

ISSN 2311-7257

№1(79) 2015

# НАУКОВИЙ ВІСНИК БУДІВНИЦТВА



ОБЛАСТНА ЗАМОВНИКОВА ПРАЦІВ

Зареєстровано 22.04.97 р. серія ХК № 457 Головним комітетом інформації Харківської обласної державної адміністрації, перереєстровано 23.11.2010 р. серія КВ №17253-6023 ПР Міністерством юстиції України та Постановою Президії ВАК України №1-05/8 від 22.12.2010 р.

**Редакційна колегія:**

д.т.н. Д.Ф. Гончаренко (головний редактор),  
д.т.н. Я. Малолепши (Польща),  
д.т.н. М. Гашич (Сербія),  
д.т.н. В.І. Кондращенко (Росія),  
к.т.н. Х.-Б. Фішер (Німеччина),  
д.т.н. М.С. Болотських,  
д.т.н. В.В. Фурсов,  
д.т.н. В.С. Шмуклер,  
д.т.н. О.Ф. Редько,  
д.т.н. С.М. Епоян,  
д.т.н. О.І. Вайнберг,  
д.т.н. І.А. Смельянова,  
д.т.н. М.В. Новожилова,  
д.т.н. В.І. Вінніченко,  
д-р арх-ри О.О. Фоменко,  
д-р арх-ри В.І. Кравець,  
д-р арх-ри В.П. Мироненко,  
д-р арх-ри К.Т. Черкасова,  
д.т.н. В.П. Сопов (відповідальний редактор),  
Т.І. Ейдумова (відповідальний секретар),  
О.В. Буряківська (секретар)

Адреса редакційної колегії:  
61002, Харків-2, Сумська, 40,  
ХНУБА, тел. 7000-651  
E-mail: statya\_visnyik@ukr.net

©Харківський національний університет будівництва та архітектури, 2015

©Харківське обласне територіальне відділення Академії будівництва України, 2015

**Анотація**

Вісник включає статті вчених України, в яких висвітлюються результати фундаментальних та прикладних досліджень з пріоритетних напрямків: охорона навколишнього середовища, ресурсозберігаючі технології в будівництві та будівельної індустрії, нові будівельні матеріали та конструкції, підвищення ефективності капітальних вкладень, підвищення рівня механізації та автоматизації виробничих процесів.

Для наукових працівників і спеціалістів у галузі будівництва.

**Аннотация**

Вестник включает в себя статьи ученых Украины, в которых освещаются результаты фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным направлениям: охрана окружающей среды, ресурсосберегающие технологии в строительстве и строительной индустрии, новые строительные материалы и конструкции, повышение эффективности капитальных вложений, повышение уровня автоматизации и механизации производственных процессов.

Для научных работников и специалистов в области строительства.

**Abstract**

Bulletin includes articles by scientists of Ukrainian which highlights the results of fundamental and applied research in priority areas: environmental protection, resource saving technologies in the construction and building industry, new building materials and construction, increasing the efficiency of capital investments, increase the level of automation and mechanization of production processes.

For scientists and professionals in the field of construction.

Мова видання: українська, російська, англійська.

Затверджено до друку згідно протоколу засідання Вченої ради ХНУБА №6 від 06.02.2015 р.

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за достовірність наведених відомостей, точність даних по цитованій літературі й за використання в статтях даних, що не підлягають відкритій публікації.

## БУДІВНИЦТВО

4. Овчарова, О. В. Інтенсифікація гравітаційного осадження та ущільнення залізовмісних шламів в електричному полі / О. В. Овчарова, В. І. Сокольник, О. А. Атаманюк // Комунальне господарство міст. – 2013. – № 107. – С. 291–295.
5. Винокурова, Т. Е. Опытное обезвоживание осадков станции аэрации при помощи электроосмоса / Т. Е. Винокурова // Труды аспирантов НГАСУ. – Н. Новгород, 1998. – Сб. 4. – С. 3-7.
6. Разгонова, О.В. Ущільнення та зневоднення червоного шламу під дією електричного поля / О. В. Разгонова, В. І. Сокольник // Восточно-европейський журнал передових технологій. – 2014. – № 72. С. 4-7.
7. Линник, Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений / Ю.В. Линник. – М.: Физматлит, 1958, 336 с.
8. Налимов В.Н. Логические основания планирования эксперимента: учебник Е.А. Шалыгина -2-е изд. – М.: Колос, 2001.
9. Планирование эксперимента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: [http://opds.sut.ru/electronic\\_manuals/pe/f053.htm](http://opds.sut.ru/electronic_manuals/pe/f053.htm)

УДК 620.17

Фідровська Н.М., Слепужніков Є.Д., Чернищенко О.В.

Українська інженерно-педагогічна академія

### МІЦНІСТЬ ТРЬОХШАРОВОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ

**Вступ.** У різних галузях техніки, таких як авіабудування, судобудування будівництво та інші знаходять застосування багатошарові конструкції, в основному трьохшарові пластини та оболонки. Трьохшарова конструкція складається з двох міцних зовнішніх шарів, які з'єднані за допомогою заповнювача. Заповнювачем являється матеріал, який має меншу міцність, ніж зовнішні шари, але забезпечує пружні властивості оболонці або пластинці. Розвиток хімічної промисловості дозволяє в якості матеріалів зовнішніх шарів і заповнювача використовувати склопластики і епоксидні смоли. Трьохшарові оболонки мають ті якості, які відсутні у суцільних металевих конструкціях. Вони мають високу жорсткість і можуть витримувати більші питомі навантаження.

**Огляд рішень, які мають місце.** Трьохшаровими оболонками займалися багато відомих вчених, таких як С.А. Амбарцумян [1], К.З. Галімов [2], Е.І. Григोलюк [3], П.М. Огібалов [4], С.Н. Кан [5], І. Солвей [6], Л. Донелл [7]. При будівництві рівнянь для зовнішніх шарів використовують гіпотези Кірхгофа-Лява, для середнього шару – заповнювача – гіпотеза про нестиснення матеріалу в напрямку осі z. В

залежності від характеристики заповнювача трьохшарові оболонки можуть бути з легким і жорстким заповнювачем. Для легкого заповнювача відношення модуля пружності зовнішнього шару до модуля пружності заповнювача складає  $10^2 - 10^4$ . Зовнішні шари беруть на себе все навантаження на стиск-розтягнення. Заповнювач працює на передачу нормального тиску на зовнішні шари і поперечних зусиль зсуву. В залежності від модулю пружності заповнювача у поперечному напрямку в трьохшарових конструкціях можуть виникати і поперечні деформації.

**Виклад основного матеріалу.** Якщо оболонка має декілька шарів, то при її розрахунку треба обов'язково враховувати енергію зсуву заповнювача.

Сумарні моменти згину будемо розглядати у вигляді

$$m_{\phi} = m_{\phi_0} + m_{\phi_{\text{дод}}} = \xi(x) \beta(\phi), \quad (1)$$

Де задані

$$m_{\phi_0} = \xi_0(x) \beta(\phi),$$

$\xi(x)$  - статично невизначена функція, яка змінна вповдовж оболонки.

В цьому випадку змінюється залежність (при  $\mu = 0$ )

$$m_\phi = -\frac{D_t}{R^2} \left( \frac{\partial^2 w_n}{\partial \phi^2} + w_n \right) \quad (2),$$

де  $w_n$  - загальні значення радіальних переміщень

$$w_n = w_0 + w_{dod} = \xi(x) \beta(\phi)$$

Це пояснюється тим, що у випадку трьохшарової оболонки кривизна оболонки  $\chi_\phi$  проходить не тільки за рахунок дії моментів згину  $m_\phi$ , але і внаслідок впливу поперечних сил  $Q_\phi$ , які викликають дотичні напруження заповнювача

$$\tau = \frac{Q_\phi}{F},$$

Де  $F=h$  - товщина заповнювача.

Рівняння змінення кривизни окремого кільця представимо у вигляді

$$\frac{1}{R^2} \left( \frac{\partial^2 w_n}{\partial \phi^2} + w_n \right) = - \left( \frac{m_\phi}{D_t} + \frac{P_0}{G_{zap} F} \right). \quad (3)$$

$$\frac{1}{R^2} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial \phi^2} + w \right) = \xi(x) \left[ \frac{1,5 \cos \phi + (\pi - \phi) \sin \phi}{G_{zap} R^2 F} - \frac{1 + 0,5 \cos \phi - (\pi - \phi) \sin \phi}{D_t} \right], \quad (6)$$

Після вирішення рівняння (6) отримаємо вираз для радіальних переміщень

$$w_n = R^2 \xi(x) \left\{ \frac{1}{D_t} \left[ \phi(0,5\pi \cos \phi - 0,75 \sin \phi + 0,25\phi \cos \phi) - 1 \right] + \frac{1}{G_{zap} R^2 F} \left[ \phi(0,25\phi \cos \phi + 0,25 \sin \phi - 0,5\pi \cos \phi) \right] \right\} \quad (7)$$

На основі гіпотези про відсутність розтягнення кілець відносних деформацій в окружному напрямку дає змогу знайти переміщення  $v_n$  по дотичній до дуги  $S$

$$\varepsilon_\phi = \frac{w_n}{R} + \frac{1}{R} \frac{\partial v_n}{\partial \phi} = 0$$

Де  $P_0 = -\frac{1}{R} \frac{\partial Q_\phi}{\partial \phi}$  - інтенсивність радіального навантаження,  $\frac{P_0}{G_{zap} F}$  - зміна кривизни кільця в наслідок зсуву заповнювача.

Розглянемо випадок коли навантаження на оболонку розподілене вдовж однієї твірної при  $\phi = 0$ . В площині симетрії при  $x=0$  нормальні напруження визначаються за формулою

$$\sigma_{x_0} = \frac{M_z}{J_z} y = \frac{pL^2}{8\pi R^3 \delta} R \cos \phi = 0,04 \frac{p}{\delta} \left( \frac{L}{R} \right)^2 \cos \phi \quad (4)$$

Момент згину в довільному перетині кільця одиничної ширини від дії навантаження  $p$  і дотичних сил

$$m_\phi = \frac{pR}{2\pi} \left[ 1 + 0,5 \cos \phi - (\pi - \phi) \sin \phi \right]. \quad (5)$$

З урахуванням залежності (5) рівняння (3) приймає вигляд

$$v_n = -R^2 \xi(x) \left\{ \frac{1}{D_t} \left[ \sin \phi (0,25\phi^3 + 0,5\pi\phi^2 - 0,5\phi - 2) + \phi \cos \phi (1,25\phi + 0,5\pi) - \phi \right] + \frac{1}{G_{zap} R^2 F} \left[ \phi^2 \cos \phi + 0,25 \sin \phi (\phi^3 - 2\pi\phi^2 + \phi - 2) \right] \right\}. \quad (8)$$

Гіпотеза відсутності зсуву серединної поверхні дає можливість знайти зв'язок між переміщеннями  $u_n$  по осі  $x$  і переміщеннями  $v_n$  по дотичній до дуги  $S$

$$\frac{\partial u_n}{R \partial \phi} + \frac{\partial v_n}{\partial x} = 0$$

$$u_n = R^3 \frac{\partial \xi}{\partial x} \left\{ \frac{1}{G_{zap} R^2 F} \left[ \sin \phi (\phi^3 - 2,82\phi - 1) + 0,25 \cos \phi (\phi^4 - 11\phi^2 - 2\pi\phi + 2) \right] - \right. \\ \left. - \frac{1}{D_t} \left[ 0,5\phi^2 + \sin \phi (2\phi^3 + 0,5\pi\phi^2 - 0,68\phi + 1) - \right. \right. \\ \left. \left. - \cos \phi (0,25\phi^4 + 1,32\phi^2 - 0,5\pi\phi - 0,5) \right] \right\} \quad (9)$$

Змінення кривизни середньої поверхні в напрямку твірної

$$\chi_x = -\frac{\partial^2 w_n}{\partial x^2},$$

$$\chi_x = -R \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \left\{ \frac{1}{D_t} \left[ \phi \cos \phi (0,5\pi + \phi) - 0,75\phi \sin \phi - 1 \right] + \right. \\ \left. + \frac{0,25}{G_{zap} R^2 F} \left[ \phi \cos \phi (2\pi + \phi) + \phi \sin \phi \right] \right\}$$

Змінення кривизни середньої поверхні в окружному напрямку

$$\chi_\phi = -\frac{1}{R^2} \left( \frac{\partial^2 w_n}{\partial \phi^2} + w_n \right),$$

$$\chi_\phi = -\xi(x) \left\{ \frac{1}{G_{zap} R^2 F} \left[ \cos \phi + \sin \phi (\pi - \phi) \right] - \right. \\ \left. - \frac{1}{D_t} \left[ \cos \phi + \sin \phi (\pi + \phi) + 1 \right] \right\}.$$

Додаткові нормальні напруження

$$\sigma_{xdod} = E \frac{\partial u_n}{\partial x} = ER^3 \frac{\partial \xi^3}{\partial x^3} \left\{ \frac{1}{G_{zap} R^2 F} \left[ \sin \phi (\phi^3 - 2,82\phi - 1) + \right. \right. \\ \left. \left. + 0,25 \cos \phi (\phi^4 - 11\phi^2 - 2\pi\phi + 2) \right] - \frac{1}{D_t} \left[ \sin \phi (2\phi^3 + 0,5\pi\phi^2 - 0,68\phi + 1) + \right. \right. \\ \left. \left. + 0,5\phi^2 - \cos \phi (0,25\phi^4 + 1,32\phi^2 - 0,5\pi\phi - 0,5) \right] \right\}$$

Складаємо вираз для потенціальної енергії

$$\Gamma = \int \left[ \frac{1}{2} m_\phi \chi_\phi + \frac{\delta_{n.sp}}{2} \sigma_{xdod} \varepsilon_x - m_{\phi 0} \chi_\phi \right] R d\phi \quad (10)$$

Підставляємо відповідні вирази і отримаємо

$$\Gamma = E \left( \frac{\partial^2 \xi(x)}{\partial x^2} \right)^2 \left[ \frac{33266,89}{G_{zap}^2 R^4 F^2} - \frac{58923}{D_t^2} \right] - \\ - \frac{\xi^2(x)}{R} \left( \frac{33,43}{D_t} - \frac{2,28}{G_{zap} R^2 F} \right) - \\ - \frac{p}{2\pi R} \left( \frac{103,2}{D_t} - \frac{39,71}{G_{zap} R^2 F} \right).$$

Рівняння Ейлера варіаційної задачі

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial \xi(x)} - \frac{d}{dx} \left( \frac{\partial \Gamma}{\partial \xi'(x)} \right) + \frac{d^2}{dx^2} \left( \frac{\partial \Gamma}{\partial \xi''(x)} \right) = 0$$

$$\xi(x) = e^{-k_n x} (C_1 \sin k_n x + C_2 \cos k_n x) + e^{k_n x} (C_3 \sin k_n x + C_4 \cos k_n x) + \xi_{hast} \quad (12)$$

Це приведе до лінійного неоднорідного диференційного рівняння четвертого ступеню відносно функції  $\xi(x)$

$$\frac{\partial^4 \xi(x)}{\partial x^4} + 4k_n^4 \xi(x) = kp(x) \quad (11)$$

$$\text{Де } k_n = \frac{\left( \frac{2,28}{G_{zap} R^2 F} - \frac{33,44}{D_t} \right)}{RE \left( \frac{33266,89}{G_{zap}^2 R^4 F^2} - \frac{58923}{D_t^2} \right)}$$

$$k = \frac{\left( \frac{103,2}{D_t} - \frac{39,71}{G_{zap} R^2 F} \right)}{2\pi R^2 E \left( \frac{33266,89}{G_{zap}^2 R^4 F^2} - \frac{58923}{D_t^2} \right)}$$

Рішенням рівняння (11) буде вираз

**Виводи.** Отримане рішення задачі міцності трьохшарової циліндричної конструкції дозволяє визначити напруження в оболонці в залежності не тільки геометричних її параметрів, але і модулю зсуву запроектування і експлуатацію таких конструкцій.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Амбарцумян С.А. «Теория анизотропных пластин.» М., Физматгиз, 1967.
2. Галимов К.З., Суркін Р.Г. О работах казанских ученых по теориям пластин и оболочек. В сб. « Исследования по теории пластин и оболочек» №5. Из-во Казанс. Ун-та, 1967.

3. Григолюк Э.И. «Уравнения трехслойной оболочки с легким наполнителем». Из-во АН СССР, ОТН. 1957, №1.
4. Огибалов П.М. «Оболочки и пластины» / П.М. Огибалов, М.А. Колтунов. М.: МГУ, 1969. – 696с.
5. Solvey I. «Bibliography and summaries of sandwich construction» (1939-1954)/ Aeronaut/ Res. Lab., Melbourne, Austral, AR/ SM 2, 1953.
6. Кан С.Н. «Строительная механика оболочек» / С.Н.Кан.-М.: «Машиностроение», 1966.-508с.
7. Донелл Л.Г. «Балки, пластины и оболочки»/ Л.Г. Донелл.-М.: Наука, 1982.-568с.

УДК 621.926.5

**Иванов А.Н., Шовкун М.М.**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ ШАРОВ В ТРУБНЫХ МЕЛЬНИЦАХ**

Известно, что мелющая загрузка трубных мельниц состоит из шаров разного диаметра. Любой постоянный устойчивый режим работы мелющей загрузки, в каждом поперечном сечении по длине корпуса, приводит к поперечной сегрегации (расслоению) мелющих тел: мелкие шары располагаются на внешних траекториях ближе к футеровке, а крупные скапливаются в центре загрузки. Такая обратная по размерам сегрегация крайне нежелательна, так как крупные шары должны, наоборот, находиться на внешних траекториях и совершать ударный водопадный режим работы, в то время как скапливаясь в центре загрузки они образуют малоэффективную «мертвую» зону. Кроме того, крупные частицы измельчаемого материала, также находятся в мертвой зоне, не выходят на поверхность и не измельчаются ударом, а измельчаются в неэффективном для них каскадном истирающем режиме. Все это приводит к значительным потерям энергии мелющих тел. Предпринимались

различные попытки разрушения этой зоны.

Эффективность движения мелющих тел в поперечном сечении мельницы определяется полнотой передачи их энергии измельчаемому материалу. Поэтому экономичность процесса измельчения зависит от режима движения мелющих тел. Динамика движения мелющих тел, распределения между ударными и истирающими воздействиями мелющих тел на измельчаемый материал во многом зависят от формы поперечного сечения внутреннего пространства рабочих камер.

Выявлено влияние формы поперечного сечения не только на динамику движения мелющих тел, но и на изменение размеров малоподвижного «мертвого» ядра, частоты его колебаний. Например, при ступенчато-криволинейной футеровке это ядро отсутствует, а для усеченного круга оно имеет переменные размеры, увеличиваясь или уменьшаясь за один оборот мельницы, совершая колебательные дви-