

The outcomes of researches on production of concrete work& in the winter for want of erection of monolithic constructions in Republic of Belarus are represented. The methods of a warm-up of concrete are considered, are offered new methodical positions on automation account and is organizational-technological positions on account, designing and fulfillment of work& with a warm-up of concrete heating by electrical wires.

УДК 539.3

Хвусевич В.М.

РАСЧЕТ КОРПУСА ТОЛСТОСТЕННОГО СОСУДА ПРИ СТАЦИОНАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Введение. На практике конструктивные элементы зданий и сооружений различного назначения в зависимости от условий эксплуатации имеют сложную форму, подвергаются воздействию температуры и механических нагрузок.

Для обеспечения их прочности, жесткости и одновременного снижения материалоемкости требуется анализ напряженно-деформированного состояния (НДС). Задачи по определению НДС, вызванного одновременным воздействием механических нагрузок и температур являются одними из сложных прикладных задач.

К такого рода сооружениям относятся и корпуса энергетических установок (реакторов), которые представляют собой цилиндрические сосуды со сложной формой поперечного сечения.

Для исследования НДС подобных конструкций необходимо поставить и реализовать задачи механики деформируемого твердого тела и, в частности, краевые задачи теории упругости и термоупругости.

Аналитическое решение таких задач практически невозможно, поэтому в инженерных расчетах используются различные численные методы, основным из которых в последнее время стал метод конечных элементов (МКЭ) и на основе которого разработано много программных пакетов. Как показывает практика [1], при реализации МКЭ внешних краевых задач теории упругости, термоупругости, теории пластичности и др. полученные результаты не всегда являются точными. В то же время при реализации подобного класса задач преимущество перед МКЭ имеет метод граничных элементов теории потенциала, который оказался незаслуженно забыт в последнее время.

В этой связи целесообразно применить этот метод для исследования НДС толстостенного сосуда, имеющего утолщения и перепады кривизны стенок, который подвергается воздействию температуры.

Постановка задачи. Метод исследования. Корпус сосуда представляет собой полый толстостенный цилиндр со сложной внутренней геометрией. Внутри и на контуре заданы температура и давление. Ввиду большой длины корпуса и специфики нагружения исследование НДС можно свести к решению плоской краевой задачи квазистационарной термоупругости. Тогда ввиду физической и геометрической симметрии достаточно рассмотреть четвертую часть области сечения (рис. 1).

Для реализации краевой задачи термоупругости сначала решается краевая задача теплопроводности.

Температура представляется формулой Грина [2] в результате получаем интегральное уравнение плоской краевой задачи теплопроводности:

$$2\pi T(x) = \oint_L \left[\frac{dT(y)}{dn_y} \ln \frac{1}{r} + T(y) \frac{\cos \varphi}{r} \right] dl_y, \quad (1)$$

где X, Y – соответственно параметрическая и текущая точки при интегрировании, L – граница области, $\vec{r}(x, y) = |y - x|$, $n(y)$ – направляющие косинусы внешней нормали контура области, φ – угол между радиус вектором \vec{r} и внешней нормалью $n(y)$, T – температура.

Используя решение Гудьера, краевую задачу термоупругости можно свести к решению изотермической задачи теории упругости [2].

Хвусевич Виталий Михайлович, кандидат технических наук, зав. кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

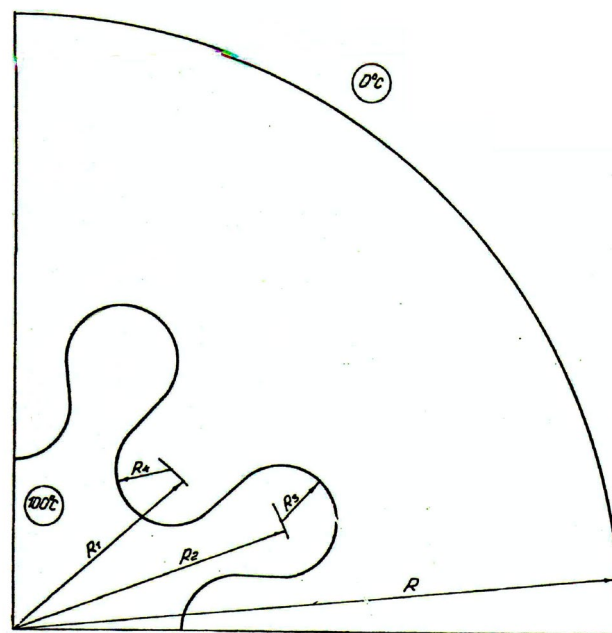


Рис. 1. Расчетная схема сосуда

$R=16,7$ м, $R_1=4,52$ м, $R_2=8,2$ м, $R_3=1,5$ м, $R_4=1,575$ м, $E=2,1 \times 10^5$ МПа, $\alpha=0,12 \times 10^{-4}$ 1/град, $\lambda=0,11$ ккал/см сек град, $\nu=0,27$

В результате решение задачи сводится к реализации системы сингулярных интегральных уравнений (СИУ).

$$\begin{aligned} v_i(x) + \frac{1}{2\pi(1-\nu)} \int_L \frac{1}{r} \langle v_i(y) [(1-2\nu) - 2\beta_i^2] \cos \psi + \\ + \{ [n_k(y)\beta_i - n_i(y)\beta_k] (1-2\nu) + \\ + 2\beta_i\beta_k \cos \psi \} v_k(y) \rangle dl_y = f_i(x_L) + f_i^T(x_L), \end{aligned} \quad (2)$$

где β_i, β_j – направляющие косинусы радиус-вектора $\vec{r}(x, y)$,

n_j – направляющие косинусы к внешней нормали контура области,

$\cos \psi = n_i(x) \cdot \beta_i$, ν – коэффициент Пуассона,

$f_i^T = \sigma_{ij}^T \cdot n_j$ – фиктивная температурная поверхностная нагрузка,

f_i – механическая нагрузка, $i, j = 1, 2$.

Напряжения определяем по формуле

$$\sigma_{ij}(x) = \sigma_{ij}^U(x) + \sigma_{ij}^T(x), \quad (3)$$

где σ_{ij}^U – напряжения, соответствующие задаче теории упругости;

σ_{ij}^T – интегральные формулы добавок температурных напряжений, т.е.

$$\sigma_{ij}^u(x) = \frac{1}{2\pi(1-\nu)} \int_L v_k(y) \left[(1-2\nu)(\delta_{ik}\beta_j + \delta_{jk}\beta_i - \delta_{ij}\beta_k) + 2\beta_i\beta_j\beta_k \right] \frac{dl_y}{r(x,y)} \quad (4)$$

для внутренних точек, где $i, j=1,2$.

Для точек границы области

$$\sigma_{ij}^u(x_L) = v_i(x_L)n_j(x_L) \left[1 + \frac{n_j^2(x_L)}{1-\nu} \right] + v_{ji}(x_L)n_j(x_L) \left[\frac{n_j^2(x_L)}{1-\nu} - 1 \right] + v.p.\sigma_{ij}(x_L), \quad (5)$$

$$\sigma_{12}^u(x_L) = v_1(x_L)n_2(x_L) \left[1 - \frac{n_1^2(x_L)}{1-\nu} \right] + v_{2i}(x_L)n_1(x_L) \left[1 - \frac{n_2^2(x_L)}{1-\nu} \right] + v.p.\sigma_{12}(x_L). \quad (6)$$

Здесь $i, j = 1, 2$, $i \neq j$; $v.p.$ – главное значение интеграла по Коши.

Температурные добавки напряжений во внутренних точках

$$\sigma_{ij}^T(x) = \frac{\alpha G(1+\nu)}{4\pi(1-\nu)} \oint_L \left\{ \frac{dT(y)}{dn(y)} \left[\delta_{ij}(1+2\ln r) - 2\beta_i\beta_j \right] + T(y) \frac{2}{r} (n_i(y)\beta_j + n_j(y)\beta_i - 2\beta_i\beta_j \cos \varphi - \delta_{ij} \cos \varphi) \right\} dl_y, \quad (7)$$

в граничных точках

$$\sigma_{ij}^T(x_L) = -\frac{E\alpha}{2(1-\nu)} n_i(x_L)n_j(x_L) \cdot T(x) + v.p.\sigma_{ij}^T(x), \quad (8)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала, G – модуль сдвига, E – модуль упругости, δ_{ij} – символ Кронекера.

При этом температура $T(y)$ и производная от температуры по нормали $\frac{dT(y)}{dn(y)}$ определяются в результате решения интегрального уравнения (1).

Для реализации интегральных уравнений (1-7) использовались квадратурные формулы Гаусса с четным числом узлов [3]. Плотность потенциала $v_i(x)$, а также функции $\frac{dT}{dn(y)}$ и $T(y)$ интерполировались квадратичным полиномом Лагранжа.

При реализации интегральных уравнений граница области разбивалась на 150 элементов и СИУ сводились к решению системы линейных алгебраических уравнений.

Разработаны алгоритм и программа реализации полученных СИУ на ПЭВМ. Решение тестовых задач показало высокую точность алгоритма [2].

Обсуждение результатов исследований. В результате численной реализации интегрального уравнения (1) получено распределение температуры в любой точке области (рис. 2).

Результаты решения (1) использованы при реализации интегральных уравнений (7), (8). Численные значения термонапряжений представлены на рисунках 3-5.

Значительный интерес при проектировании подобных сосудов представляет картина концентрации напряжений. Из элюор видно, что зоной концентрации напряжений являются перепады кривизны рассматриваемой области, где сжимающие напряжения достигают максимального значения (рис. 5).

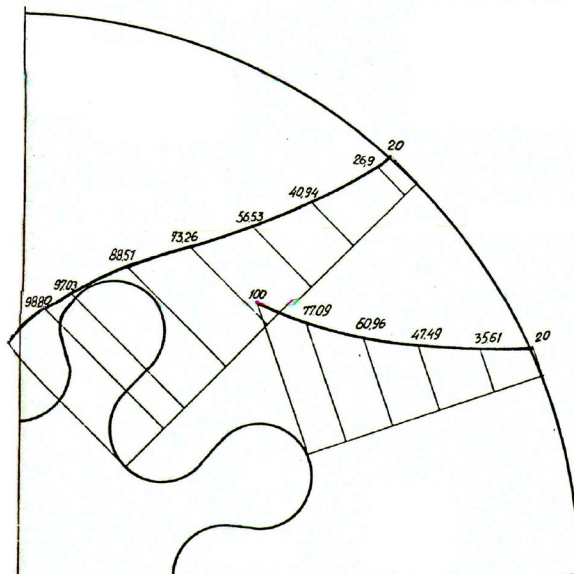
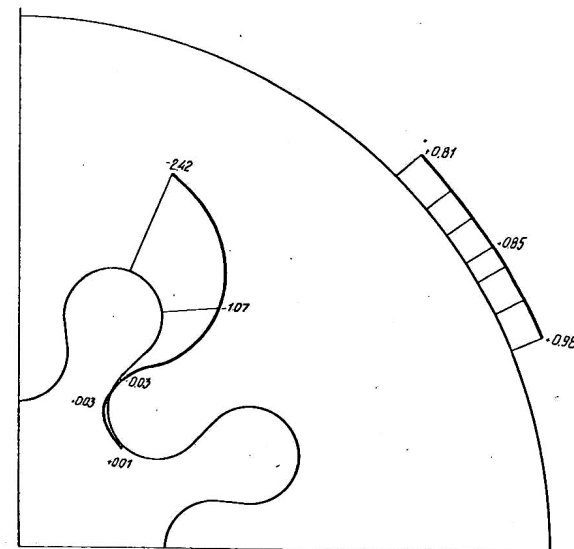
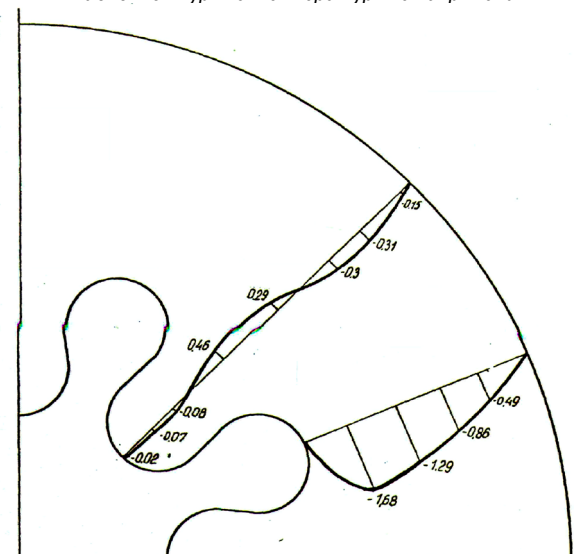


Рис. 2. Распределение температуры внутри области



1 см 0,461 ΔЕТ

Рис. 3. Контурные температурные напряжения



1 см 0,125 ΔЕТ

Рис. 4. Радиальные температурные напряжения

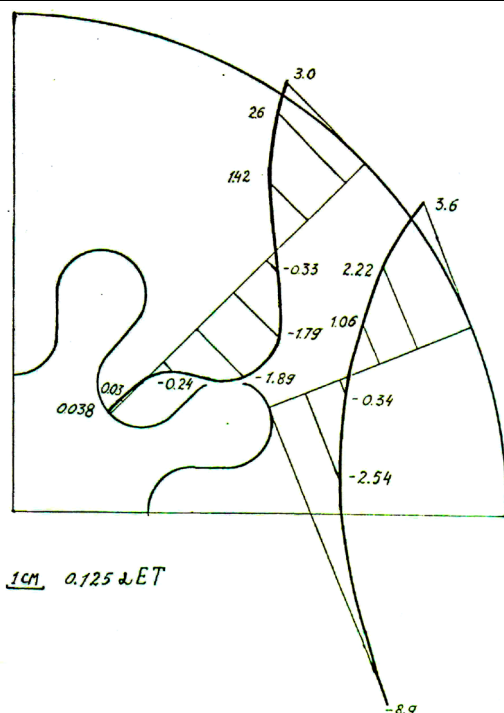


Рис. 5. Тангенциальные температурные напряжения

Равенство нулю радиальных напряжений на границе области подтверждает достоверность алгоритма (рис. 3). Тангенциальные термо-напряжения меняют знаки в сечениях, где максимальные и минималь-

ные толщины. Наибольшие растягивающие напряжения возникают в точках внешнего контура в сечении по меньшей толщине.

Напряжения на внешнем контуре не имеют ярко выраженных значений, а на границе внутреннего контура достигают экстремальных значений в зонах наименьшей толщины стенки (рис. 4).

Выводы. В результате исследований НДС толстостенного сосуда со сложной конфигурацией установлены зоны экстремальных напряжений, что позволяет оптимизировать геометрию сечения.

Использование метода интегральных уравнений теории потенциала позволяет рассматривать не всю область сечения, а только ее границу. Сложная геометрия границы не создает трудностей при ее аппроксимации граничными элементами, что не характерно для других численных методов.

Разработанная программа существенно облегчает реализацию задач на ПЭВМ по сравнению с существующими программными пакетами МКЭ и позволяет получить более точные результаты. В то же время как недостаток следует отметить более низкий уровень сервиса при представлении результатов расчетов.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бреббия К. и др. Методы граничных элементов. – М: Мир, 1987. – 524 с.
2. Гюнтер Н.М. Теория потенциала и ее применение к основным задачам математической физики - М.: Гос. издательство технико-теорет. литературы, 1953.- 414 с.
3. Хвисевич В.М. К решению плоской краевой задачи квазистационарной термоупругости для внешней и многосвязной областей на основе теории потенциала //Теоретическая и прикладная механика: Межведомственный сборник научно-методических статей /Под. ред. академиков П.А. Витязя, М.С. Высоцкого - Мн.: БНТУ, 2007.-Выпуск 21.-С.67-71.

Материал поступил в редакцию 08.02.08

CHVISEVICH V.M. Account of the case a thick wall of a vessel at stationary influence of temperature

The tension of a thick-walled vessel of composite frame geometry when exposed to steady temperature is examined. The method of boundary potential theory integral equation is used to solve the given flat boundary value thermoelectricity problem. Thus, the flat boundary value problem was converted to a problem of the isothermal elastic strength theory. The integral equations of temperature stresses are deduced. The method of mechanical quadratures is applied for numerical implementation of singular integral equations of a boundary value problem. The tension of the examined area has been determined.

УДК 69.059.7

Черноуван В.Н., Черноуван Н.В.

КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ СТЫКА ПЛИТНОГО УТЕПЛИТЕЛЯ, ВОСПРИНИМАЮЩЕГО ВЕТРОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМАХ ДОУТЕПЛЕНИЯ

Введение. Накопленный опыт эксплуатации систем утепления наружных стен зданий «вентилируемый фасад» позволил выявить наличие «мостиков холода» не только в местах установки металлических элементов крепления, но и на участках примыкания минераловатных плит друг к другу [2, 3].

Техническое состояние минераловатных плит фирм «ROCKWOOL» и «PAROC», эксплуатируемых в системе утепления наружных стен зданий «вентилируемый фасад» показало, что основной причиной появления «мостиков холода» в местах примыкания минераловатных плит друг к другу является смещение плитного утеплителя в процессе его эксплуатации и как следствие – появление воздухопроницаемых зазоров в стыках плитного утеплителя. Следовательно, для минераловатных плит, воспринимающих ветровые воздействия, решение стыка между плитами простым примыканием их друг к другу неприемлемо.

На сегодня разработаны и прошли апробацию на практике конструктивные решения двух видов стыков – *закрытый* и *открытый*, которые рекомендуется применять для бетонных защитно-декоративных панелей, используемых в качестве защитного экрана в системе утепления наружных стен зданий «вентилируемый фасад» [2, 3, 4].

Закрытый стык выполняется в виде нахлеста вышележащей панели на нижележащую с прокладкой швов пороиолом и промазыванием герметизирующими мастиками. Это позволяет обеспечить герметизацию стыка.

Однако во время эксплуатации зданий, облицованных панелями с закрытым стыком, наблюдаются грязные потеки на фасадах. Это происходит из-за того, что на закрытый стык осажается пыль, которая во время дождя смывается на наружную поверхность плит.

Из-за низких эксплуатационных характеристик герметиков закрытый стык требует проведения частых ремонтов швов. А это ведет

Черноуван Вячеслав Николаевич, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии строительного производства Брестского государственного технического университета.

Черноуван Николай Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.