

<https://kurkul.com/spetsproekty/1165-osnovi-tochnogo-zemlerobstva-dlya-fermera--infografika>, 2021.

4. Як розвивається напрям точного землеробства в умовах воєнного стану.

Механізація АПК, «Агрістатіс», 2023.

© Лукач В.С., Фришев С.Г., Василюк В.І., Ікальчик М.І. 2024

УДК 539.3

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКРЕТНО ПІДКРІПЛЕНИХ ЕЛІПСОЇДАЛЬНИХ ОБОЛОНОК ДЛЯ АПК

Майбородіна Н.В.¹, Герасименко В.П.², Редько Р.В.³

¹ канд. фіз.-мат. наук, доцент, ВП Національного університету біоресурсів і природокористування України "Ніжинський агротехнічний інститут", м. Ніжин, mainataliia2311@gmail.com;

² канд. техн. наук, доцент, ВП Національного університету біоресурсів і природокористування України "Ніжинський агротехнічний інститут", м. Ніжин, suavagvr@gmail.com

³ студент, ВП Національного університету біоресурсів і природокористування України "Ніжинський агротехнічний інститут", м. Ніжин, rostik2003@gmail.com

Анотація: в даній роботі наведено огляд літератури дослідження коливальних дискретно підкріплених еліпсоїдальних оболонок. В роботі проведений аналіз сучасного стану проблеми дослідження коливальних підкріплених оболонок. Наведений огляд основних напрямків досліджень і праць, які опубліковані за останні роки.

Ключові слова: підкріплені еліпсоїдальні оболонки, еліпсоїдальні оболонки, вимушені коливання.

Міжнародна науково-практична конференція
«Актуальні питання механізації, енергоефективності та логістики в аграрному
секторі в умовах сучасних викликів»

Оболонкові конструкції володіють високою несучою здатністю, легкістю, відносною простотою виготовлення. Завдяки цим властивостям, на сьогоднішній день важко знайти таку галузь сучасної техніки, в якій би не використовувалися оболонки з конструктивними неоднорідностями. Найбільш розповсюджені галузі сучасної промисловості, де широко використовуються неоднорідні оболонкові конструкції: ракетобудування, авіабудування, кораблебудування, машино- і приладобудування, а також будівництво. В умовах експлуатації тонкостінні пружні оболонкові структури часто підлягають дії інтенсивних динамічних навантажень, що може призвести до виникнення незворотних деформацій. Дану проблему можна вирішити двома способами. Перший спосіб полягає в збільшенні товщини оболонки, а другий – підкріплення її повздожніми і поперечними ребрами. Прагнення отримати найменшу масу оболонкових конструкцій при необхідній міцності та жорсткості, а також можливість варіювання вказаних властивостей за рахунок зміни структури підкріплення, викликає інтерес до розв'язання даного класу задач у дослідників, інженерів, конструкторів на сучасному етапі розвитку науки.

На сьогоднішній день існують два основні підходи розв'язання такого класу задач, які відрізняються способом врахування підкріплюючих елементів. Перший підхід полягає у заміні ребристої оболонки конструктивно-ортотропною оболонкою, другий – дослідження ребристої оболонки відбувається з врахуванням дискретного розміщення ребер. При використанні першого підходу, ребриста оболонка замінюється деякою гладкою оболонкою, за рахунок “розмазування” фізичних та механічних властивостей підкріплюючих елементів по поверхні оболонки. Отримана таким чином оболонка розглядається як однорідна, але для неї характерні нові властивості, в залежності від конструктивних особливостей вихідної ребристої оболонки. Застосування конструктивної ортотропії дає можливість не враховувати особливості силової взаємодії між ребрами та обшивкою, що дозволяє значно спростити вихідну задачу. Такий підхід застосовується, якщо розглядається оболонка з великою кількістю ребер [4]. Простота вказаного підходу і використання достатньо розвиненої теорії ортотропних оболонок сприяли широкому використанню конструктивно-ортотропної моделі. На основі даного підходу розв'язано ряд важливих задач і досліджено вплив параметрів підкріплення на напружено-деформований стан, коливання і стійкість різного виду оболонок в роботах [4, 14, 15] та інших дослідників. Але не дивлячись на

Міжнародна науково-практична конференція
«Актуальні питання механізації, енергоефективності та логістики в аграрному
секторі в умовах сучасних викликів»

переваги, такий підхід має ряд недоліків, коли дослідження стосуються розрахунку тонких оболонок з невеликою кількістю ребер. Використання конструктивно-ортотропної моделі дозволяє визначати лише усереднені напруження і деформації, що в свою чергу (наприклад, при локальних і динамічних навантаженнях) може привести до значних похибок, навіть при частому підкріпленні ребер. В рамках даної теорії неможливо визначити ряд важливих закономірностей, які пов'язані з наявністю дискретно розміщених ребер.

Тому для виявлення важливих закономірностей, що пов'язані саме з наявністю ребер, використовується другий підхід, в основі якого лежить аналіз поведінки підкріплених оболонок з врахуванням дискретного розміщення ребер. Перша задача, розв'язана на основі енергетичного методу і з врахуванням дискретного розміщення ребер, це задача про стійкість пластинки, підкріпленої ребрами, яку розв'язав С.П. Тимошенко [13]. Також ним була розв'язана задача про осесиметричний напружено-деформований стан циліндричної оболонки, підкріпленої кільцевими ребрами. Одна з перших монографій, в яких враховувалось дискретне розміщення ребер, присвячена розрахунку підводних човнів. В ній був отриманий точний розв'язок задачі про осесиметричний напружено-деформований стан циліндричної оболонки з поперечними підкріплюючими ребрами.

Суттєвий вклад в розвиток другого підходу теорії ребристих оболонок зробили вчені, які побудували рівняння рівноваги в переміщеннях для підкріпленої стрингерами циліндричної оболонки. Для виведення рівнянь рівноваги використовували умови екстремальності повної потенціальної енергії системи обшивка – ребро. Враховували вплив ребер введенням їх реакцій в рівняння рівноваги обшивки в якості додаткових навантажень.

В останні роки виріс інтерес дослідників до теорії підкріплених оболонок, яка враховує дискретне розміщення ребер. На основі припущень даної теорії виведені рівняння руху ребристих оболонок довільної форми, а також оболонок обертання [2]. В силу своїх переваг, даний підхід набув широкого використання в теоретичних та експериментальних дослідженнях. В результаті чого була побудована загальна теорія ребристих оболонок, особливістю якої є врахування дискретного розміщення ребер. Основи лінійної теорії пружних ребристих оболонок, яка враховує дискретне розміщення ребер, були покладені в основу нелінійної теорії пружних неоднорідних структур. Проводився аналіз різних варіантів геометрично нелінійної теорії оболонок.

Міжнародна науково-практична конференція
«Актуальні питання механізації, енергоефективності та логістики в аграрному
секторі в умовах сучасних викликів»

Як впливає з огляду робіт, на сьогоднішній день в основному розглянуто осесиметричні та неосесиметричні вільні коливання підкріплених оболонок простої геометрії (циліндричні, сферичні і конічні). Найбільша кількість робіт присвячена дослідженню вільних коливань підкріплених циліндричних оболонок. Дослідження проводились на основі теорії конструктивно-ортотропних оболонок. Розрахункові формули, одержані з врахуванням дискретного розміщення ребер. Одержана оцінка похибки застосування конструктивно-ортотропної моделі. Розглянуто наближене врахування розміщення ребер. В основному дослідники розглядали вільні коливання циліндричних оболонок, підкріплених ребрами в одному напрямку [1, 14]. Досліджено вплив повздовжніх та поперечних ребер [15]. Також розглянуто задачі для перехресної системи ребер. Результати досліджень вільних коливань підкріплених циліндричних оболонок з рівномірно розміщеними ребрами вздовж меридіана наведені в роботі [15]. В роботах [1] досліджено вплив нерегулярної системи ребер.

Приділялась увага дослідженню вільних коливань підкріплених конічних оболонок. Проведений аналіз на основі конструктивно-ортотропної моделі та наведена оцінка похибки її застосування. Дослідження проводились з врахуванням дискретного розміщення ребер [10]. Досліджено неосесиметричні власні коливання підкріплених конічних оболонок. Проаналізовано вільні коливання підкріплених сферичних оболонок [11]. Дослідження на основі конструктивно-ортотропної моделі [1]. Вільні коливання підкріплених панелей двоякої кривизни досліджено в [12].

Переходячи до розгляду результатів вивчення вимушених коливань ребристих оболонок, відмітимо, що велику увагу вчені приділяли дослідженню коливань підкріплених тонкостінних структур під дією гармонічних навантажень. Найбільша кількість робіт присвячена вивченню закономірностей протікання процесу вимушених гармонічних коливань підкріплених циліндричних оболонок, проаналізовано вплив повздовжніх ребер, поперечних ребер, та досліджувався вплив сітки підкріплюючих ребер [5]. На основі конструктивно-ортотропної моделі одержано рівняння коливань для циліндричних підкріплених оболонок. Аналіз впливу дискретного розміщення ребер. Досліджено вплив граничних умов, кількості ребер та їх жорсткісних характеристик. Наближено враховано розміщення ребер при розв'язуванні задач про вимушені коливання. Досліджено коливання ребристих конічних оболонок під дією гармонічного навантаження та закономірності даного

Міжнародна науково-практична конференція
«Актуальні питання механізації, енергоефективності та логістики в аграрному
секторі в умовах сучасних викликів»

динамічного процесу. В основному розглянуто гармонічні коливання ребристих конічних оболонок з однонаправленим набором ребер. Досліджено вплив поперечного та повздовжнього набору підкріплюючих ребер та аналіз основних характеристик процесу коливань.

Розглянуто вимушені гармонічні коливання підкріплених оболонок обертання з різними граничними умовами. Досліджено вплив геометрично-фізичних параметрів оболонок та ребер. Розв'язані задачі про коливання підкріплених оболонок з перехресною системою ребер. На основі конструктивно-ортотропної моделі підкріплених оболонок, проведено асимптотичний аналіз крайових задач гармонічних коливань підкріплених оболонок обертання. Проаналізовано динамічну поведінку ребристих оболонок під дією гармонічних навантажень та характеристики процесу коливань.

Динамічні процеси в конструкціях розділяють на стаціонарні та нестаціонарні. Аналіз праць свідчить, що більшість робіт про динамічну поведінку неоднорідних оболонок присвячені стаціонарній постановці [6, 15]. Прогрес та розвиток сучасної техніки приводить до необхідності вивчення нестаціонарних динамічних процесів в різноманітних конструкціях. Нестаціонарні процеси виникають при дії на конструкції імпульсних та рухомих навантажень [1, 5].

З огляду робіт можна зробити висновок, що найбільш детально розроблено методику розв'язування задач динамічних коливань пружних гладких оболонок. Аналіз робіт свідчить, що при розв'язуванні нестаціонарних задач деформування тривимірних задач теорії пружності зводять до двовимірної.

На практиці частіше використовуються складені конструкції (підкріплюючі ребра, приєднані і зосереджені маси та ін.), то увага дослідників приділяється питанню дослідження динамічної поведінки неоднорідних конструкцій під дією нестаціонарних навантажень. Серед перелічених вище неоднорідних структур, особливе місце займають підкріплені еліпсоїдальні оболонки [1 – 3, 5, 7 – 9].

Список використаних джерел:

1. Bennett M. S. Free wave propagation in periodically ring stiffened cylindrical shells / M. S. Bennett, M. L. Accorsi // Sound and Vibr. – 1994. – Vol. 171, № 1. – P. 49 – 66.

Міжнародна науково-практична конференція
«Актуальні питання механізації, енергоефективності та логістики в аграрному
секторі в умовах сучасних викликів»

2. Guadong C. The Uniformly Valid Asymptotic Solution of Ellipsoidal Shell Heads in Pressure Vessels // ASME J. Pressure Vessel Technol. – 1985. – 107(1). – P. 92 – 95.
3. Kang J-H. Vibrations of hemi – ellipsoidal shells of revolution with eccentricity from a three – dimensional theory // J. of Vibration and Control. – 2015. – 2(12). – P. 285 – 299.
4. Khalifa M. Effects of non – uniform Winkler foundation and non – homogeneity of the free vibration of an orthotropic elliptical cylindrical shell // European J. of Mechanics – A/Solids. – 2015. – 49. – P. 570 – 581.
5. Logan D.L., Hourani M. Membrane Theory for Layered Ellipsoidal Shells // ASME J. Pressure Vessel Technol. – 1983. – 105(4). – P. 356 – 362.
6. Lugovoi P.Z., Meish V.F. Dynamics of Inhomogeneous Shell Systems under Non – Stationary Loading (Survey) // Int. Appl. Mech. – 2017. – 53, N 5. – P. 481 – 537.
7. Maiborodina, N.V., Meish, V.F. Forced vibrations of ellipsoidal shells reinforced with transverse ribs under a nonstationary distributed load // International Applied Mechanics. – 2013, 49(6), P. 693 – 701.
8. Meish V.F., Maiborodina N.V. Analysis of the non-axisymmetric vibrations of flexible ellipsoidal shells discretely reinforced with transverse ribs under non-stationary loads // International Applied Mechanics. – 2008. – 44(10), P. 1128–1136.
9. Meish V.F., Maiborodina N.V. Stress state of discretely stiffened ellipsoidal shells under a nonstationary normal load // International Applied Mechanics. – 2018. – 54, № 6. – P. 675 – 686.
10. Mustafa B.A.J. Free vibration analysis of multisymmetric stiffened shells / B.A.J. Mustafa, R. Ali // Comput. and Struct. – 1987. – Vol. 27, № 6. – P. 848 – 856.
11. Shangchow C. Response of a cylindrical shell to the sudden breakdown of a ring stiffener / C. Shangchow // AIAA Journal. – 1984. – Vol. 22, № 7. – P. 1018 – 1020.
12. Singh A. V. On free vibrations of fiber reinforced doubly curved panels. Pt 1. Formulation/convergence study / A. V. Singh, V. Kumar // Trans. ASME. J. Vibr. and Acoust. – 1998. – Vol. 120, № 1. – P. 287 – 294.
13. Timoshenko S.P. On the correction for shear of the differential equation for transverse vibrations of prismatic bars / S.P. Timoshenko // Philosophical Magazine and Journal of science. – 1921. – Vol. 41, Ser. 6, № 245. – P. 744 – 746.