

wear size, substantiation of the probable cause of defects and malfunctions of cylinders, the systems of a valve gear of automobile and tractor internal combustion engines exclude to make dismantling, assessment of operating condition reliability, to make the forecast of a resource before a major repair and efficiency of further use in operating conditions or immediate repair of cylinders of engines.

As a result of the computer equipment and the artificial intelligence systems of diagnostics process development of cylinders wear rate of internal combustion engines can be make out with a high accuracy quickly.

Key words: *repair of internal combustion engines, wear of cylinders, diagnostics of inner surface of cylinders, technical maintenance*

УДК 624.954

АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛЕВИХ ЄМНІСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ СИПУЧИХ ВАНТАЖІВ

***І. М. Сівак, Ю. В. Човнюк, кандидати технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України
e-mail: sivakim@ukr.net***

Анотація. *Проведений чисельний та аналітичний аналізи динамічних властивостей сталевих ємнісних конструкцій для сипучих вантажів, встановлення спектру частот власних коливань циліндричних оболонок методами, розвиненими й в уточненій постановці, а також проведення чисельних оцінок власних частот подібних структур при врахуванні впливів різноманітних факторів з становленням динамічних властивостей сталевих/ металевих ємнісних конструкцій для сипучих вантажів, які знаходяться під впливом вібраційних полів.*

Ключові слова: *динаміка, вантаж, конструкція, сипучий*

Постановка проблеми. Сталеві ємнісні конструкції експлуатуються досить широко у різних галузях промисловості та сучасного сільського господарства. Вони використовуються але тимчасового та довготривалого зберігання великої кількості різних видів сипучих вантажів (зерно, горох, кукурудза, тощо). Найбільш

© І. М. Сівак, Ю. В. Човнюк, 2017

типovими формами таких споруд є сталеві ємнісні споруди для сипучих вантажів бункерного та силосного типів.

Незважаючи на відносно статичні умови робочих споруд в деяких випадках необхідно враховувати їх динамічну поведінку.

По-перше, завантаження цих конструкцій виконується за допомогою різноманітних машин та механізмів, таких як, наприклад, скипові підйомники, країни-перевантажувачі або конвеєри стрічки. При цьому сипучий вантаж може ставати з деякої висоти, у сторонню, або вже частково завантажену конструкцію.

По-друге, у процесі вивантаження ємності може виникнути ситуація коли за своїми фізико-механічними характеристиками (кут внутрішнього тертя та кут природного відкосу) сипучий вантаж не може повністю звільнити ємність. Тому необхідно використовувати спеціальні прилади, які призначені для збудження вібраційних коливань, що значно полегшують процес вивантаження (розвантаження).

По-третє, ємнісні конструкції досить часто являють собою не поодинокі споруди, а є елементами значних комплексних конструкцій, де до несучих елементів прикріплена ще ціла низка інших сталевих конструкцій, машин та механізмів. Тому можливим є розповсюдження динамічних збуджень як від ємнісних конструкцій на інші об'єкти технологічного процесу, так і навпаки.

У четверте, останнім часом набув розповсюдження метод динамічної інтегральної діагностики конструкцій, який дозволяє знаючи початкові динамічні характеристики споруди і порівнюючи їх

з вимірними в деякий час експлуатації характеристики, давати оцінку технічного стану конструкції в цілому.

Деякі експериментально-теоретичні засоби щодо цього підходу можливо знайти у роботах [1, 2].

Таким чином, у практиці експлуатації інформація щодо динамічної поведінки сталевих ємнісних конституюцій для сипучих вантажів у ряді випадків може виявитися дуже корисною. На думку авторів даної роботи динамічні властивості сталевих/ металевих ємнісних конструкцій для сипучих вантажів, які знаходяться під впливом вібраційних полів, вивченні ще недостатньо.

Аналіз останніх досліджень. Відомо [2] що незважаючи на досить повну історію використання (сталевих) ємнісних конструкцій, задача оцінки їх власних динамічних характеристик, на жаль, поки не знайшла свого повного теоретичного вирішення. Спеціалізована нормативна та фахово-довідкова література майже не приділяє даному питанню уваги. Так, досить впевнено можна констатувати, що окремих цілеспрямованих спеціалізованих досліджень щодо оцінки динамічних властивостей (сталевих) порожніх ємностей не

проводилось. Це питання розглядається у деяких поодиноких дослідженнях, причому скоріше як супутнє питання [3] або достатньо відокремлено висвітлюється у фаховій літературі [4], маючи при цьому характер лише рекомендації загального типу. Про систематичний перехід до вказаної задачі говорити поки що зарано.

У роботах [5–9] вищевказаною задачею була розглянута всебічно у формі чисельного експерименту, котрий немає практичного підтвердження. При цьому використовувався метод скінчених елементів, на основі якого будувалися відповідні власні динамічні характеристики саме сталевих ємностей різних типів. Досліджувався також вплив на динамічні параметри конструкції зміни деяких її конструктивних параметрів, зокрема, висота вертикальної частини споруди, розмірів конструкції та постановки підкріплюючих ребер жорсткості.

Чисельний експеримент проводився на базі проекту обчислювального контексту SCAD for Windows, теоретичний опис котрого даний у роботі [10].

Дискретизація скінчених елементних моделей була виконана згідно правил і особливостей, визначених у [9]. Форма і розміри скінчених елементів приймалися такими, щоб забезпечити точність отриманих результатів у межах 1%.

За допомогою розроблених моделей у [5–9] був отриманий спектр власних частот коливань та відповідні форми власних коливань, тобто, по суті, виконана процедура подальшого аналізу. Визначення власних частот форм коливань велося стандартними методами найскорішого спуску та інерції підпросторів [10]. Отримані результати для десяти нижчих частот, наведені у [2], не були порівняні з існуючими у літературі аналогічними показниками спектру власних коливань (отриманими теж чисельними методами [11, 12]).

Метою досліджень є встановлення спектру частот власних коливань циліндричних оболонок методами, розвиненими у [11] й в уточненій постановці у [12], а також проведення чисельних оцінок власних частот подібних структур при врахуванні впливів різноманітних факторів.

Результати досліджень. Особливості власних коливань замкненої циліндричної оболонки за малих прогинів були встановлені у роботі [11]. Зокрема, квадрат власної частоти коливань визначається наступним співвідношенням:

$$\omega_0^2 = \frac{\Pi^4 \times m^4}{\theta^2 \times \mu} \times \frac{T_1 \times R}{E \times l} \times \left(\frac{1}{L^2}\right) \times C^2 \quad (1)$$

де: ω_0 – частота власних коливань оболонки за малих прогинів;
R – радіус кривизни серединної поверхні; m – число півхвиль по

довжині оболонки; μ – число повних хвиль по колу; $\theta = \frac{m\pi R}{nL}$; $\eta = \frac{n^2 \times l}{R}$;
 l – товщина оболонки; E – модуль пружності матеріалу; $C = \sqrt[3]{\frac{E}{\rho}}$; ρ –
щільність матеріалу оболонки; C – швидкість розповсюдження
повздовжніх хвиль у матеріалі оболонки; T_1 – значення критичного
зусилля для оболонки, яке впливає з ров'язку лінійної задачі про
стійкість оболонки, за її вісьового стискування; $T_1 = \hat{P}_{кр} \times \frac{El}{R}$;
 $\hat{P}_{кр} = \frac{1}{12 \times (1-\mu)^2} \cdot \frac{(1+\theta^2)}{\theta^2} \cdot \eta + \frac{\theta^2}{(1+\theta^2)^2 \times \eta}$; M – коефіцієнт Пуассона.

$$\text{Мінімальне значення } \widehat{P}_{кр} = \widehat{P}_в = \frac{1}{\sqrt{3 \times (1-\mu^2)}} \approx 0.605.$$

$$\text{Це можливо при } \eta \cdot \left(\theta + \frac{1}{\theta}\right)^2 = \sqrt{12 \cdot (1-\mu)^2} \approx 3,3.$$

Для розрахунку значень ω_0 використовуємо графік, поданий на
рис. 1 [11]. При цьому параметри, які характеризують геометричні
розміри і форму оболонки, обираємо наступними: $L=14,5$ м;
 $R=3,75$ м; $4R=3.87$; $h=2 \times 10^{-3}$ м; $\frac{R}{h}=1875$; $U=7 \dots 10$; $\omega_{0,*\min} = \frac{1}{\pi^2} \times \frac{W_{0 \times l^2}}{C \times h}$.

З вказаного вище графіка й обраних геометричних параметрів
оболонки маємо $\omega_{0,*\min}=40$ тоді:

$$\omega_{0*} = \frac{\pi^2 \times C \times h \times W_{0,*\min}}{L^2} \quad (2)$$

де: $C = \sqrt[3]{\frac{E}{\rho}} \approx 5189$ М/с (для матеріалу сталі).

Отже, згідно (2) $\omega_0 \approx 19,5$ с⁻¹, а лінійна частота $f_0 \approx 3,1$ Гц. Ця
величина f_0 (ω_0) відповідає малим прогинам оболонки за наявності
повздовжньої стискучої сили.

Визначимо ω_0 , використовуючи графік [11], для наступних
параметрів L, R, h : $L=14,5$ м; $R=3,75$ м; $4R=3,87$ м, $h=2 \times 10^{-3}$ м;
 $\frac{R}{h}=937,5$; $n=7 \dots 8$; $\omega_{0,*\min}=30$, тоді, згідно (2) знаходимо $\omega_0 \approx 29,2$ с⁻¹, а
 $f_0 \approx 4,65$ Гц.

Отже, збільшення товщини оболонки в двічі призводить до
збільшення власної (мінімальної) частоти коливань на 1,55 Гц.
Розглянемо задачу визначення власних частот коливання
ициліндричної замкненої оболонки в уточненій постановці,
використовуючи результати роботи [12]. При цьому координатна
система має вигляд, поданий на рис. 1.

Для фіксованих значень m та n існують три власні частоти з
різним співвідношенням амплітуд U, V, W . Асимптотичними
значеннями цих частот будуть відповідно $W_{0,1}; W_{0,2}; W_{0,3}$.

Частота $W_{0,1}$ відповідає згинним рухам кільця:

$$W_{max} = n \times V_{max}, U=0. \quad (3)$$

$$\left(\frac{W_{0,1}}{W_{0,2}}\right)^2 = \frac{h^2}{12R^2} \times n^2 \times (n^2 - 1)^2 / (n^2 + 1) \quad (4)$$

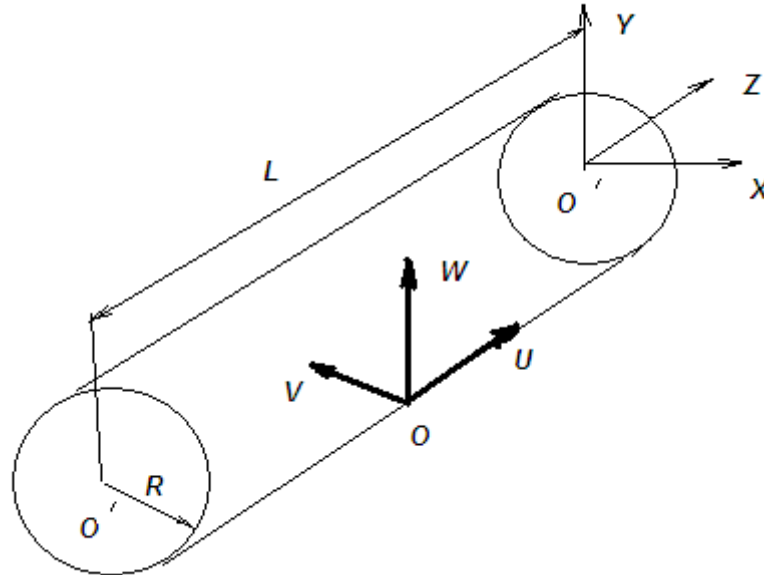


Рис. 1. Координатна система для визначення власних частот коливань замкненої циліндричної оболонки.

Частота $\omega_{0,2}$ відповідає поздовжнім коливанням оболонки:

$$W=v=0; U=U_{max}.$$

$$\left(\frac{\omega_{0,1}}{\omega_{0,2}}\right)^2 = (1 - \mu) \times \frac{n^2}{2}. \quad (5)$$

Частота $\omega_{0,3}$ відповідає коливанням розтягу-стискування кільця $V_{max} = n \times W_{max}, u = 0$:

$$\left(\frac{\omega_{0,3}}{\omega_{0,R}}\right)^2 = n^2 + 1. \quad (6)$$

Величина $\omega_{0,R} = \frac{E}{\rho \times R^2 \times (1 - \mu^2)}$ у (4)–(6) є квадратом нижньої власної частоти у випадку розтягу-стискування кільця при наявності плоскої деформації.

Чисельні розрахунки $\omega_{0,1}; \omega_{0,2}; \omega_{0,3}; \omega_{0,R}$ були проведені за наступних значень параметрів оболонки: $\mu=0,264$ $R=3,75$ м; $\rho=7,8 \times 10^3$ кг/м³; $E = 2,1 \times 10^{11}$ Па. Значення вказаних частот набули наступних:

$$\omega_{0,R} \approx 1433c^{-1}; W_{0,3} = \sqrt{n^2 + 1} \times 1433c^{-1} \approx 1433 \times n, c^{-1}; f_{0,3} \approx n \times 228,1 \text{ Гц};$$

$$\omega_{0,2} = \sqrt{(1 - \mu) \times \frac{n^2}{2}} \times 1433c^{-1} \approx 871,7 \times n, c^{-1}; f_{0,2} \approx n \times 138,7 \text{ Гц};$$

$$\omega_{0,1} = \frac{h}{R} \times \frac{n \times (n^2 - 1)}{\sqrt{n^2 + 1}\sqrt{12}} \times 1433c^{-1} \approx (0,22 \dots 0,44)n^2, c^{-1};$$

$$f_{0,1} \approx n^2(0,035 \dots 0,07) \text{ Гц.}$$

Висновки

1. Отже, щоб попасти у резонанс з $f_{\text{рез}}=25$ Гц (частота віброзбуджень оболонки з конгломератом) слід збуджувати у даній оболонці (із заданими h, R, L) при $n=20$ згини кільця: $W_{\text{max}}=n \cdot V_{\text{max}}$, $u=0$, при $h=4 \times 10^{-3}$ м з частотою (лінійною) $f_{0,1} \approx n^2(14 \dots 28)$ Гц.

Однак, подібні форми не буджуються у такій оболонці. Оскільки для останньої є нетиповими.

2. При товщині $h=2 \times 10^{-3}$ м, оболонки той самий тим (форму) коливань (при $n=26-27$) й частоті $f_{\text{рез}}=25$ Гц виникає для:

$$f_{0,1} = 26^2(0,035 \dots 0,07) \approx (23,7 \dots 47,3) \text{ Гц};$$

$$f_{0,1} \approx 27^2(0,035 \dots 0,07) \approx (25,5 \dots 51,0) \text{ Гц.}$$

3. Такий результат теж є нетиповим для подібних оболонок. Частоти $f_{0,2}$ і $f_{0,3}$ навіть при $n=1$ набагато більше 25 Гц.

4. Таким чином, від розбудження з частотою $f_{\text{рез}} = 25$ Гц є безпечним для сталевих замкнених циліндричних оболонок з геометричними параметрами ($h=(2 \dots 4) \cdot 10^{-3}$ м; $R = 3,75$ м; $L = 14,5$ м). Слід зазначити, що вказані геометричні параметри силосів/бункерів є типовими і такі конструкції використовуються для зберігання сипучих (зокрема, сільськогосподарських) матеріалів.

5. Отримані результати можуть бути у подальшому використані для уточнення й вдосконалення існуючих інженерних методів розрахунку подібних систем

Список літератури

1. *Горохов Е. В., Казакевич М. Н., Шаповалов С. Н., Назим Я. В.* Агродинаміка електросталевих конструкцій. Донецьк. 2000. 336 с.
2. *Банніков Д. О.* Експериментальні дослідження динамічних властивостей сталевих ємнісних конструкцій для сипучих вантажів. Підйомно-транспортна техніка. 2008. № 4. С. 79–88.
3. *Югов А. М., Колісниченко С. В., Шевченко Д. В.* Динамические испытания и диагностика бункерной этажерки. Вісник ДонДАБА: будівельні конструкції. Будівлі та споруди. Макіївка. 2001. Вип. 4(29). С. 47–53.
4. *Руководство по расчету и проектированию железобетонных стальных и комбинированных бункеров.* Москва. Стойиздат. 1989. 200 с.
5. *Банніков Д. О.* Прочностные и динамические свойства пирамидально призматических бункеров для сыпучих материалов. Вісник ДонДАБА: композиційно матеріали для будівництва. Макіївка. 2001. Вип. 1(26). С. 116–121.
6. *Банніков Д. О., Казакевич М. Н.* Динамическая диагностика конструкции стального бункера. Фізичні методи та засоби контролю середовищ матеріалів та виробів. Львів. 2001. Вит. 6. С. 214–218.
7. *Банніков Д. О.* Мониторинг стальных бункеров. Збірник наукових робіт ДНУЗТ: Будівництво. Дніпропетровськ. 2002. Вип. 11. С. 38–41.

8. Банников Д. О., Казакевич М. Н. Расчет пирамидально-призматических бункеров методом конечных элементов. Днепропетровск. 2003. 150 с.
10. Картилевський В. С., Криксунов Э. З., Перельнугер А. В. SCAD для пользователя. Киев. 2000. 332 с.
11. Вольнир А. С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек. Москва. 1972. 432 с.
12. Forsberg K. AIAA Jourual. 1964. V. Z. P. 12.

References

1. Gorokhov, E. V., Kazakevich, N. N., Shapovalov, S. N., Nazim, Ya. V. (2000). Agrodinamica of elektrostali designs. Donetsk. 336.
2. Bannikov, D. A. (2008). Experimental investigation of dynamic properties of steel capacitive structures for bulk materials. Handling equipment. No 4. 79–88.
3. Yugov, A. M. Kolisnichenko, S. V., Shevchenko, D. V. (2001). Dynamic testing and diagnostics of bunker shelves. Journal of Dongas: building construction. Buildings and constructions. Makiyivka. Vol. 4(29). 47–53.
4. Guide to calculation and design of steel and composite reinforced concrete bunkers. (1989). Moscow. Stroizdat. 200.
5. Bannikov, D. A. (2001). Strength and dynamic properties of pyramidal prizmaticheskyy bins for bulk materials. Dongas journal of composites for construction. Makiyivka. Vol. 1(26). 116–121.
6. Bannikov, D. A., Kazakevich N. N. (2001). Dynamic diagnostics of the construction of steel bunker. Physical methods and means of verification environments, materials and products. Lions. 2001. Vol. 6. 214–218.
7. Bannikov, D. A. (2002). Monitoring of steel bins. Collection of scientific works of DNUZT: Construction. Dnepropetrovsk. Vol. 11. 38–41.
8. Bannikov, D. A., Kazakevich, N. N. (2003). Calculation of pyramidal-prismatic silos by the finite element method. Dnepropetrovsk. 150.
10. Kortylewski, V. S., Kriksunov, E. S., Perelmuter, A. V. (2000). SCAD for the user. Kiev. 2000. 332.
11. Volner, A. S. (1972). Nonlinear dynamics of plates and shells. Moscow. 432.
12. Forsberg, K. (1964). AIAA Jourual. Z.V. 12.

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЬНЫХ ЕМКОСТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СЫПУЧИХ ГРУЗОВ

И. Н. Сивак, Ю. В. Човнюк

Аннотация. *Проведен численный и аналитический анализы динамических свойств стальных емкостных конструкций для сыпучих грузов, установление спектра частот собственных колебаний цилиндрических оболочек методами, развитыми и в уточненной постановке, а также проведение многочисленных оценок собственных частот подобных структур при учете излияний различных факторов со становлением динамических свойств стальных/металлических емкостных конструкций для сыпучих грузов, которые находятся под влиянием вибрационных полей.*

Ключевые слова: *динамика, груз, конструкция, сыпучий*

ANALYSIS OF DYNAMIC PROPERTIES OF STEEL CAPACITIVE STRUCTURES FOR BULK MATERIALS

I. M. Sivak, Yu. V. Chovnyuk

Abstract. Numerical and analytical analyzes of dynamic properties of steel capacitive structures for bulk cargoes are carried out, the establishment of the frequency spectrum of natural oscillations of cylindrical shells by the methods developed and in a refined formulation, as well as carrying out numerous estimates of the eigenfrequencies of such structures, taking into account the outflows of various factors with the formation of the dynamic properties of steel/metal capacitive structures for bulk cargoes, which are under the influence of vibrational fields.

Key words: dynamics, load, construction, loose

УДК 631.4;631.31

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ҐРУНТУ

С. М. Кухарець, доктор технічних наук

В. Р. Білецький, кандидат технічних наук

Житомирський національний агроекологічний університет

В. В. Чуба, кандидат технічних наук

Д. О. Шеремет, студент

Національний університет біоресурсів і

природокористування України

e-mail: vvchuba@ukr.net

Анотація. Рушії машинно-тракторних агрегатів деформують та ущільнюють ґрунт, негативно впливаючи на зміну його структури. Для зменшення негативного впливу на ґрунт необхідно визначати оптимальні конструкційні параметри колісних рушіїв машинно-тракторних агрегатів.

В статті розглянуто взаємодію із ґрунтом пари колісних рушіїв та розроблена схема для визначення полів напружень для прикладеного вертикального навантаження. Сформовано задачу для розрахунку напруженого стану ґрунтового середовища, яка дозволяє визначити рівень напруженого стану під колісними рушіями машинно-тракторних агрегатів. Це дозволяє виконати й обґрунтувати параметри застосованих шин, які здатні забезпечити рівень нормальних напружень в ґрунті нижче допустимих.

© С. М. Кухарець, В. Р. Білецький, В. В. Чуба, Д. О. Шеремет, 2017