

Міністерство освіти і науки України  
Одеська державна академія будівництва та архітектури  
Інститут проблем міцності імені Г. С. Писаренка Національної  
академії наук України  
University of West Attica (Greece)  
University «Sjever» (Croatia)

## **VII Міжнародна конференція**

### **АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ІНЖЕНЕРНОЇ МЕХАНІКИ**



## **ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ**

**Одеса, 12-15 травня 2020 року**



**Актуальные проблемы инженерной механики / Тезисы докладов VII Международной научно-практической конференции. Общая редакция — Н.Г. Сурьянинов. Одесса: ОГАСА, 2020. — 428 с. ISBN 978-617-7900-05-3**

## **ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**Антонюк Н.Р.** - технічний редактор журналу «Вісник ОДАБА», к.т.н., доцент, [vestnik@ogasa.org.ua](mailto:vestnik@ogasa.org.ua)

**Балдук П.Г.** - відповідальний секретар конференції, к.т.н., професор кафедри будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури, [pavel9baldook@gmail.com](mailto:pavel9baldook@gmail.com)

**Зінковський А.П.** - заст. директора з наукової роботи Інституту проблем міцності імені Г.С. Писаренка, д. т. н., професор, [zinkovskii@ipp.kiev.ua](mailto:zinkovskii@ipp.kiev.ua)

**Клименко Є.В.** – зав. кафедри залізобетонних конструкцій та транспортних споруд Одеської державної академії будівництва та архітектури, д.т.н., професор, [concrete\\_ogasa@mail.ru](mailto:concrete_ogasa@mail.ru)

**Ковров А.В.** - голова оргкомітету конференції, ректор Одеської державної академії будівництва та архітектури, к.т.н., професор, [rector@ogasa.org.ua](mailto:rector@ogasa.org.ua)

**Крутії Ю.С.** - проректор Одеської державної академії будівництва та архітектури, к.т.н., професор, [yurii.krutii@gmail.com](mailto:yurii.krutii@gmail.com)

**Сур'янінов М.Г.** - заступник голови оргкомітету конференції, зав. кафедри будівельної механіки Одеської державної академії будівництва та архітектури, д.т.н., професор, [sng@ogasa.org.ua](mailto:sng@ogasa.org.ua)

**Харченко В.В.** - директор Інституту проблем міцності імені Г.С. Писаренко Національної академії наук України, академік НАН України, д. т. н., професор, [khar@ipp.kiev.ua](mailto:khar@ipp.kiev.ua)

**Шваб'юк В.І.** - Луцький національний технічний університет, д.т.н., професор, [Shvabyuk@lutsk-ntu.com.ua](mailto:Shvabyuk@lutsk-ntu.com.ua)

**Хендрік Досс** - Професор університета прикладних наук м. Майнц (Німеччина), [hendrik.doss@dosscom.de](mailto:hendrik.doss@dosscom.de)

**Kyriazopoulos A.** - Professor, University of West Attica, [akyriazo@teiath.gr](mailto:akyriazo@teiath.gr)

**Demakos K.** - Professor, University of West Attica, [cdemakos@gmail.com](mailto:cdemakos@gmail.com)

**Pnevmatikos N.** - Associate Professor, University of West Attica, [pnevma@teiath.gr](mailto:pnevma@teiath.gr)

**Milkovich Marin** - rector of the University «Sjever», professor, [rektor@unin.hr](mailto:rektor@unin.hr)

Утверждено к печати Организационным комитетом конференции.

Чепурна С.М., Жидкова Т.В., Попова О.А., Чепурна М.Є. Декоративні бетони з добавкою високодисперсного органогенного кальциту (крейди) для елементів міського дизайну	366
Шаповал А.А., Драгобецкий В.В., Савченко Ю.В., Гуренко А.Ю., Марков О.Е. Рентабельность изготовления переходников из сочетания металлов нержавеющей сталь+цирконий	369
Шацький І.П., Величкович А.С., Витвицький І.І., Сенюшкович М.В. Нелінійні властивості трубних центраторів, оснащених осьовим упором	373
Шваб'юк В.І., Ротко С.В., Федорусь Ю.В., Шваб'юк В.В. Про особливості напруженого стану колу круглої плити за різних умов защемлення на краю	374
Шехоркіна С.Є., Савицький М.В., Зезюков Д.М., Буцька О.Л., Бердніков М.Р. Дослідження напружено-деформованого стану гібридних дерево-залізобетонних багатоповерхових будівель	378
Баранова-Шишкова Л.И., Звонарёва Е.А. Исследование глобальных тенденций переработки отходов в сегменте стекольной промышленности России	382
Кагадій Т.С., Білова О.В., Щербина І.В., Шпорта А.Г. Дослідження напружено-деформованого стану шаруватих тіл з підкріплюючими елементами	386
Янін О.Є., Новікова С.М. Висячі бункери для зберігання сипких матеріалів	389
Verameichyk A.I., Zheltkovich A.E. Research of heat transfer in the course of surface hardening based on solution of inverse problem of heat diffusion	393
Яременко О.О., Яременко Н.О. Пошкодження матеріалів в конструкціях	397
Бабич С.Ю., Діхтярук М.М., Корнієнко В.Ф. Контактна взаємодія періодично розміщених накладок кінцевої довжини з двома попередньо напруженими смугами	399
Бекшаев С.Я. Качественные особенности оптимального усиления многопролетного продольно сжатого стержня	400
Валовой О.І., Єрьоменко О.Ю., Валовой М.О., Волков С.О. Дослідження утворення та розвитку тріщин в балках з гібридним армуванням металевою та базальтопластиковою арматурою	404
Чаюн И.М., Вовк П.Е. Характеристики предельного упругого состояния канатов с учетом обрывов проволок	408
Гаджиева Р.Д., Юсупова Ф.А. Особенности твердотельного компьютерного моделирования гиперболоидных передач	412
Гиршфельд А.М., Симсон Э.А. Влияние разнотазорности и перекосов на контактное НДС буксовых подшипников	417
Гришин А.В., Яременко Н.А. Динамический расчет берегозащитного сооружения от действия разбивающихся волн	422
Мейш В.Ф., Мейш Ю.А. К постановке задач динамики грунтовых сред в неортогональной системе координат	426

## **ВИСЯЧІ БУНКЕРИ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Янін О.Є., к.т.н., доц., Новікова С.М., ст. викл.,**

Херсонський Державний Аграрний Університет, м. Херсон, [yanin\\_a@ukr.net](mailto:yanin_a@ukr.net)

Для зберігання великих об'ємів сипких матеріалів протягом багатьох років використовуються такі ємності, як бункери. Вони можуть мати різну конструкцію, але найбільш ефективними є так звані гнучкі або висячі бункери. Вони являють собою незамкнену циліндричну оболонку нульовою гауссовою кривизни, яка підвищується з двох боків до паралельних металевих балок [1,2]. Характерною особливістю такої конструкції є робота оболонки на розтяг у напрямку прольоту. В результаті вона виявляється економічною за витратами сталі.

Відомо, що обрис гнучкого бункеру приймається по ланцюговій кривій в тому випадку, якщо не проводиться урахування горизонтального тиску сипкого матеріалу. При його урахуванні, використовується наближене рівняння кривої у вигляді алгебраїчного полінома, отриманого шляхом розкладання рішення диференціального рівняння у функціональний ряд [2,3]. Таке рішення є наближеним і використовувалось при проектуванні довгий час. Розвиток комп'ютерних технологій відкриває нові можливості більш точного опису кривої гнучкого бункера вздовж прольоту. Зокрема, функціональну залежність можна виразити не тільки через елементарні математичні функції, а також через визначені інтеграли і використовувати її в теоретичних дослідженнях і при вирішенні практичних задач проектування.

Вирішенням проблеми оптимізації конструкції бункерів займалися багато видатних вчених [4-8]. Особливо слід відзначити праці Хабіда Ягофарова, який запропонував спосіб визначення оптимальної площі поперечного перерізу гнучкого бункера виходячи з критерію приведених витрат [4,5]. Проблеми практичного розрахунку тонкостінних циліндричних оболонок розглянуті в працях Соломонова Ю. С. [9,10]. Основи проектування пружних циліндричних оболонок за моментним та безмоментним методами викладені в роботах Петрова В. В. [11]. Задачі розрахунку циліндричних оболонок при різних вихідних умовах вирішені у праці [12]. Але, в цілому існує певний брак публікацій на тему точного визначення форми гнучкого циліндричного бункеру.

Виходячи з розгляду рівнянь рівноваги для нескінченно малого елемента оболонки, отримано диференціальне рівняння другого порядку щодо координат кривої провисання. Оскільки воно не містить в явному вигляді

координати абсциси, були використані підстановки, що призводять до вирішення диференціального рівняння першого порядку.

Використання цільової функції об'єму матеріалу оболонки дозволило вирішити задачу оптимізації розмірів і форми гнучкого бункера. Зокрема отримано оптимальне співвідношення між прольотом оболонки і стрілою провисання виходячи з мінімуму витрати сталі.

Для визначення оптимального співвідношення між стрілою провисання  $f$  і прольотом бункеру  $d$  задається ряд значень  $f$  з деяким кроком у певному діапазоні.

При кожному значенні  $f$  треба знайти:

1) розпір  $H$  з рішення рівняння (1);

$$A_{пер} = 2 \int_0^f x_{(y,H,f)} \cdot dy, \quad (1)$$

де  $A_{пер}$  – задана площа поперечного перерізу бункеру;

$x$ ;  $y$  – координати на площині поперечного перерізу (початок координат знаходиться у нижній точці провисання);

$$x_{(y,H,f)} = \pm \sqrt{k} \int_0^y \frac{\left( \frac{H}{\rho\Delta} + \frac{k}{2}(f-y)^2 \right) \cdot dy}{\sqrt{\left( \frac{H}{\rho\Delta} + \frac{k}{2}f^2 \right)^2 - \left( \frac{H}{\rho\Delta} + \frac{k}{2}(f-y)^2 \right)^2}} \quad (2)$$

функція координати  $x$ , що залежить від координати  $y$ , а також від  $H$  і  $f$ ;

$\Delta$  - достатньо мала ділянка уздовж довжини бункеру  $L$ ;

$\rho$  – питома вага сипкого матеріалу;

$\kappa < 1$  – коефіцієнт, який являє собою відношення горизонтального тиску засипання до вертикального;

2) довжину кривої провисання смуги  $L_1$  між точками кріплення на опорах за формулою (3);

$$L_1 = 2 \left[ x_{(\delta)} + \int_{\delta}^f \sqrt{1 + (x'_{(y)})^2} \cdot dy \right], \quad (3)$$

де  $\delta$  – достатньо мала величина довжини;

3) вертикальну складову реакції опори  $V$  за формулою (4);

$$V = \rho\Delta \int_0^f x_{(y)} \cdot dy; \quad (4)$$

4) максимальне поздовжнє зусилля у смугі  $T_{max}$  за формулою (5);

$$T_{max} = V \sqrt{1 + (x'_{(f)})^2}; \quad (5)$$

5) товщину стінки оболонки  $t$  за формулою (6);

$$t = \frac{\gamma_f \cdot T_{\max}}{\Delta \cdot R_{\text{ов}}}, \quad (6)$$

де  $\gamma_f$  – коефіцієнт надійності за навантаженням для сипкого матеріалу;

$R_{\text{ов}}$  – розрахунковий опір розтягу стикового зварного шва;

б) об'єм матеріалу оболонки  $V_{\text{об}}$  за формулою (7);

$$V_{\text{об}} = L_1 \cdot t \cdot \Delta. \quad (7)$$

При усіх значеннях  $f$  площа поперечного перерізу бункеру буде однаковою і рівною  $A_{\text{пер}}$ . Використовуючи викладений алгоритм, складається цільова функція об'єму матеріалу оболонки  $V_{\text{об}}(f)$ , яка буде залежати від  $f$ .

За допомогою комп'ютерної системи **MathCAD** будується графік цієї функції (див. рис.1) та визначається значення  $f$ , при якому вона має мінімум. Відповідне значення прольоту визначається виходячи з формули (2):

$$d = 2 \cdot x_{(f,H,f)}. \quad (8)$$

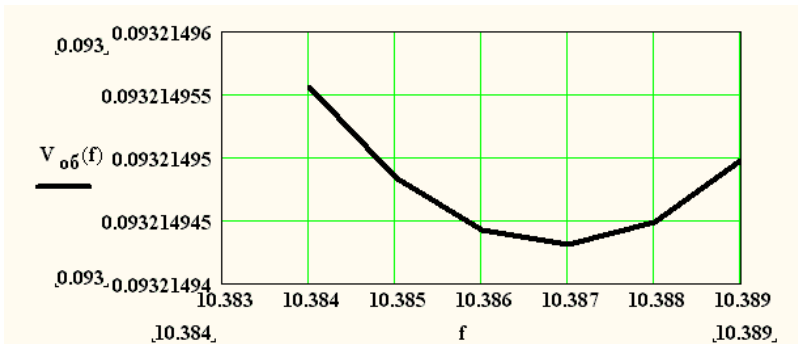


Рис.1. Графік функції  $V_{\text{об}}(f)$ :  $V_{\text{об}}(f)$  - об'єм матеріалу оболонки, м<sup>3</sup>;  $f$  - стріла провисання, м.

Задача знаходження раціонального співвідношення між  $d$  і  $f$  виходячи із мінімуму витрат сталі розв'язана при таких контрольних вихідних даних:

$A_{\text{пер}}=100\text{м}^2$ ;  $\rho=20\text{кН/м}^3$ ;  $\gamma_f=1,3$ ;  $R_{\text{ов}}=191,25\text{МПа}$ ;  $\kappa=0,333$ ;  $\Delta=1\text{м}$ ;  $\delta=0,1\text{м}$

Отриманий графік функції  $V_{\text{об}}(f)$ , який має мінімум при  $f=10,387\text{м}$  (див. рис.1). Оптимальний проліт  $d$  і оптимальне відношення  $d$  до  $f$  склали відповідно:  $d=13,688\text{м}$ ;  $\frac{d}{f}=1,318$ .

Завдяки оптимальному співвідношенню між стрілою провисання  $f$  і прольотом  $d$  досягається зменшення витрат металу на гнучкий бункер при заданому об'ємі сипкого матеріалу та експлуатаційних параметрах даної конструкції.

1. Металлические конструкции: спец. курс. учеб. пособие для вузов/ [Е.И. Беленя, Н.Н. Стрелецкий, Г.С. Ведеников и др.] ; под общ. ред. Е.И. Беленя. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1982. 472 с.
2. Лихтарников Я.М., Ладыженский Д.В., Клыков В.М. Расчет стальных конструкций: справ. пособие. -2-е изд., перераб. и доп. К.: Будівельник, 1984. – 368 с.
3. Гурский А. Выбор оптимального очертания гибкого бункера // Пром. стр-во и инж. сооружения. 1970. №1. С. 13-15.
4. Ягофаров Х. Формулы для расчета гибких бункеров // Пром. стр-во, 1971. №11. С. 39-40.
5. Ягофаров Х. Гибкие бункера. М. : Стройиздат, 1980. 168 с.
6. Шаповалов А. Н. Инженерные сооружения: учеб. пособие. Харьковский национальный университет горного хозяйства им. А.Н. Бекетова. Харьков: 2017. 292с.
7. Гячев Л.В. Основы теории бункеров: Новосибирск.: Изд-во Новосиб. ун-та, 1992. 312 с.
8. Киселев В.А. К вопросу определения очертания подвесных цилиндрических бункеров и гидротехнических каналов. // Инженерный сборник АН СССР, Т.1. Вып. 1. 1941. С. 55 - 68.
9. Соломонов Ю. С. Методы расчета цилиндрических оболочек из композиционных материалов / Ю. С. Соломонов, В. П. Георгиевский, А. Я. Недбай, В. А. Андрушин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 264 с.
10. Соломонов Ю. С. Прикладные задачи механики композитных цилиндрических оболочек / Ю. С. Соломонов, В. П. Георгиевский, А. Я. Недбай. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 408 с.
11. Петров В.В. Теория расчета пластин и оболочек. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. - 410 с.
12. Крутії Ю. С., Сурьянінов М. Г. Згин кругової циліндричної оболонки зі змінною товщиною // Вісник Хмельницького національного університету/ Хмельницький, 2016. №2 (235). С. 116-122.

## **HANGING BINS FOR STORAGE OF BULK MATERIALS**

*The object of the study is hanging steel bins designed to store large volumes of bulk materials and having the form of an open cylindrical shell. Using the well-known methods of differential and integral calculus, the relation between the span of the bin and the sagging arrow is obtained, which corresponds to the minimum consumption of steel. To solve this problem, it was obtained equation of the curve of the outline of a flexible steel bin in the transverse direction, taking into account the horizontal pressure of the bulk material. A second-order differential equation is obtained for the coordinates of the sag curve for an infinitely small shell element. The solution of this equation is represented as a function that contains integrals. The problem of the bin cross-section size optimization based on the minimum cost of steel is solved. An objective function for the volume of the shell material using a program block in the MathCAD computer system was created. By constructing a graph of this function, its minimum is determined by the numerical method. The paper shows the possibility to reduce the consumption of steel on a flexible bin due to the optimization of the cross-sectional shape.*