

УДК 624.074.4

## **Методика определения краевых напряжений в оболочках дымовых труб**

**Губанов В.В., к.т.н., Голиков А.В., аспирант**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
Украина

**Анотація.** Виконаний аналіз і систематизація існуючих методів обліку крайового напруження при розрахунку оболонок димових труб. Запропонована інженерна методика розрахунку. Методика дозволяє, не вдаючись до трудомістких розрахунків, визначити приведені напруження в оболонці на ділянці, що випробовує вплив крайового ефекту.

**Аннотация.** Выполнен анализ и систематизация существующих методов учета краевых напряжений при расчете оболочек дымовых труб. Предложена инженерная методика расчета. Методика позволяет, не прибегая к трудоемким расчетам, определить приведенные напряжения в оболочке на участке, испытывающем влияние краевого эффекта.

**Abstract.** The analysis and systematisation are implemented on the existing edge stresses methods when calculating chimney shells. Engineering calculation method is suggested. The method allows to avoid laborious calculations and to determine reduced stresses in the shell section being influenced by the edge effect.

**Ключевые слова:** цилиндрические тонколистовые оболочки, моментное напряженно-деформированное состояние, краевые напряжения, методики расчета.

**Формулировка проблемы.** В нормативной [1, 4] и справочной литературе [2, 3] по расчету и конструированию дымовых труб и газоотводящих стволов указано на необходимость проверки прочности с учетом влияния краевого эффекта на НДС конструкций, однако методика расчета не представлена.

Методы решения краевых задач достаточно полно освещены в работах, посвященных исследованию НДС резервуаров и сосудов, работающих под давлением. Для данных задач имеются отдельные упрощенные инженерные методики расчета [2].

**Цель исследования.** Разработать инженерные методики учета напряжений от краевого эффекта при расчете дымовых труб и газоотводящих стволов.

Листовые конструкции оболочек дымовых труб и газоотводящих стволов на участках, подверженных влиянию краевого эффекта, находятся в моментном НДС.

Для определения в каждом конкретном случае напряжений от краевого эффекта необходимо выполнять расчет системы из 17 уравнений равновесия, что не всегда возможно.

Для облегчения расчета были разработаны упрощенные инженерные методики учета напряжений от краевого эффекта для наиболее характерных дымовых труб и газоотводящих столов участков – участок сопряжения конуса с цилиндром и участок сопряжения опорного ребра футеровки с цилиндром.

В общем виде методика определения приведенных напряжений на участке, подверженном влиянию краевого эффекта, представлена формулой

$$\sigma_{\text{пр}} = \sigma_{\text{м}} + \sigma_{\text{кр}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\text{м}}$  – меридиональные напряжения в оболочке;  $\sigma_{\text{кр}}$  – напряжения на исследуемом участке, вызванные влиянием краевого эффекта.

Меридиональные напряжения в оболочке определяются по известной формуле:

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W}. \quad (2)$$

Напряжения от влияния краевого эффекта в общем виде – это функция

$$\sigma_{\text{кр}} = \sum F_i(\gamma_f; q_y; S_y; \psi), \quad (3)$$

где  $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке;  $q_y$  – соответствующая нагрузка;  $S_y$  – геометрическая характеристика рассчитываемого сечения;  $\psi$  – коэффициент сочетания.

**Методы исследования.** Для определения значений влияющих факторов были выполнены численные экспериментальные исследования на моделях участков труб. Моделирование производилось при помощи 4-х узловых конечных элементов в программных комплексах SCAD Soft и Lira Soft.

Сетка сгущалась до размера 10 толщин при разнице в погрешности приближения менее 3 % [5].

*Участок сопряжения конуса с цилиндром.*

Напряжения от влияния краевого эффекта определяются по формуле

$$\sigma_{\text{кр}} = \sigma(d, \alpha) \cdot k_o \cdot k_p, \quad (4)$$

где  $\sigma(d, \alpha)$  – напряжение краевого эффекта, определяемое по номограмме (рис. 1) в зависимости от диаметра трубы и угла наклона образующей

конусной части к вертикали;  $k_0$  – коэффициент влияния толщины оболочки (см. таблицу);  $k_p$  – коэффициент значения нагрузки.

Коэффициент значения нагрузки определяется по формуле

$$k_p = \frac{N_{np}}{1000}, \quad (5)$$

где 
$$N_{np} = N_B + N_M, \quad (6)$$

$$N_M = \frac{M}{d}, \quad (7)$$

где  $N_{np}$  – приведенная сила на участке;  $N_B$  – вертикальная сила;  $N_M$  – сила, определяемая путем разложения момента;  $d$  – диаметр цилиндрической части.

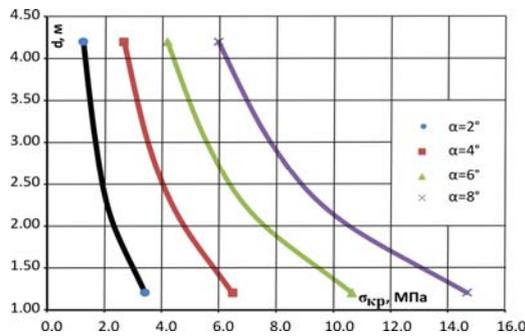


Рис. 1. Напряжения краевого эффекта для различных углов наклона образующей конусной части к вертикали

Таблица 1

Коэффициент влияния толщины оболочки					
$t_0$	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
$k_0$	4,43	1,94	1,00	0,60	0,36

*Участок сопряжения опорного ребра футеровки с цилиндром.*

Напряжения от влияния краевого эффекта определяются по формуле

$$\sigma_{np} = \sigma(d, h_f) \cdot k_0, \quad (8)$$

где  $\sigma(d, h_f)$  – напряжение краевого эффекта, определяемое по номограмме (рис. 2) в зависимости от диаметра трубы и шага опорных колец (высоты футеровки);  $k_0$  – коэффициент влияния толщины оболочки (см. таблицу).

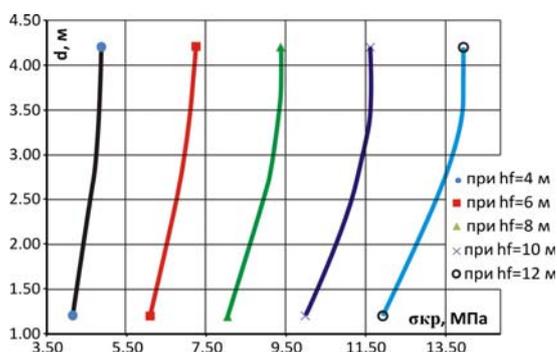


Рис. 2. Напруження краєвого ефекта от влияния опорных ребер футеровки

### Выводы

1. В результате проведенных численных исследований установлено, что напряжения от краевого эффекта составляют от 5 до 30 % приведенных напряжений.
2. Предложены инженерные методики учета напряжений от краевого эффекта при расчете дымовых труб, позволяющие без применения сложных расчетов определить приведенные напряжения на участках, наиболее подверженных влиянию краевого эффекта.
3. Полученные численным путем номограммы необходимо подтвердить натурным или лабораторным экспериментом.
4. На следующем этапе необходимо разработать методику расчета краевых напряжений на участках: сопряжения оболочки с газоходом; опорных участках труб и стволов.

### Литература

- [1] СНиП 2.09.03–85 Сооружения промышленных предприятий / Госстрой СССР – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 56 с.
- [2] Лессиг Е.Н., Лилеева А.Ф., Соколов А.Г. Листовые металлические конструкции. – М.: Изд-во лит. по строит., 1970. – 488 с.
- [3] Солодарь М.Б., Кузнецова М.В., Плишкин Ю.С. Металлические конструкции вытяжных башен. – Л.: Стройиздат, 1975. – 186 с.
- [4] СНиП П–23–81\* Стальные конструкции/ Госстрой СССР – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.
- [5] Губанов В.В., Голиков А.В. Уточнение методик расчета локальных напряжений в оболочках дымовых труб. Сборник "Будівельні металеві конструкції: сьогодні та перспективи розвитку". К.: "Сталь", 2006. – С. 118–121.

Надійшла до редколегії 17.03.2008 р.