

Міністерство освіти і науки України
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Національний університет цивільного захисту України
Slovak University of Technology (Словаччина)
RWTH Aachen University (Німеччина)
University of Sannio (Італія)
Polytechnic University of Valencia (Іспанія)
Warsaw University of Technology (Польща)

XII Міжнародна конференція
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ІНЖЕНЕРНОЇ
МЕХАНІКИ

XII International Conference
ACTUAL PROBLEMS OF ENGINEERING
MECHANICS



ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
ABSTRACTS OF REPORTS

Одеса, 20-22 травня 2026 року



ЕЛЕМЕНТІВ ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ ПРИ ВИГИНІ З КРУЧЕННЯМ	207
Shapoval O.O., Kulynych V.D., Kulynych S.A., Savchenko Iu.	
THEORETICAL JUSTIFICATION OF METALLIC SURFACE	
HARDENING BY PLASTIC SHOT BLASTING	209
Шаповал О.О., Вакуленко Р.А., Кузев І.О., Кухар В.В. МОДЕЛЬ	
ДИНАМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ТРУБИ ТА ТРУБНОЇ РЕШІТКИ	217
Щолоков Е.Е. УТОЧНЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ РУХУ	
ДІТЕЙ ДОШКІЛЬНОГО ВІКУ ПІД ЧАС ЕВАКУАЦІЇ ПРИ ПОЖЕЖІ	221
Сур'янінов М.Г., Неутов С.П., Корнеева І.Б. ЛАБОРАТОРНІ	
ВИПРОБУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ОБОЛОНОК ІЗ ЗАЛІЗОБЕТОНУ ТА	
СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ	225
Крадінова Т.А., Гуда О.В. ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ	
ФУНКЦІОНАЛЬНОГО АНАЛІЗУ В ШТУЧНОМУ ІНТЕЛЕКТІ	229
Зятюк Ю.Ю., Поліщук О.М., Фурсович М.О., Супрунюк В.В., Романюк	
В.В. ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ФІБРОБЕТОНУ ДЛЯ ЖОРСТКОГО	
ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ В УМОВАХ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА	232
Trofimova L.E. TOPOLOGICAL GENERALIZATION OF THE LAWS	
OF STRUCTURE FORMATION PROCESSES IN DISPERSED	
SYSTEMS AND MATERIALS	236
Андрійчук О.В., Громов Д.Ю. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ	
ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦІСНИХ ТА ДЕФОРМІВНИХ	
ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНУ ТА СТАЛЕФІБРОБЕТОНУ	241

УДК 621.791.76.044.2

МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ТРУБИ ТА ТРУБНОЇ РЕШІТКИ

**Шаповал О.О., д.т.н., проф., Вакуленко Р.А., к.т.н., доц.,
Кузєв І.О., ст. викл.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла
Остроградського, м. Кременчук

Кухар В.В., д.т.н., проф.

Технічний університет Метінвест ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя

З'єднання труб із трубними решітками в теплообмінних апаратах є одним із відповідальних вузлів, який впливає на довговічність та надійність експлуатації енергетичного та хімічного обладнання. Підвищення надійності основного елемента теплообмінного апарата – трубних решіток із закріпленими трубами є актуальною проблемою у галузях машинобудування, що освоюють виробництво теплообмінних апаратів. Важливість даних з'єднань для роботи обладнання обумовлена як їх кількістю від 10^2 до 10^4 з'єднань в одному теплообміннику, так і несприятливою комбінацією теплових та механічних навантажень впливом у корозійних середовищах. Дані обставини висувають високі вимоги не тільки до вибору матеріалів, але й до технологій виготовлення з'єднань для досягнення тривалого терміну служби всього агрегату.

Актуальним питанням є розробка моделі динамічної взаємодії труби з трубними решітками, використання якої дозволить визначати основні параметри процесу кріплення труб для нового способу з'єднання труб із трубними решітками.

Запропоновано модель плоского напруженого стану системи труба – труба решітка, в якій всі процеси взаємодії, зумовлені рівномірним по поверхні труби імпульсним навантаженням, розглянуті в площині (x, y) , перпендикулярній осі труби (рис. 1):

$$P(t) = P_T e^{-t/Q}, \quad (1)$$

де P_T – максимальний тиск на фронті ударної хвилі, Па; t – час, що відраховується від моменту приходу фронту ударної хвилі в дану точку середовища, с; θ – характеристичний час спаду тиску в ударній хвилі, с.

Динамічна поведінка деталей, що з'єднуються, описується системою рівнянь: руху, нерозривності, енергетичного балансу, зв'язку напружень і деформацій за відповідних початкових і граничних умов.

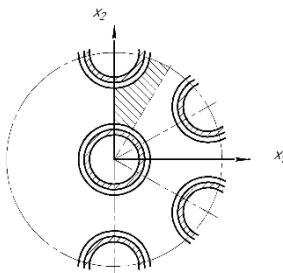


Рис. 1. Модель плоского напруженого стану системи – трубна решітка

Рівняння руху визначають закономірності руху точок системи залежно від внутрішніх сил – напруг:

$$\left. \frac{\partial \Sigma_{xx}^i}{\partial x} + \frac{\partial T_{xy}^i}{\partial y} + \frac{T_{xy}^i}{y} \right| = \rho^i \ddot{x}^i;$$

$$\left. \frac{\partial T_{xy}^i}{\partial x} + \frac{\partial \Sigma_{yy}^i}{\partial y} + \frac{\Sigma_{yy}^i - \Sigma_{\theta\theta}^i}{y} \right| = \rho^i \ddot{y}^i; \quad (2)$$

$$\Sigma_{xx}^i = s_{xx}^i - (p^i + q^i), \quad \Sigma_{yy}^i = s_{yy}^i - (p^i + q^i), \quad \Sigma_{\theta\theta}^i = s_{\theta\theta}^i - (p^i + q^i),$$

де $i=1,2$ – позначає елемент системи (1 – труба, 2 – дошка); x, y – декартові або циліндричні координати; $\Sigma_{xx}^i, \Sigma_{yy}^i, \Sigma_{\theta\theta}^i, T_{xy}^i$ – повні напруги (радіальна, осьова, широтна і дотична, відповідно), $\left| \right|^*$ – позначає члени, які відсутні в декартовій системі координат, $s_{xx}, s_{yy}, s_{\theta\theta}$ – компоненти діватора напруг, p, q – гідростатичний тиск та штучна в'язкість.

Рівняння нерозривності висловлює умову суцільності тіл у процесі деформування

$$\frac{V^i}{V^i} = \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial x} + \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial y} + \frac{\mathcal{E}^*}{y}, \quad (3)$$

де V^i – елементарний об'єм.

Рівняння енергетичного балансу відображає закон збереження механічної енергії при деформуванні тіл у диференціальній формі

$$\mathcal{E} = -(p + q)\mathcal{E} + V(s_{xx}\mathcal{E}_{xx} + s_{yy}\mathcal{E}_{yy} + s_{\theta\theta}\mathcal{E}_{\theta\theta} + T_{xy}\mathcal{E}_{xy}), \quad (4)$$

де $\mathcal{E}$ – механічна потужність внутрішніх сил в елементарному об'ємі;

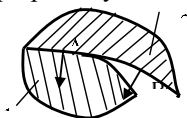
$q\mathcal{E}$ – потужність незворотного розсіювання (дисипації) механічної енергії.

Рівняння стану визначають співвідношення між параметрами деформованого стану.

Умова пластичної течії. Використовується критерій пластичності Мізеса: при досягненні тензором напружень критеріального значення деформування набуває суто пластичного характеру

$$s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 \leq \frac{2}{3}(\gamma^0)^2, \quad (5)$$

де γ^0 – межа плинності при розтягуванні.



1 – зовнішня поверхня труби; 2 – зовнішня поверхня трубної решітки

Рис. 2 – Контакт труби та трубної решітки

Умови контакту. Контакт труби та трубної решітки (рис. 2) може мати тимчасовий та локальний характер.

Розв'язання системи рівнянь виконується за методом Вілкінса. При дискретизації використовується дивергентна форма похідних, що базується на наступних виразах

$$\frac{\partial F}{\partial x} = \lim_{A \rightarrow 0} \frac{\int F(h_i^x) ds}{A}, \quad \frac{\partial F}{\partial y} = \lim_{A \rightarrow 0} \frac{\int F(h_j^y) ds}{A}, \quad (6)$$

де F – функція координат, що диференціюється; C – межа області; S – довжина дуги, $\vec{h}$ – вектор зовнішньої нормалі до межі.

1. Завдяки аналізу процесу незалежного руху труби можна встановити момент, коли виконується умова зіткнення, фіксуючи відповідні значення функцій переміщень та швидкостей переміщення. Визначаються також

значення швидкості спільного руху після зіткнення. Значення всіх цих параметрів використовуються як початкові при вирішенні рівнянь спільного руху.

2. Контактний тиск враховували у рівнянні спільного руху. Труба і трубні решітки здійснюють коливальні рухи з різним періодом і бувають моменти, коли контактний тиск дорівнює нулю. Тому для оцінки натягу усереднювали значення функцій переміщення та контактного тиску в інтервалі часу, значно більшому, ніж періоди коливань деталей, що з'єднуються.

3. Процедура чисельного розв'язання рівнянь руху полягала в послідовному визначенні, починаючи з початкових умов, значення швидкості в черговому вузлі, потім функції переміщення в напівцілому, і так аж до закінчення етапу вільного або роздільного руху. Значення функцій деформації в останньому цілому тимчасовому вузлі t^N використовувалися як початкові умови для вирішення рівнянь руху наступного етапу.

- [1] Surianinov, M., Shyliaiev, O. (2018). Calculation of plate-beam systems by method of boundary elements. International Journal of Engineering and Technology(UAE). Vol. 7(2). P. 238–241. DOI: 10.14419/ijet.v7i2.23.11927 V.
- [2] Fomin, V., Bekirova, M., Surianinov, M., Fomina, I. (2019). Nonlinear dynamic analysis of a reinforced concrete frame by the boundary element method. Materials Science Forum, 968 MSF. P. 383- 395.
- [3] Shapoval, A. and Shapoval, A. (2002). Development of the unit for multi -stage vibration drawing of metal products. Tsvetnye Metally. Vol. 4. P. 77–82.
- [4] Hrudkina, N.S., Markov, O.E., Shapova, I. A.A., Titov, V.A., Aliiev, I.S., Abhari, P., Malii, K.V. (2022). Mathematical and Computer Simulation for the Appearance of Dimple Defect by Cold Combined Extrusion FME Transactions. Vol. 50(1). P. 90–98.
- [5] Pavlenko, D.V., Belokon', Y.O., Tkach, D.V. (2020). Resource-Saving technology of manufacturing of semifinished products from intermetallic γ -TiAl alloys intended for aviation engineering. Materials Science. Vol. 55(6). P. 908–914.
- [6] Kruzhilko, O., Volodchenkova, N., Maystrenko, V., Bolibrukh, B., Kalinchyk, V.P., Zakora, A., Feshchenko, A. and Yeremenko, S. (2021). Mathematical modelling of professional risk at Ukrainian metallurgical industry enterprise. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol. 1(108). P. 35–41.
- [7] Sereda, B., Zharebtsov, A., Belokon', Y. (2010). The modeling and processes research of titan aluminides structurization received by SHS technology. TMS Annual Meeting. P. 99–105.
- [8] Sereda, B., Sereda, D., Belokon, Y. (2015). Investigation of corrosion and oxidation of γ -TiAl alloys obtained in self propagating high temperature synthesis. Materials Science and Technology Conference and Exhibition. 2015. Vol. 2. P. 1249–1255

MODEL OF DYNAMIC INTERACTION BETWEEN PIPE AND PIPE GRID

The article presents a model of the flat stress state of the pipe - pipe grid system, in which all interaction processes are caused by an impulse load uniform over the surface of the pipe. The dynamic behavior of the connected parts is described by a system of equations – motion, continuity, energy balance, and stress-strain coupling under the appropriate initial and boundary conditions. The equations of state determine the relationship between the deformed state parameters. The spherical and deviatoric parts of the stress and strain tensors are considered. To ensure the plastic flow condition Von Mises plasticity criterion is applied. Artificial viscosity was used to combat the numerical instability of the solution and simulate viscous flows. Boundary, initial, as well as contact conditions are given. The system of equations was solved using the Wilkins model. The stages of deformation are considered, during the free pipe distribution and at the collision moment. The obtained model allows calculating the flaring parameters based on numerical methods. Two types of cells were used for modeling, differing in the number of surrounding holes. Using the division of the pipe fragment in the radial and latitudinal directions, the minimum and maximum grid models were obtained. The tension estimate was performed by averaging the values of the displacement and contact pressure functions over a time interval significantly longer than the oscillation periods when the parts being joined. A procedure for numerical solving the motion equations was carried out, consisted of sequentially determining, starting from the initial conditions, the value of the velocity at the next node, then the displacement function in the half-integer, and so on until the end of the stage of free or separate motion. A computational process for determining the deformation function and rate of the deformation function at time nodes using finite-difference expressions was performed.

УДК 614.841.33:373.2

УТОЧНЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ДІТЕЙ ДОШКІЛЬНОГО ВІКУ ПІД ЧАС ЕВАКУАЦІЇ ПРИ ПОЖЕЖІ

Щолоков Е.Е.

Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси

Забезпечення евакуації дітей із будівель закладів дошкільної освіти є одним із питань пожежної безпеки таких об'єктів. Особливість цих будівель полягає в тому, що під час евакуації значна частина осіб потребує організованого супроводу з боку дорослих. Діти раннього та дошкільного віку мають різну швидкість пересування, різний рівень організованості руху, а також різну реакцію на сигнал оповіщення та зміну умов перебування.