые нагрузки: масса корпуса – 270 т, изоляции – 25 т, среды – 1685,6 т.

Перечисленные массовые нагрузки моделировались давлением, приложенным к верхней кольцевой поверхности цилиндрической обечайки корпуса.

В качестве граничных условий используются условия циклической симметрии по поверхностям отсечения рассматриваемой части корпуса, а также запрещение осевых перемещений нижней кольцевой поверхности опорной обечайки.

На рис. 4 ÷ 6 приведены диаграммы эквивалентных напряжений (по Мизесу) для рассматриваемых частей конструкции.

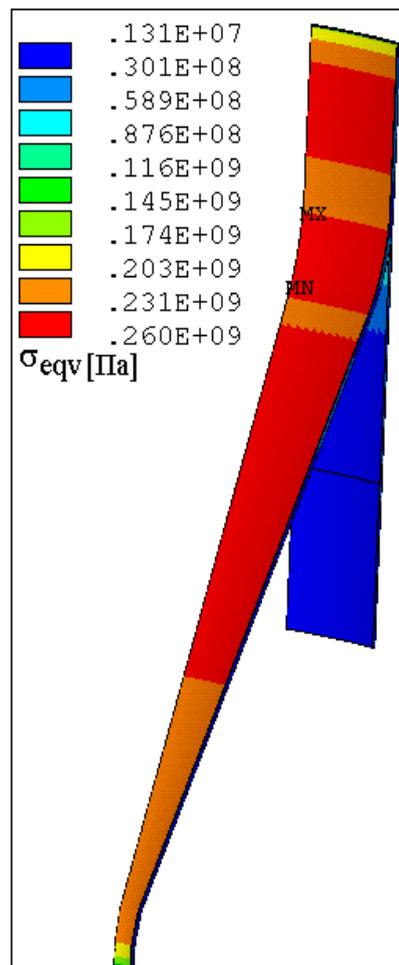


Рис. 4. Диаграмма эквивалентных напряжений опорного узла

На основании приведенных выше результатов можно сделать следующие выводы:

- максимальное значение эквивалентного напряжения для конического днища наблюдается в области сварного шва приварки опорной обечайки и достигает для плакирующего слоя 260 МПа (внутренняя поверхность днища) и для основного слоя 85,8 МПа (внешняя поверхность днища);

- максимальное значение эквивалентного напряжения для опорной обечайки также наблюдается в области сварного шва и достигает 148 МПа (внутренняя поверхность опорной обечайки).

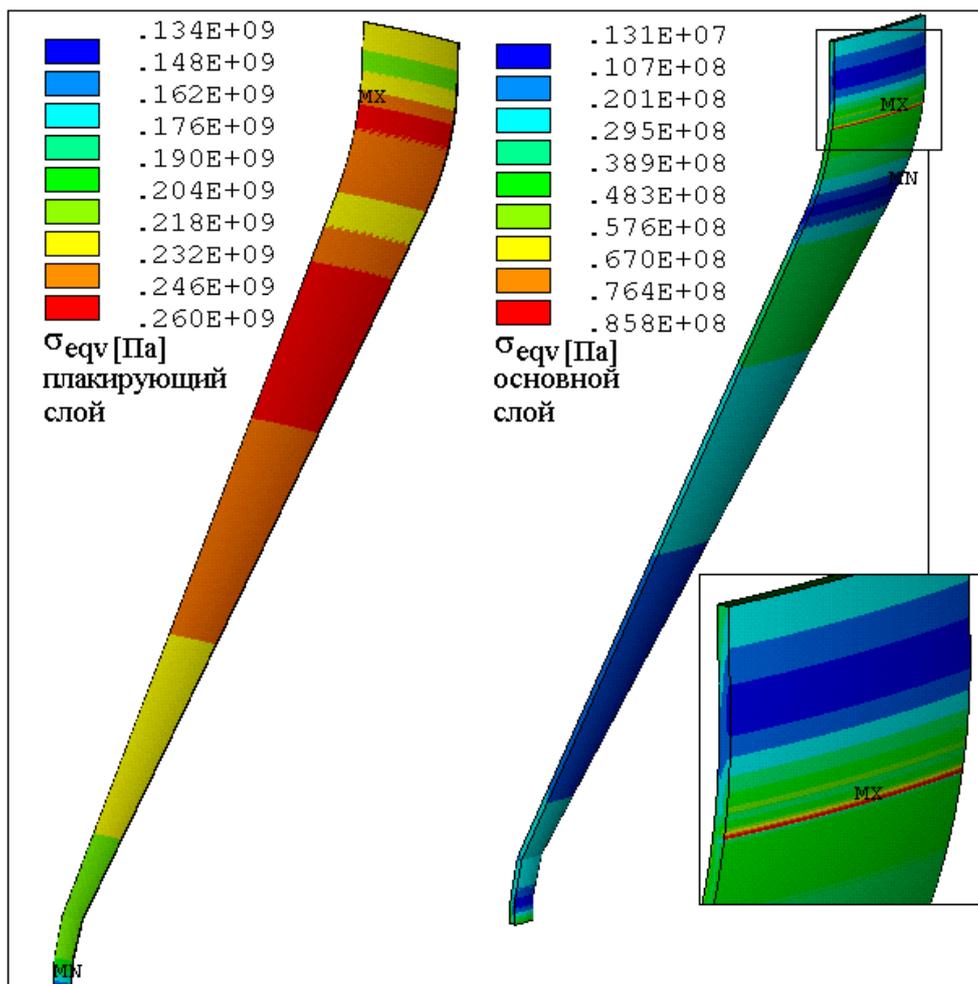


Рис. 5. Диаграмма эквивалентных напряжений конического днища

Результаты, приведенные на рис. 4 ÷ 6 соответствуют режиму коксования.

После окончания цикла коксования, перед резкой кокса, на рассматриваемую конструкцию действуют только массовые нагрузки.

Под действием массовых нагрузок:

- максимальное значение эквивалентного напряжения для конического днища наблюдается для основного слоя в области сварного шва приварки

опорной обечайки (внешняя поверхность днища) и составляет 49,5 МПа; для плакирующего слоя максимальное эквивалентное напряжение достигает 17,8 МПа;

- максимальное значение эквивалентного напряжения для опорной обечайки также наблюдается в области сварного шва и достигает 30,9 МПа (внутренняя поверхность опорной обечайки).

Для первого цикла нагружения – перехода от цикла коксования к подготовке выгрузки кокса – амплитуда напряжений составит:

- для конического днища $\sigma_a = K_\sigma \cdot \Delta\sigma_{eqv} / 2 = 1 \cdot (260 - 7,7) / 2 = 126,2$ МПа;

- для опорной обечайки $\sigma_a = K_\sigma \cdot \Delta\sigma_{eqv} / 2 = 1,2 \cdot (148 - 30,9) / 2 = 70,3$ МПа.

Здесь K_σ – эффективный коэффициент концентрации напряжений [1].

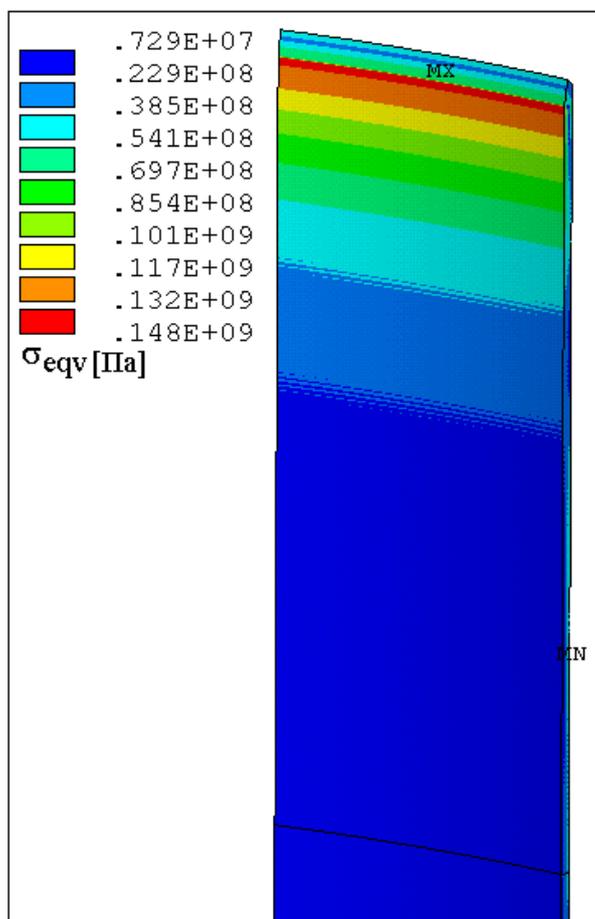


Рис. 6. Диаграмма эквивалентных напряжений опорной обечайки

Оценку напряженного состояния опорной обечайки производим по кривым длительной циклической прочности [2].

Амплитуде напряжения $\sigma_a = 70,3$ МПа [2] соответствует допускаемое число циклов нагружения $[N_1] = 7000$ циклов.

Для плакирующего слоя конического днища (сталь 08X13) определим допускаемое число циклов нагружения [1]:

$$[N] = \frac{1}{n_N} \cdot \left[\frac{A}{\overline{\sigma}_a - \frac{B}{n_\sigma}} \cdot C_t \right]^2 \quad \overline{\sigma}_a = \max \left\{ \sigma_a; \frac{B}{n_\sigma} \right\},$$

здесь: n_N – коэффициент запаса по числу циклов; $A = 0,6 \cdot 10^5$ – характеристика материала; $B = 0,4 \cdot R_{m/t}$ – характеристика материала, $R_{m/t}$ – временное сопротивление материала при расчетной температуре [3]; $C_t = (2300-t)/2300$ – поправочный коэффициент, учитывающий температуру; t – расчетная температура; n_σ – коэффициент запаса по напряжениям.

Допускаемое число циклов для плакирующего слоя конического днища составляет $[N_2] = 33540$ циклов.

Окончательно, для коксовой камеры принимается допускаемое число циклов нагружения $[N] = 7000$ циклов.

Выводы.

В результате выполненного анализа дана рекомендация по параметрам установки дополнительного кольца, приведена оценка циклической прочности опорного узла коксовой камеры.

Список литературы: 1. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках: ГОСТ Р 52857.6-2007. 2. ПНАЭ Г-7-002-86 / Госатом-энергонадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 3. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования: ГОСТ Р 52857.1-2007.

Поступила в редколлегию 25.03.10