

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Забродский С.С. Гидродинамика и теплообмен в псевдоожигеном слое. – М.-Л.: Госэнергиздат, 1963. – 428с.
2. Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем. – Л.: Химия, 1968. – 512с.
3. Бородуля В.А., Ганжа В.Л., Ковенский В.И. Гидродинамика и теплообмен в псевдоожигеном слое под давлением. – Минск: Наука и техника, 1982. – 206с.
4. Гальперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдоожигения. – М.: Химия, 1967. – 663с.
5. Расчеты аппаратов кипящего слоя: Справочник/Под. ред. И.П. Мухленова и др. – Л.: Химия, 1986. – 352с.

УДК 624.074.4

### РАСЧЕТ ОБОЛОЧКИ НА ДЕЙСТВИЕ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ НАГРУЗОК

*М.Е. Резуненко, к.техн. наук, доцент*

*Украинская государственная академия железнодорожного транспорта,  
г. Харьков).*

Развитие современных областей народного хозяйства требует разработки эффективных методов расчета напряженно- деформируемого состояния оболочечных конструкций. Численные методы, получившие широкое распространение в последнее время оказываются малоэффективными при расчете оболочек на действие сосредоточенных нагрузок. Поэтому аналитические методы решения продолжают играть важную роль при решении вышеназванных задач.

**Постановка задачи.** Рассматривается конструкция, состоящая из оболочки неположительной гауссовой кривизны ( $\lambda$ ) и опоры в виде полуплоскости с выемкой и наличием упругим слоем между ними.

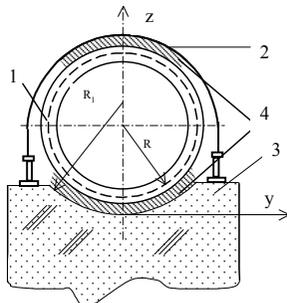


Рисунок 1. Контакт оболочки и опоры при наличии упругого слоя между ними.  
1-оболочка; 2-стягивающий хомут; 3-фундамент; 4- упругий слой.

Взаимодействие происходит при помощи нормальных контактных усилий, касательными усилиями и трением пренебрегаем, контактное давление направлено по нормали к срединной поверхности оболочки. Фундамент расположен в плоскости  $ZOY$  симметрично относительно оси  $OZ$ , уравнение его контура имеет вид  $z_1 = z_1(y)$ .

**Цель работы.** Необходимо найти плотность контактных усилий  $p(y)$  и длину зоны контакта  $2l$  в зависимости от силы, прижимающей оболочку к опоре.

В работе [1] представлен метод решения задачи в аналогичной постановке, но без прокладки между оболочкой и фундаментом. Если между оболочкой и опорой проложен упругий слой, то условие совместности по линии контакта имеет вид

$$w(0, y) + w_1(y) + w_2(y) = \delta - \beta y^2, \quad (1)$$

где  $w(0, y)$ ,  $w_1(y)$ ,  $w_2(y)$  – перемещение срединной поверхности оболочки, контура опоры и упругого слоя,

$\delta$  - неизвестная константа, характеризующая сближение контактируемых тел:

$$\beta = \frac{1}{2R} - \frac{1}{2R_1}.$$

Предполагая зону контакта малой, можно в качестве прогиба опоры использовать решение для полуплоскости [2]:

$$w_1(y) = -\frac{2(1-\nu^2)}{\pi E_1 h_1} \left\{ \int_{-l}^l p(\xi) \ln|y-\xi| d\xi + P \left[ \frac{1}{2(1-\nu^2)} - \ln R_1 \right] \right\},$$

а в качестве прогиба срединной поверхности полой оболочки – асимптотическую формулу, полученную в [3]:

$$w(0, y) = \frac{(by)^2 P}{16\pi b^2 D} \left\{ 2 \ln \frac{|by\sqrt{1-\lambda}|}{2} + 2C + \frac{1+\lambda}{1-\lambda} - 2 \right\} + \frac{1}{4\pi b^2 D} I,$$

где  $E$ ,  $\nu$ ,  $h$ ,  $E_1$ ,  $\nu_1$ ,  $h_1$  – физические постоянные и толщина оболочки и штампа соответственно;

$p(\xi)$  – контактное давление;

$C$  постоянная Эйлера  $C \approx 0.5772$ ,

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}, \quad b^2 = \frac{\sqrt{12(1-\nu^2)}}{h R_2}, \quad I = \int_0^{\pi/2} \frac{d\varphi}{|\cos^2 \varphi + \lambda \sin^2 \varphi|}.$$

Тогда, учитывая условие равновесия опоры под действием внешней

силы  $\int_{-l}^l p(t)dt = P$ , перепишем уравнение (1) в виде

$$\int_{-l}^l p(t) \left[ \frac{b^2}{16D} (y-t)^2 \left\{ C_1 + 2 \ln|y-t| \right\} - \frac{L}{\pi} \ln|y-t| + \frac{1}{k} \right] dt - M = \delta - \beta y^2,$$

где  $k = \frac{E_3(1-\nu)h_3}{(1+\nu)(1-2\nu)}$ ;

$E_3, \nu, h_3$ - физические постоянные и толщина упругого слоя.

Метод решения этой задачи приведен в [1]. Опуская подробности, приведем результаты вычислений.

Тогда зависимость между контактным давлением и длиной зоной контакта определяется следующим выражением

$$p(y) = -\beta \frac{\sqrt{l^2 - y^2}}{L} \left[ 2 - \frac{\pi l^2}{4DL} \left( \frac{1+\lambda}{2(1-\lambda)} + C + \ln \frac{bl\sqrt{1-\lambda}}{4} - \frac{1}{3} + \frac{1}{k} + \frac{1}{3} \left( \frac{y}{l} \right)^2 \right) \right].$$

Величина внешней силы  $P$ , прижимающей оболочку к штампу при наличии упругого слоя между ними выражается следующим образом

$$P = - \int_{-l}^l \beta \frac{\sqrt{l^2 - \xi^2}}{L} \left[ 2 - \frac{\pi l^2}{4DL} \left( \frac{1+\lambda}{2(1-\lambda)} + C + \ln \frac{bl\sqrt{1-\lambda}}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{k} + \frac{1}{3} \left( \frac{\xi}{l} \right)^2 \right) \right] d\xi = -\beta \frac{l^2 \pi}{L} \left[ 1 - \frac{\pi l^2}{32DL} \left( 4C + 4 \ln \frac{bl\sqrt{1-\lambda}}{4} + 2 \frac{1+\lambda}{1-\lambda} + \frac{1}{k} + 1 \right) \right].$$

Для оболочек с параметрами  $\nu=0,3, R=100h$  на рисунках 2-3 представлены кривые, показывающие зависимость контактного давления

$$p_0 \left( \frac{y}{l} \right) = \frac{p(y)}{b^2 D R \theta} \cdot 10^3 \text{ при } l = h \text{ и } \theta = \frac{Eh}{Eh_1}, \text{ соответствующие результатам}$$

вычислений при различных значениях гауссовой кривизны  $\lambda$ , толщины резинового слоя  $h_3$  и различных значениях модуля упругости резины  $E_3$  (кривые 1-3 соответствуют  $\gamma = 0,25; 0,5; 0,75$ ). Непрерывными линиями показана зависимость контактного давления при наличии упругого слоя между контактирующими телами, а пунктирными – при отсутствии прокладки.

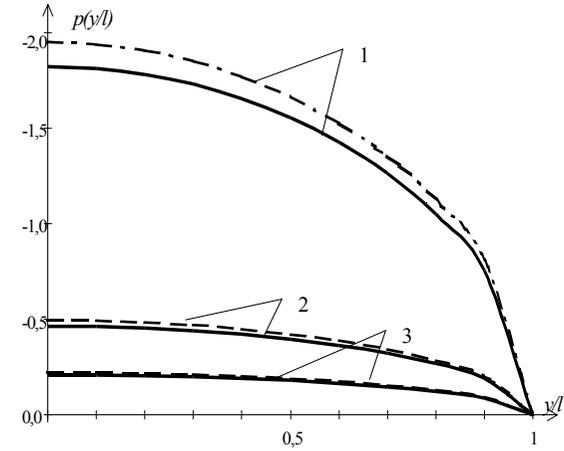


Рис.2 Величина контактной нагрузки при  $\lambda=0$ ,  $h_3=0.2$ ,  $E_3=10$ .

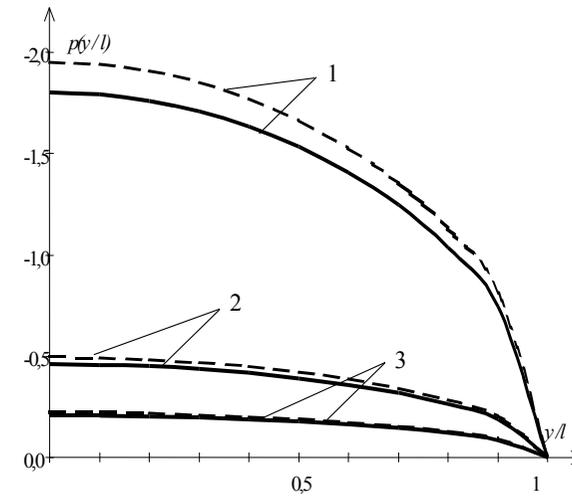


Рис.3 Величина контактной нагрузки при  $\lambda=-1$ ,  $h_3=0.3$ ,  $E_3=10$ .

**Выводы.** Анализируя результаты вычислений, можно отметить, что существенное значение играет линия главной кривизны, вдоль которой происходит взаимодействие оболочки и опоры: вдоль линии наименьшей кривизны, например образующей цилиндра, контактное давление на единицу длины больше по сравнению с контактом тел вдоль линии наибольшей

кривизны. При наличии упругого слоя между взаимодействующими телами контактное давление на опору уменьшается.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Резуненко М.Е., Довбня А.В., Коновалова Т.В. Контакт упругой полуплоскости с выточкой и пологой оболочки неположительной гауссовой кривизны//Системаи обробки інформації. - Х.:ХВУ.-2004.- вип. 10 (38).- С. 186-189.
2. Рекач В.Г. Руководство к решению задач по теории упругости.- М., Высшая школа, 1977 с.
3. Нерубайло Б.В., Ольшанский В.П., Резуненко М.Е. Об одной форме фундаментального решения оболочек отрицательной гауссовой кривизны// Известия АН. Механика твердого тела. - М., 1997. - № 4.- С. 144 - 149.

УДК 624. 012. 41

#### НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНА

*С.И. Роговой, Р.И. Пахомов, Д.В. Круглый*  
*Полтавский национальный технический университет*  
*им. Юрия Кондратюка, г. Полтава*

В связи с усовершенствованием и внедрением деформационной модели оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) возникает необходимость в критическом просмотре некоторых распространенных, но требующих уточнения, расчетных положений, а также решении ряда вопросов, реализация которых предполагает использование новых направлений исследований свойств бетонов. Одной из основных проблем в этом плане есть известные сложности получения в экспериментах стабильных параметров полных диаграмм деформирования бетона [1].

Достоверно установлено [2], что бетон образцов при испытании с возрастающей нагрузкой достигает максимальных напряжений (границы прочности) при некоторых деформациях  $\varepsilon_{bR}$ , после чего при уменьшении нагрузки такие деформации могут возрасти и проявляется нисходящий участок кривой зависимости  $\sigma_b - \varepsilon_b$ . Однако такой участок не обнаруживается, если нагрузка при достижении границы прочности не падает, или снижается слишком медленно. Таким образом было выявлено существование полной диаграммы деформирования бетона  $\sigma_b - \varepsilon_b$ , которая состоит из восходящей и нисходящей ветви, а также установлено, что форма такой диаграммы зависит от интенсивности деформирования.

Отмеченные закономерности деформирования объясняют ряд явлений, которые имеют место при испытании бетона и железобетонных конструкций. Исследование и математическое моделирование этих явлений дает