



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК
УКРАЇНИ

Інститут проблем машинобудування
ім. А. М. Підгорного

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ
МАШИНОБУДУВАННЯ**

КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СПЕЦІАЛІСТІВ

Тези доповідей

Харків 2024

УДК 621.001.5/.18:061.2/4

Сучасні проблеми машинобудування.

Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів.

Друкується за рішенням Вченої ради Інституту проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, протокол № 5 від 16.05.2024 р.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

академік НАНУ Русанов А. В. – голова

чл.-кор. НАНУ Аврамов К. В.

чл.-кор. НАНУ Костіков А. О.

чл.-кор. НАНУ Кравченко О. В.

чл.-кор. НАНУ Розов В. Ю.

чл.-кор. НАНУ Стоян Ю. Г.

чл.-кор. НАНУ Тарелін А. О.

чл.-кор. НАНУ Шубенко О. Л.

д.т.н. Авраменко А. М.

д.т.н. Кузнецов Б. І.

д.т.н. Максименко-Шейко К. В.

д.т.н. Сметанкіна Н. В.

д.т.н. Соловей В. В.

д.т.н. Стрельнікова О. О.

д.т.н. Тарасова В. О.

д.т.н. Угрімов С. В.

д.т.н. Чугай А. М.

к.т.н. Дегтярьов К. Г. – заступник голови



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК
УКРАЇНИ

Інститут проблем машинобудування
ім. А. М. Підгорного

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ
МАШИНОБУДУВАННЯ**

КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СПЕЦІАЛІСТІВ

Тези доповідей

Харків 2024

ДИНАМІЧНА МІЦНІСТЬ ЗАХИСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ГІБРИДНОГО ФІБРОБЕТОНУ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ СТИСКАННІ

Васечко В. Ю., аспірант

*ІПМаш НАН України, відділ нелінійної механіки
та математичного моделювання*

Бетон є одним з найбільш широко використовуваних матеріалів в цивільному будівництві, особливо для захисних конструкцій, які піддаються різним ударам і вибухам. Серед фібробетонів (FRC) гібридний фібробетон (HFRC) є перспективним типом, який поєднує два або більше видів волокон з різними характеристиками для досягнення синергетичного ефекту.

У доповіді розглянуто підхід до моделювання процесів високошвидкісного деформування й руйнування захисних блоків з гібридного фібробетону під дією ударної хвилі. Він ґрунтується на застосуванні рівняння стану у вигляді:

$$\sigma_{eq} = E(T_0) \varepsilon_y^{st} \left[1 + \left(\frac{1}{D} \frac{\partial \varepsilon_{eq}}{\partial t} \right)^{\frac{1}{n}} \right] +$$

$$+ \sigma_y^{st} \left(\frac{\varepsilon_{eq}}{\varepsilon_y^{st}} - \left[1 + \left(\frac{1}{D} \frac{\partial \varepsilon_{eq}}{\partial t} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \right)^m \cdot \left(1 - \left(\frac{T - T_k}{T_p - T_k} \right)^r \right),$$

де швидкість деформації знаходиться за формулою:

$$\frac{\partial \varepsilon_{eq}}{\partial t} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{\partial e_{ij}(t)}{\partial t} \cdot \frac{\partial e_{ij}(t)}{\partial t}} \quad (2)$$

Найважливішою проблемою математичного моделювання цього класу задач є врахування всіх фізичних факторів, які впливають на

процес деформування. Запропоновано тривимірну модель динамічного напружено-деформованого стану елементів конструкцій під дією імпульсного навантаження. Вона дозволяє на основі емпіричних динамічних механічних властивостей гібридного фібробетону, армованого сумішами зношених шин і скловолокна, визначати напружено-деформований стан захисних блоків під дією ударної хвилі.

Чисельно досліджено блок з розмірами 400 мм × 200 мм × 50 мм. Чисельні дослідження виконано методом скінченних елементів. Результати отримано для динамічної та квазістатичної моделей. Виявлено, що динамічне напруження захисних блоків з фібробетону є меншим за квазістатичне напруження.

ДЕФОРМУВАННЯ ТРИШАРОВИХ ПЛАСТИН І ЦИЛІНДРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ІЗ СТІЛЬНИКОВИМ ЗАПОВНЮВАЧЕМ

Маршуба І. С., аспірант

*ІПМаш НАН України, відділ нелінійної механіки
та математичного моделювання*

Застосування тришарових тонкостінних конструкцій із стільниковим заповнювачем, виготовленим адитивними технологіями, має кардинальні переваги порівняно з конструкціями традиційних матеріалів: істотно спрощує технології виготовлення стільникових заповнювачів; такі багатошарові конструкції мають велику міцність і жорсткість при малій вазі. Багато елементів ракет і безпілотних літальних апаратів мають форму пластин і циліндричних панелей. Втрата статичної стійкості тонкостінних елементів літальних апаратів зазвичай досліджується під час проектування.

У доповіді розглянуто різні підходи до чисельного моделювання процесів деформування та втрати стійкості зазначених конструкцій. Розроблено розрахункові моделі в програмній системі ANSYS для визначення критичного тиску та форми втрати стійкості при позовжньому та радіальному навантаженні. Перша розрахункова модель

ґрунтується на точній геометричній моделі стільникового заповнювача з механічними властивостями:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx}^{(j)} \\ \sigma_{\varphi\varphi}^{(j)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{C}_{11} & \bar{C}_{12} \\ \bar{C}_{12} & \bar{C}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx}^{(j)} \\ \varepsilon_{\varphi\varphi}^{(j)} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\sigma_{x\varphi}^{(j)} = 2\bar{C}_{66}\varepsilon_{x\varphi}^{(j)}, \sigma_{xz}^{(j)} = 2\bar{C}_{55}\varepsilon_{xz}^{(j)}, \sigma_{\varphi z}^{(j)} = 2\bar{C}_{44}\varepsilon_{\varphi z}^{(j)}, j = b, t,$$

а друга – на моделі гомогенізованого шару з механічними властивостями:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx}^{(c)} \\ \sigma_{\varphi\varphi}^{(c)} \\ \sigma_{zz}^{(c)} \\ \sigma_{\varphi z}^{(c)} \\ \sigma_{xz}^{(c)} \\ \sigma_{x\varphi}^{(c)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx}^{(c)} \\ \varepsilon_{\varphi\varphi}^{(c)} \\ \varepsilon_{zz}^{(c)} \\ \varepsilon_{\varphi z}^{(c)} \\ \varepsilon_{xz}^{(c)} \\ \varepsilon_{x\varphi}^{(c)} \end{bmatrix},$$

Представлено результати досліджень нелінійного деформування під дією тиску в поздовжньому та радіальному напрямках, величина якого близька до величини критичного тиску. Вони показали, що при впливі на зовнішній шар тиску величиною до 72 % від критичного, результати розрахунків за двома моделями близькі.

КОМПУНУВАННЯ М'ЯКИХ 3D ОБ'ЄКТІВ У ЦИЛІНДР МІНІМАЛЬНОГО ОБ'ЄМУ

Мелашенко О. П., аспірантка

ІПМаш НАН України, відділ нелінійної механіки та математичного моделювання

Задачі розміщення геометричних об'єктів, що можуть змінювати свою просторову форму під впливом зовнішніх сил, за умови збереження їх об'єму (м'яких об'єктів), мають широкий спектр застосувань, зокрема, у геології, матеріалознавстві, медицині, біології, логістики.

Розглянуто задачу оптимізації компонування n м'яких опуклих багатогранників зі змінними параметрами розміщення та змінними параметрами еластичності. Доведено, що запропоноване перетворення еластичності зберігає об'єм кожного м'якого багатогранника.

Запропоновано відповідні засоби математичного моделювання умов розміщення м'яких багатогранників у вигляді квазі- ρ -функцій для опису умов неперетину та ρ -функцій для опису умов включення.

Побудовано математичну модель задачі як модель нелінійного програмування.

Запропоновано стратегію розв'язання, яка включає три основних етапи. На першому етапі формується множина допустимих стартових точок із застосуванням гомотетичних перетворень об'єктів. Другий етап реалізує пошук локальних мінімумів задачі для кожної стартової точки, отриманої на першому етапі із застосуванням метода декомпозиції та солвера IPOPT. На третьому етапі вибирають найкращий із отриманих на другому етапі розв'язків.

Наведені результати обчислювальних експериментів.

Приклад. Компонування $n = 84$ м'яких пірамід P_i , $i \in I = \{1, \dots, n\}$, зі змінними коефіцієнтами еластичності $1 \leq \mu_i \leq 2$, та параметрами руху $u_i \in R^6$, $i \in I$, у циліндр $C = \{(x, y, z) : x^2 + y^2 + z^2 - r^2 \leq 0, 0 \leq z \leq h\}$ з радіусом основи $r = 3.34$. Метою є мінімізація висоти h за умови збереження

об'єму пірамід.

На рис. 1 наведено локально-оптимальні розміщення оригінальних (рис. 1а) та м'яких багатогранників (рис. 1б) та відповідні значення цільової функції.



Рис. 1. Оптимізовані компоновки: а) оригінальних багатогранників, $h^* = 6.69$; б) м'яких багатогранників, $h^* = 6.24$.

АНСАМБЛЕВІ АЛГОРИТМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ НИЗЬКОЇ ЯКОСТІ

Конюхов В. Д., аспірант

ІПМаш НАН України, відділ вібраційних і термоміцнісних досліджень

Сегментація зображень низької якості є вкрай актуальним питанням в наш час. Використання ансамблів нейронних мереж в задачах сегментації є важливим компонентом розвитку сучасних методів комп'ютерного зору. Використання ансамблевого підходу в задачах сегментації зображень дало змогу продемонструвати покращення точності сегментації завдяки комбінуванню передбачень декількох моделей.

В доповіді розглядається новий ансамблевий алгоритм сегментації, а саме – алгоритм усереднення форм об'єктів. Даний алгоритм використовується для комбінації результатів передбачень від моделей, які використовуються в ансамблі. В основі цього алгоритму лежить функція трансформації відстані, яка використовується для обчислення відстані від пікселя об'єкта до найближчого пікселя фону на бінарному зображенні.

Алгоритм починається з того, що спочатку для маски відбувається обчислення трансформації відстані, яка потім записується в відповідну матрицю, котра відповідає розмірам маски:

$$dm(mask) = dt(mask) - dt(\neg mask), \quad (1)$$

На наступному етапі відбувається процес додавання всіх матриць відстаней для використаних масок:

$$dm_{all} = \sum_{i=1}^n dm(mask_i), \quad (2)$$

Завдяки цьому отримуються нульові перетини на краях масок. Після того, як було виконано операції додавання для всіх масок, отримуємо dm_{all} , в якому пікселі, які відносяться до фону, мають значення від'ємне, пікселі на краях масок дорівнюють нулю, а пікселі об'єкта мають позитивні значення.

Останній етап – це створення комбінованого передбачення:

$$I_{avg} = (dm_{all} > 0) \times 255, \quad (3)$$

Таким чином, вираження $dm_{all} > 0$ перетворює всі пікселі, які мають значення більше нуля в 1, а фон перетворюється в 0. В результаті отримано бінарне зображення з агрегованим об'єктом. Для отримання зображення в градаціях сірого, всі пікселі необхідно нормалізувати, помноживши їх на 255.

Розглянутий ансамблевий алгоритм усереднення форм об'єктів, продемонстрував підвищення точності в порівнянні з іншими алгоритмами на декількох нейронних мережах. В результаті експериментів було отримано наступні значення покращення: для RAUNet 3.53 %; для Inception 4.68 %; для FastUnet 1.74 %; для SwinUnet 2.30 %. Це підтверджує ефективність використання запропонованого алгоритму в комбінації з цими нейронними мережами.

УДОСКОНАЛЕННЯ РУХОВОГО МЕХАНІЗМУ ДВИГУНА СТІРЛІНГА

Грінченко Д. Д., аспірант

ІПМаш НАН України, відділ моделювання та ідентифікації теплових процесів в енерготехнологічному обладнанні

Двигун Стірлінга – специфічний тепловий двигун, що працює за ізохорно-ізотермічним циклом з певним ступенем регенерації теплоти в ізохорних процесах. Він має «зовнішнє» підведення теплоти до робочої речовини від камери згоряння або іншого гарячого джерела.

Проведено термодинамічний аналіз циклу Стірлінгу при варіюванні робочої речовини (гелій, водень, повітря). Можливість використання різних природних речовин пов'язана з тим, що двигун працює за замкнутою схемою без витрати робочої речовини. Показано, що на термодинамічну ефективність впливає менший у порівнянні з двигуном внутрішнього згоряння ступінь стиснення робочої речовини. Крім того, особливостями двигуна Стірлінга є невисокі максимальні температури циклу, що суттєво впливає на їх ефективність.

Необхідність реалізації ізохорних та ізотермічних процесів у цих двигунах викликає подальшого удосконалення конструкції двигуна. Це, по-перше, стосується поршневої системи та передачі до валу двигуна з метою зменшення механічних втрат.

Двигуни Стірлінга традиційно використовують кривошипно-шатунний механізм для перетворення поступального руху поршня в обертальний рух вала. Однак така конструкція має суттєві недоліки, зокрема нерівномірне передавання зусилля на вал та втрати енергії. В роботі запропоновано альтернативний механізм на основі кулачково-копірної передачі, що усуває ці проблеми та підвищує ефективність роботи двигуна.

Запропонований механізм складається з поршня, який здійснює зворотно-поступальний рух, та вала з проточкою, форма якої забезпечує стабільний кут зусилля протягом більшої частини ходу поршня. Передача зусилля здійснюється через ролик, закріплений на поршні та переміщуваний у проточці вала. Така конструкція забезпечує більш рівномірне передавання моменту на вал, що підвищує ефективність роботи двигуна Стірлінга.

Основними перевагами винаходу є:

- більш рівномірний крутний момент вала;
- зменшення втрат енергії;
- зниження рівня вібрацій завдяки відсутності шатунів;
- компактність конструкції завдяки коаксіальному розташуванню поршня та вала.

Таким чином, впровадження кулачково-копірного механізму у двигун Стірлінга дозволяє значно підвищити ефективність його роботи та знизити енергетичні втрати.

ЕНТРОПІЙНО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН НА CO₂, ЩО ПРАЦЮЮТЬ ЗА ТРАНСКРИТИЧНИМ ТА ДОКРИТИЧНИМ ЦИКЛАМИ

Шафоростов Д. Д., аспірант

ІПМаш НАН України, відділ моделювання та ідентифікації теплових процесів в енерготехнологічному обладнанні

У сучасних енергетичних установках все більше уваги приділяється використанню вуглекислого газу (CO₂) як робочого тіла, зокрема, що працюють за транскритичним і докритичним циклами. Вибір конкретного циклу визначається термодинамічними характеристиками процесу та ефективністю використання енергії.

Транскритичний та докритичний цикли роботи машин на CO₂ мають суттєві відмінності, що впливають на їхню ефективність та конструктивні особливості. У докритичному циклі чітко виражені процеси випаровування та конденсації, тоді як у транскритичному циклі зона конденсації замінюється процесом газоохолодження. Це змінює теплопередачу, робочі параметри системи та енергетичні втрати.

Однією з основних відмінностей між цими режимами є особливості теплообмінних процесів. У докритичному циклі традиційна зона випаровування та конденсації забезпечує ефективний теплообмін, тоді як у транскритичному циклі газоохолодження у надкритичному стані робочого тіла змінює характер теплообміну.

Розглядається стаціонарний режим роботи циклічної механічної холодильної машини.

У даній роботі проведено ентропійно-статистичний аналіз машин, що працюють на CO₂, для обох циклів.

Дослідження базується на другому законі термодинаміки, включаючи оцінку ентропійних втрат у циклі, які пов'язані з внутрішнім гідравлічним опором ΔS_{int} , та тепловими втратами у навколишнє середовище ΔS_{leak} :

$$\frac{1}{COP} = -1 + \frac{T_{cond}}{T_{evap}} - \frac{T_{cond} \Delta S_{int}}{Q_{evap}} + \frac{T_{cond} \Delta S_{leak}}{Q_{evap}}$$

де COP – холодильний коефіцієнт холодильної машини; T_{evap} , T_{cond} – температури холодоагенту у випарнику та конденсаторі, відповідно; Q_{evap} – холодопродуктивність.

Отримані результати дозволяють визначити оптимальні параметри роботи таких машин з точки зору термодинамічної ефективності.

Зокрема, встановлено, що транскритичний цикл є більш ефективним при високих температурах навколишнього середовища, тоді як докритичний цикл має перевагу за нижчих температур.

Для підвищення ефективності слід враховувати втрати енергії, зменшувати гідравлічний опір та вдосконалювати теплообмінні апарати.

АНАЛІЗ ТЕПЛОФІКАЦІЙНОЇ ПАРОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ ТЕЦ ЗА ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ТА ЕКСЕРГЕТИЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Мазур А. О., аспірант

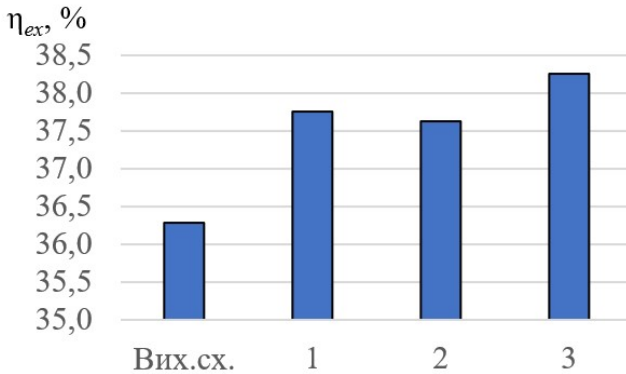
ІПМаш НАН України, відділ моделювання та ідентифікації теплових процесів в енерготехнологічному обладнанні

В роботі проведено аналіз теплової схеми теплофікаційної паротурбінної установки (ПТУ) електричною потужністю 20 МВт за енергетичними та ексергетичними показниками, який дозволив визна-

чити елементи з високою ексергетичною вартістю. Ексергетична вартість кожного елемента визначається як відношення ексергетичного палива елемента до його продукту. В свою чергу як паливо елемента приймається зниження величини потоку ексергії при проходженні крізь нього, а як продукт – підвищення цієї величини.

Найбільша ексергетична вартість спостерігається у енергетичному котлі, але її можна знизити шляхом зниження деструкції ексергії в інших елементах. Тому як елемент з найбільшим потенціалом підвищення ефективності ПТУ обрано мережевий підігрівач, що обігрівается парою високого тиску з першого відбору частини турбіни середнього тиску (ЧСТ). Другим елементом обрано мережевий підігрівач що обігрівается парою низького тиску з другого відбору частини турбіни низького тиску (ЧНТ).

Розглянуто варіанти теплової схеми теплофікаційної ПТУ, в яких варіювались параметри пари у відборах турбіни (тиск, витрата). На рисунку 1 наведено порівняння ексергетичних ККД трьох варіантів теплової схеми ПТУ.



Вих.сх. – вихідна схема, 1,2,3 – варіанти теплової схеми ПТУ

Рис. 1. Ексергетичний ККД ПТУ

Показано, що при зниженні тиску та зменшенні витрати пари у першому відборі, а також зниженні тиску пари та підвищенні витрати пари у другому відборі вартість ексергетичних потоків у мережевих підігрівачах знижується майже на 5 %, ексергетичний ККД ПТУ під-

вищується на 2 %, а електричний ККД установки зростає на 2,16 % відносно вихідної схеми.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО СТАНУ ПРИМІЩЕННЯ ПРИ ЗМІННИХ ЗОВНІШНІХ І ВНУТРІШНІХ ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Горбатюк Д. А., аспірант

ІПМаш НАН України, відділ моделювання та ідентифікації теплових процесів в енерготехнологічному обладнанні

Одним із способів зниження енергозатрат під час забезпечення необхідного мікроклімату приміщення є вибір оптимального режиму роботи опалювальних пристроїв. Така задача оптимізації має ґрунтуватися на математичній моделі нестационарних теплових процесів в приміщенні і огорожувальних конструкціях. Оскільки під час розв'язання задачі оптимізації багатократно розв'язується пряма задача, то математична модель теплових процесів повинна бути такою, що відповідна пряма задача не потребує багато комп'ютерного часу.

У доповіді розглянуто різні підходи до моделювання теплового стану приміщень. Запропоновано використовувати гібридну модель, яка поєднує в собі нульвимірне нестационарне рівняння теплового стану повітря в приміщенні:

$$c_p \rho (T_B) V \frac{dT_B(t)}{dt} = Q_{пр}(t) + Q_{доп}(t) - \sum_{i=1}^{n_n} Q_{ni}(t) - \sum_{i=1}^{n_h} Q_{hi}(t) - Q_B(t) \quad (1)$$

та одновимірні нестационарні рівняння теплопровідності для кожної огорожувальної конструкції:

$$c_i \rho_i \frac{\partial T_{ni}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_i \frac{\partial T_{ni}}{\partial x} \right), \quad 0 < x < L_i, \quad t > 0 \quad (2)$$

На зовнішніх поверхнях огорожувальних конструкцій задаються граничні умови третього роду з урахуванням змінної у часі тем-

ператури навколишнього повітря. На внутрішніх поверхнях огорожувальних конструкцій аналогічні граничні умови дозволяються зв'язати рівняння (1) і (2) через величини $Q_i(t)$, які описують змінну у часі кількість тепла, що надходить з приміщення в i -ту огорожувальну конструкцію.

Запропонована математична модель дозволяє розрахувати зміну у часі температуру повітря в приміщенні $T_{in}(t)$ і нестационарний розподіл температури в огорожувальних $T_{in}(x, t)$ конструкціях.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВІДБОРУ ТЕПЛА З ГЛИБИННИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Самарін І. В., аспірант

ІПМаш НАН України, відділ моделювання та ідентифікації теплових процесів в енерготехнологічному обладнанні

Глибинні гірські породи – це перспективне джерело відновлювальної енергії, що має значний тепловий потенціал. Один із способів відбору такого тепла є прокачування теплоносія скрізь свердловинний теплообмінник, який облаштовано в відпрацьованій нафтовій, або газовій свердловині, що дозволяє уникнути суттєвих капітальних витрат, що пов'язанні з бурінням.

В доповіді розглянуто конструкцію такого теплообмінника, який отримано шляхом спускання у свердловину теплоізолюваної колони труб. При цьому в кільцевий простір між обсадною трубою та теплоізолюваною колоною подається з поверхні землі холодний теплоносій. Проходячи до забою, він поступово відбирає тепло від гірської породи, після чого повертається на поверхню крізь внутрішню трубу.

Для моделювання теплових процесів, що відбуваються в такому свердловинному теплообміннику складено математичну модель, в основі якої є нестационарне двовимірне осесиметричне рівняння теплопровідності для гірської породи, що оточує свердловину

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (1)$$

та квазістаціонарне рівняння енергії, яке записано окремо для потоків теплоносія, що спускається і що підіймається

$$w_1 \rho c r_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = 2k(T_1(\tau, z) - T_2(\tau, z)), \quad (2)$$

$$w_2 \rho c (r_3^2 - r_2^2) \frac{\partial T_2}{\partial z} = 2r_3 \alpha (T(\tau, r_4, z) - T_2(\tau, z)) + 2r_2 k (T_2(\tau, z) - T_1(\tau, z)).$$

Спряження рівнянь (2) з рівнянням (1) відбувається через граничні умови третього роду. Коефіцієнт тепловіддачі в ньому, а також коефіцієнт теплопередачі через теплоізольовану колону розраховується виходячи з критеріальних рівнянь конвективного теплообміну під час течії в трубах.

Така математична модель дозволяє розрахувати нестационарні одновимірні поля температур теплоносія T_1 і T_2 , та двовимірне поле температури гірської породи, що піддається зворотному тепловому впливу свердловинного теплообмінника.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПЕРЕГОРОДОК НА КОЛИВАННЯ РІДИНИ В ЖОРСТКИХ РЕЗЕРВУАРАХ

Колодяжний А.С., аспірант

*ІПМаш НАН України, відділ термогазодинаміки енергетичних
машин*

Метою дослідження є розробка числового методу для оцінки впливу горизонтальних перегородок на демпфування коливань рідини в жорстких оболонках обертання, що зазнають інтенсивних вертикальних та горизонтальних навантажень. Припускається, що рідина, яка заповнює оболонку, є ідеальною та нестисливою, а її рух, спричинений дією навантажень, є безвихровим. За таких припущень існує потенціал швидкостей рідини, що задовольняє рівнянню Лапласа. Оболонка знаходиться під впливом зовнішніх сил, які можуть спричинити резонансні явища. Якщо частота сили що змушує наближається до власних частот коливань рідини, відбувається значне зростання амплітуди коливань, що може негативно впливати на стійкість конструкції.

Для зменшення амплітуди коливань у резервуарі встановлені горизонтальні перегородки, що виконують роль демпфувальних елементів. Наявність перегородок змінює спектр власних частот рідини, що дозволяє здійснювати цілеспрямоване налаштування системи з метою уникнення небажаних резонансних ефектів.

Числове моделювання коливань рідини в резервуарі проводиться із застосуванням методу під-областей, зокрема методу граничних суперелементів. Сформульовано мішану крайову задачу відносно потенціалу швидкостей для розрахункової області, яка розділена на під-області. У кожній під-області потенціал швидкостей задовольняє рівнянню Лапласа. На жорстких границях області накладаються умови непротікання, а на вільній поверхні рідини виконуються кінематична та динамічна граничні умови. Додатково на поверхнях поділу між під-областями вводяться умови сумісності для забезпечення коректності розв'язку.

Для знаходження невідомого потенціалу швидкостей використовується третя формула Гріна, що дозволяє звести крайову задачу до системи сингулярних інтегральних рівнянь.

$$2\pi\phi(z_0) + \int_{\Gamma} \phi(z)\Theta(z, z_0)r(z)d\Gamma - \int_0^R q(\rho)\Phi(\rho, \rho_0)\rho d\rho = 0$$

Числове розв'язання здійснено із застосуванням методу граничних елементів.

Отримані числові результати підтверджують, що плескання рідини в резервуарі можна ефективно контролювати за допомогою перегородок. При цьому ефективність демпфування суттєво залежить від геометричних параметрів перегородок, зокрема їхньої форми, розташування та кількості.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ АНІЗОТРОПНОГО СТЕРЖНЯ ПРИ УДАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Ярещенко О. В., аспірант

ІПМаш НАН України, відділ вібраційних і термоміцнісних досліджень

Однією із головних задач при проектуванні конструкцій є збільшення їх міцності й надійності при одночасному зменшенні ваги, що дозволяє підвищити корисне навантаження літальних апаратів. Цього можна досягти за рахунок використання нових матеріалів, які зазвичай характеризуються анізотропією механічних властивостей. У ряді випадків (експлуатаційні або вибухові силові впливи, різні аварійні ситуації) на конструкцію діють інтенсивні ударні навантаження. Для раціонального проектування й аналізу роботи конструкцій при різноманітних динамічних навантаженнях необхідно знати механічні властивості матеріалів, з яких ці конструкції виготовлені, при високих швидкостях деформації. Визначення динамічних механічних властивостей матеріалів проводиться за результатами експериментальних досліджень дослідних зразків, які мають вид стержня, що має прямокутний або круглий перетин, при ударному навантаженні.

Для визначення процесу деформування анізотропних зразків при ударному навантаженні розглянуто дві математичні моделі стержня із довільною анізотропією: класичну модель та модель Релея.

Із використанням варіаційного принципу Остроградського-Гамільтона отримано визначальні рівняння для кожної моделі.

Постановка класичної задачі подібна запропонованій С. Г. Лехніцьким. У результаті визначальні рівняння мають вид

$$\phi \frac{\partial^2 u_3}{\partial x_3^2} - \rho \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2} = P(t),$$

де $\phi = A_{31}\xi_1 + A_{32}\xi_2 + A_{33} + A_{34}\xi_4 + A_{35}\xi_5 + A_{36}\xi_6$, A_{ij} – модулі пружності.

Модель Релея, як і класична теорія, базується на гіпотезі плоских перетинів. Однак, на відміну від класичної стрижневої моделі, во-

на враховує інерцію не лише поздовжнього руху, але й поперечного. У класичній стрижневій моделі припускається, що всі компоненти деформацій не залежать від площинних координат x_1, x_2 . У моделі Релея вважається, що тільки ε_{33} не залежить від координат x_1, x_2 . У результаті розв'язуюче рівняння має вид

$$\phi \frac{\partial^2 u_3}{\partial x_3^2} - \rho \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2} + \frac{\rho R^2}{4} (\xi_1^2 + \xi_2^2) \frac{\partial^4 u_3}{\partial x_3^2 \partial t^2} = P(t).$$

Отримане рівняння відрізняється від класичного рівняння руху тільки наявністю додаткового третього доданка, який описує вплив інерції поперечного руху стрижня. Для ізотропного стержня це рівняння було отримано Релеєм.

АНАЛІЗ МІЦНОСТІ КОМПОЗИТНОГО ОБТІЧНИКА ЛІТАКА В УМОВАХ ЗІТКНЕННЯ З ПТАХОМ

Руденко Т. М., аспірантка

ІПМаш НАН України, відділ вібраційних і термоміцнісних досліджень

Моделювання зіткнень літаків з птахами є одним із найбільш актуальних напрямків сучасних досліджень. За даними Міжнародної організації цивільної авіації, найчастіше через зіткнення з птахами пошкоджуються двигун і крило літака, лобове скло, обтічник, фюзеляж, стабілізатор, фара і шасі. На цей час для аналізу міцності використовуються емпіричні залежності, засновані на результатах експериментів і натурних випробувань. Але вони мають ряд обмежень і отримані для регулярних конструкцій, тоді як більш складні конструкції вимагають додаткового аналізу.

В доповіді розглянуто зіткнення птаха з обтічником літака, який виготовлено з легкої сендвіч-композитної конструкції (сендвіч типу А), що складається з кевларового волокна (обшивки) та стільникового внутрішнього шару з полімерного матеріалу Nomex. Товщина шарів обшивки дорівнює 1,5 мм, товщина серцевини – 25 мм. Поверх-

ня обтічника має висоту 1 м і радіусом нижнього кола 0,25 м. Зовнішню форму обтічника описано поворотом лінії, яка задовольняє співвідношення поліноміальної функції.

Для чисельного моделювання шаруватої композитної структури використано оболонкову теорію, а для моделювання впливу птаха - гідродинамічну модель птаха з дискретизацією безсітковим методом гідродинаміки згладжених частинок. Для оцінки міцності конструкції застосовано критерій міцності Цая-Ву. Комп'ютерну реалізацію процесу зіткнення обтічника з птахом виконано в скінченноелементному комплексі.

Досліджено міцність обтічника при попаданні великого одиначного птаха масою 1,85 кг з діаметром тушки 0,114 м і довжиною 0,228 м зі швидкістю 113,6 м/с. Місце зіткнення обтічника з птахом обиралося так, щоб завдати обтічнику найбільшого руйнування.

Порівнювальний аналіз результатів розрахунку напружень з експериментальними даними показав їх якісний збіг, що свідчить про адекватність запропонованої моделі процесу пошкодження обтічника при попаданні птаха.

Таким чином, показано, що застосування засобів обчислювального аналізу дає можливість на етапі проектування зменшити витрати часу та ресурсів за рахунок скорочення кількості необхідних для проходження сертифікації стендових випробувань.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАНЬ РІДИНИ В РЕЗЕРВУАРАХ З ПРУЖНОЮ ОСНОВОЮ ВІНКЛЕРА

Верушкін І. О., аспірант

ІПМаш НАН України, відділ термогазодинаміки енергетичних машин

Метою даного дослідження є розроблення методу розрахунку динамічних характеристик резервуарів для збереження рідини з урахуванням плескань вільної поверхні та впливу пружної основи. Використано метод заданих форм, що дало змогу побудувати базисні функції для дослідження як власних, так і вимушених коливань резервуа-

рів з рідиною. Досліджені динамічні характеристики пружних резервуарів, частково заповнених рідиною, з урахуванням наявності пружної основи Вінклера. Отриманий спектр частот власних коливань буде використано при проектуванні резервуарів для збереження рідини з метою відстроювання від небажаних резонансних частот. Досліджуються коливання циліндричної оболонки на пружній основі Вінклера. Вважається, що резервуар частково заповнений ідеальною нестисливою рідиною. Задача полягає в визначенні частот та форм такої оболонки з врахуванням плескань вільної поверхні та коливань пружного днища. Наявність пружної основи дає змогу наближено враховувати взаємодію з ґрунтом. Побудуємо модель резервуара як жорсткої циліндричної оболонки радіусу R з пружним днищем на пружній основі Вінклера. Вважаємо, що резервуар частково заповнений ідеальною нестисливою рідиною на висоту H . Якщо товщина h однорідної пластинки є сталюю, то рівняння руху пластинки в циліндричних координатах має вигляд

$$D\Delta\Delta w + \rho_p h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + Kw = q(r, \theta, t). \quad (1)$$

Для знаходження тиску зробимо такі припущення: рідина є ідеальною та нестисливою, а її рух безвихровий. В цих умовах існує потенціал швидкостей $\varphi(x, y, z, t)$, який задовольняє рівнянню Лапласа. Таким чином, треба знайти невідомі функції w , φ , ζ , що задовольняють системі диференціальних рівнянь

$$D\Delta\Delta w + \rho_p h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + Kw = -\rho_l \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \quad (2)$$

та граничним умовам

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial \mathbf{n}} \Big|_{S_1} &= 0, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial \mathbf{n}} \Big|_{S_{\text{bot}}} = \frac{\partial w}{\partial t}, \\ \frac{\partial \varphi}{\partial \mathbf{n}} \Big|_{S_0} &= \frac{\partial \zeta}{\partial t}, \quad p - p_0 \Big|_{S_0} = 0, \quad w \Big|_{r=R} = 0, \quad \frac{dw}{dr} \Big|_{r=R} = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Розроблена методика наближеного обчислення впливу ґрунту як пружної основи Вінклера при коливаннях циліндричного резервуара, частково заповненого рідиною, при врахуванні взаємного впливу

коливань рідини та пружного днища. Отримані дані можуть бути використані при проектуванні резервуарів та сховищ рідини в умовах дії інтенсивних силових навантажень.

КОНЦЕПЦІЯ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ ТУРБИНИ ДЛЯ МАНЕВРНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ МАЛОГО МОДУЛЬНОГО РЕАКТОРУ

Третяк С. П., аспірант

ІПМаш НАН України, відділ термогазодинаміки енергетичних машин

Малі модульні реактори (ММР) наразі в основному знаходяться на стадії розроблення. У доповіді приділена увага вкрай актуальному питанню підвищення ефективності енергетичної установки на базі ММР шляхом розроблення структури теплової схеми ПТУ із залученням водневих технологій, що допоможе зменшити залежність від використання викопних вуглеводнів у загальному обсязі первинного палива та уможливить стале функціонування української енергетичної системи, а також сприятиме збереженню й поліпшенню стану довкілля.

У доповіді розглянуто концепцію створення маневрної енергетичної установки (МЕУ) на базі ММР, яка здатна акумулювати електричну енергію. Як найбільш перспективний щодо впровадження у вітчизняну енергетичну галузь було обрано ММР NuScale.

На основі варіаційних розрахунків тривимірних турбулентних течій пари розроблена тривимірна модель облопачування проточних частин ЦВТ та ЦНТ парової турбіни конденсаційної ПТУ у складі МЕУ на базі ММР. Представлено результати і аналіз розрахунків остаточного варіанту нових проточних частин ЦВТ та ЦНТ парової турбіни конденсаційної ПТУ у складі МЕУ на базі ММР. Проточна частина запропонованого відсіку ЦВТ складається з десяти реактивних ступенів, а проточна частина ЦНТ – з п'яти осьових ступенів реактивного типу. За результатами проведених розрахункових досліджень ККД розробленої проточної частини ЦВТ склав 96,65 % на номіналь-

ному режимі та 95,79 % в піковому режимі. ККД розробленої проточної частини ЦНТ склав 95,98 % на номінальному режимі.

ЗМІСТ

Васечко В. Ю. Динамічна міцність захисних конструкцій із гібридного фібробетону при високошвидкісному стисканні.....	2
Маршуба І. С. Деформування тришарових пластин і циліндричних панелей із стільниковим заповнювачем	3
Мелашенко О. П. Компонування м'яких 3D об'єктів у циліндр мінімального об'єму	5
Конюхов В. Д. Ансамблеві алгоритми машинного навчання для сегментації зображень низької якості	6
Грінченко Д. Д. Удосконалення рухового механізму двигуна Стірлінга	8
Шафоростов Д. Д. Ентропійно-статистичний аналіз холодильних машин на CO ₂ , що працюють за транскритичним та докритичним циклами	9
Мазур А. О. Аналіз теплофікаційної паротурбінної установки ТЕЦ за енергетичними та ексергетичними показниками.....	10
Горбатюк Д. А. Математична модель нестационарного теплового стану при-міщення при змінних зовнішніх і внутрішніх теплових навантаженнях	12
Самарін І. В. Математична модель відбору тепла з глибинних гірських порід	13
Колодяжний А. С. Комп'ютерне моделювання впливу перегородок на коливання рідини в жорстких резервуарах	14
Ярещенко О. В. Математична модель процесу деформування анізотропного стержня при ударному навантаженні	16
Руденко Т. М. Аналіз міцності композитного обтічника літака в умовах зіткнення з птахом	17
Верушкін І. О. Комп'ютерне моделювання коливань рідини в резервуарах з пружною основою Вінклера	18
Третяк С. П. Концепція проточної частини турбіни для маневреної енергетичної установки на базі малого модульного реактору	20

Сучасні проблеми машинобудування. Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів, присвяченої Харків, 25-26 червня 2024 р.

Збірка містить тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів "Сучасні проблеми машинобудування", де було представлено роботи аспірантів Інституту проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України.

Розраховано на наукових співробітників, спеціалістів промисловості, докторантів, аспірантів та студентів.

Відповідальний за випуск: Максименко-Шейко К. В.

Оригінал-макет підготовлено групою оргкомітета конференції "Сучасні проблеми машинобудування".

Комп'ютерну верстку виконав: Дегтярьов К. Г.

Підп. до друку 28.06.2024 р. Формат 60x90 1/16. Пап. тип. №1
Ум. друк. арк. 1. Наклад 100 прим. Замовлення №
Ціна договірна
