



Грінченко К. Є.

Ларін О. О.

Національний
технічний університет
“Харківський
політехнічний
інститут”

Grinchenko K. E.

Larin O. O.

National Technical
University “Kharkiv
Polytechnic Institute”

УДК 531.391.3

МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАДКОВИХ КОЛИВАНЬ КОТЛА ЦИСТЕРНИ ПРИ РУСІ НАПІВПРИЧЕПА ПО ДОРОГАМ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У статті представлені результати моделювання випадкових коливань напівпричепа автоцистерни при русі по дорогам загального призначення та дорогам з недосконалим покриттям. За допомогою метода скінченних елементів та методів статистичної механіки визначені імовірнісні характеристики поведінки системи та знайдені небезпечні точки конструкції при різних варіантах навантаження.

Ключеві слова: напівпричеп, випадкові коливання, автоцистерна, МСЕ.

Постановка проблеми. У сучасних умовах питанням перевезення рідких нафтопродуктів приділяється багато уваги. При постійному зростанні кількості перевезень, стає гостре питання щодо безпеки та своєчасності вирішення логістичних проблем. Пошкодження цистерни, що здатні з'являтися під час експлуатації внаслідок накопичення та розвитку втоми або корозії металу призводять до виникнення тріщин та розгерметизації котла цистерни. Така ситуація є вкрай небезпечною та може призвести до надзвичайної аварійно-небезпечної ситуації. Тому питанням розрахунків конструкцій транспортних засобів, що призначені для перевезення нафтопродуктів, з точки зору надійності елементів їх конструкції необхідно приділяти особливо велику увагу. Розвиток методів розрахункового моделювання конструкцій цистерн для оцінки їх міцності і прогнозування надійності як на стадії проектування, так і в умовах експлуатації з метою забезпечення безпечної роботи є актуальним. Аналіз надійності базується на визначенні параметрів напружено-деформованого стану (НДС) конструкції при її експлуатації. Основний силовий вплив, який діє на цистерну є динамічним та пов'язаний із випадковими коливаннями, які реалізуються в системі в процесі руху автоцистерни по дорожньому покриттю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В сучасній технічній літературі приділяється багато уваги питанням дослідження працездатності елементів

конструкції великогабаритних транспортних засобів. Більшість досліджень спрямовані на оцінку втоми та надійності несучих рамних елементів конструкцій.

У цьому сенсі цікавими є роботи Аврамова [1] та Гулімянова [2]. В даних роботах досліджувалися випадкові коливання несучих елементів конструкцій різних транспортних засобів та оцінка їх ресурсу по втомі. В [1] та [2] переконливо показано необхідність адекватності моделювання спектральних показників вібрацій, що супроводжують рух транспортних засобів по дорогам загального призначення. В даних роботах також показано необхідність використання методу скінченних елементів при оцінці параметрів випадкового динамічного напружено-деформованого стану. Розглянуті в роботах моделі є вузько спеціалізовані, а результати придані для оцінки втоми лише конкретних типів та моделей транспортних засобів. Проте підходи та загальні висновки з актуальності питань аналізу втоми колісних транспортних засобів, а також необхідність розв'язання задачі їх випадкових коливань є значно більш загальними та співпадають із задачами та метою даної статті.

Окремо слід розглянути результати робіт, що спрямовані на дослідження працездатності цистерн, які призначені для перевезення нафтопродуктів, оскільки дані цистерни є об'єктом, що досліджується в даній статті. Так, в роботах Шостака [3] представлено підхід до оцінки надійності залізничних цистерн. Виконано аналіз НДС циліндричної оболонки та



еліптичних днищ котла залізничної цистерни при статичному навантаженні та залишкових деформацій котла залізничної цистерни від пошкоджень типу «вм'ятина» і проведено оцінку надійності її елементів при відмовах багато циклової втоми. В роботах [3] також застосовується метод скінченних елементів (МСЕ) для визначення параметрів НДС елементів конструкції, але автори обмежились лише аналізом міцності у детермінованій постановці, що є досить грубим припущенням та в рамках досліджень автоцистерни є неприпустимим.

В роботі Мясницького була виконана оцінка працездатності цистерн несучої конструкції [4], де розглянуто наявні конструкції автоцистерн для перевезення нафтопродуктів та запропоновано метод для оцінки їх працездатності. У методі розглянуто рух напівпричепа при гальмуванні та прискоренні, але не враховується дія навантаження від дороги.

Невирішені частини проблеми. Проведений аналіз робіт, дозволяє

стверджувати, що в зазначених роботах недостатньо уваги приділено визначенню параметрів надійності конструкцій напівпричепів автоцистерн без рамного типу.

Метою дослідження є визначення параметрів надійності конструкцій яке вимагає проведення аналізу випадкових коливань котла автоцистерни.

У даній роботі виконується моделювання випадкових коливань напівпричепа автоцистерни. Напівпричіп складається зі зовнішньої оболонки, внутрішніх хвилерізів, глухих перегородок, люків та опор. Креслення конструкції представлено на рис.1. Напівпричіп має наступні базові розміри: корпус еліптичної форми (менший радіус – 0,964 м, більший – 1,244 м), довжина корпусу цистерни – 11,435 м, висота еліптичних днищ – 0,288 м, товщина стінок прийнята однаковою для усієї конструкції (10 мм). Матеріалом є сталь 09Г2С з наступними механічними властивостями: $[\sigma_r]=178.5$ МПа, модуль пружності $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, щільність $\rho = 7850$ кг/м³, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0.21$.

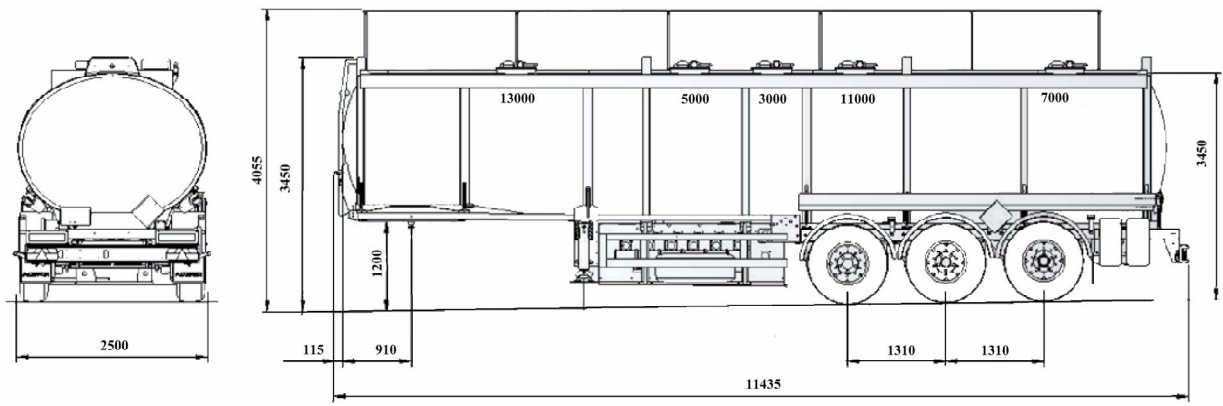


Рис. 1. Креслення напівпричепа автоцистерни [4]

Основні результати дослідження. Рішення задачі випадкових коливань полягає у визначенні ймовірнісних характеристик відгуку системи по заданим ймовірнісним характеристикам навантажень і параметрів системи [5].

З огляду на те, що конструкція напівпричепа автоцистерни є вельми складною. Для визначення параметрів її руху пропонується використовувати МСЕ [6].

Задача вимушених коливань, в тому числі випадкових, в рамках МСЕ зводиться до вирішення наступного рівняння:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [D]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{S(t)\}, \quad (1)$$

де $[M],[D], [K]$ - матриці мас, демпфування та жорсткості відповідно, $\{u\}$ - переміщення системи, $\{S(t)\}$ - зовнішнє навантаження у виді спектру, t - час.

При дослідженні випадкових коливань використовується метод спектральних перетворень. Суть методу полягає розгляді задачі у частотному діапазоні. Для цього навантаження та відгук системи представляється у виді спектрів, що дозволяє перейти від рішення диференційних до лінійних алгебраїчних рівнянь.

Введемо спектральне взаємно зворотне перетворення навантаження:



$$\{S(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \{C_f(\omega)\} e^{i\omega t} d\omega, \quad (2)$$

$$\{C_f(\omega)\} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \{S(t)\} e^{-i\omega t} dt. \quad (3)$$

де ω – частота, на який відбуваються випадкові коливання.

Переміщення системи, що відбувається під час випадкових коливань також представимо у виді спектру, де $C_y(\omega)$ є невідома випадкова функція:

$$\{u\} = \int_{-\infty}^{\infty} \{C_y(\omega)\} e^{i\omega t} d\omega. \quad (4)$$

Підставляючи (2) та (4) у співвідношення (1) отримуємо рівняння для спектрів:

$$[Z(\omega)]\{C_y\} = \{C_f\}, \quad (5)$$

$$[Z(\omega)] = (-\omega^2[M] + i\omega[D] + [K]), \quad (6)$$

де $[Z(\omega)]$ – динамічна матриця жорсткості.

Таким чином, випадкові спектри відгуку системи та навантаження знаходяться у лінійному матричному співвідношенні:

$$\{C_y\} = [Z(\omega)]^{-1} \{C_f\} = [A]\{C_f\}. \quad (7)$$

$[A(\omega)]$ – матриця динамічної податливості може бути знайдена з розкладанням за власними формами [7].

$$[A(\omega)] = [Z(\omega)]^{-1} = \sum_{j=1}^N \{u_j\} \{u_j\}^T H_j(i\omega), \quad (8)$$

де $H_j(i\omega)$ – це передаточна функція, яка є амплітудно-частотною характеристикою при одиничному навантаженні, $\{u_j\}$ – власні форми коливань, $\{u_j\}^T$ – позначено операцію транспонування.

Зв'язок між спектрами відгуку та навантажень, що має аналогічний вид, дозволяє визначити співвідношення між взаємними кореляційними функціями. Взаємних кореляційні функції є детермінованими функціями, що

представляють кореляційні моменти значень функції у сусідні моменти часу:

$$[K_u] = \left\langle \left\{ \begin{matrix} o \\ u(t+\tau) \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} o \\ u(t) \end{matrix} \right\}^* \right\rangle \quad (9)$$

де τ показує проміжок часу між початком відліку часу та часом через який аналізується

вплив, $\left\{ \begin{matrix} o \\ u(t) \end{matrix} \right\}^*$ – позначено комплексне

спряження вектору. Скористаємось виразом (4) для того, щоб перейти до розгляду задачі у спектрі.

$$[K_u] = \left\langle \int_{-\infty}^{\infty} \{C_u\} e^{i\omega(t+\tau)} du \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \{C_u\} e^{-i\xi t} d\xi \right\rangle \quad (10)$$

де ξ – це аргумент спряженої задачі. Після перетворень отримаємо такий вираз матриці кореляційних функцій:

$$[K_u] = \int_{-\infty}^{\infty} [A][S_F(\omega)][A^*] e^{-i\omega\tau} d\tau \quad (11)$$

де $[S_F(\omega)]$ – матриця взаємних спектральних щільностей навантаження.

Використовуючи співвідношення Віннера-Хінчина введено матрицю взаємних спектральних щільностей відгуку системи:

$$[K_u] = \int_{-\infty}^{\infty} [S_u(\omega)] e^{-i\omega\tau} d\tau \quad (12)$$

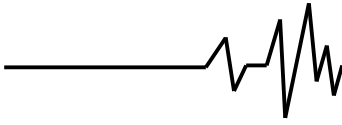
Як видно з виразів (12) та (13) матриця спектральних щільностей відгуку системи знаходиться за формулою:

$$[S_u(\omega)] = [A][S_F(\omega)][A^*]. \quad (13)$$

$[S_F(\omega)]$ в свою чергу у даному випадку дорівнює:

$$[S_F(\omega)] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_q(\omega) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (14)$$

де $S_q(\omega)$ – це спектральна щільність мікропрофілю дороги.



Основним збудником випадкових вібрацій є нерівності дорожньої поверхні, що діють на колеса автоцистерни під час руху.

Мікропрофіль дороги є випадковою функцією протяжності дороги (пройденого шляху x), і його прийнято розглядати як випадкову функцію, що задовольняє наступним припущенням: функція ординати мікропрофілю підпорядковуються нормальному закону розподілу; довжини нерівностей обмежені по верхній і нижній межам; мікропрофіль змінюється випадковим чином тільки в вертикальній поздовжній площині дороги

Достатніми статистичними характеристиками мікропрофіля дороги є його кореляційна функція або спектральна щільність.

Кореляційна функція дає уявлення про зміну мікропрофілю по довжині ділянки дороги (або випадкового коливального процесу в часі), а спектральна щільність дає уявлення про частоту повторення довжин нерівностей (про переважаючих частотах при випадковому процесі). Аргументом спектральної щільності є так звана частота дороги («колійна частота»):

$$\theta = \frac{2\pi}{s}, \quad (15)$$

де s – довжина нерівностей.

Спектральна щільність для асфальтного покриття представляється у такому вигляді[8]:

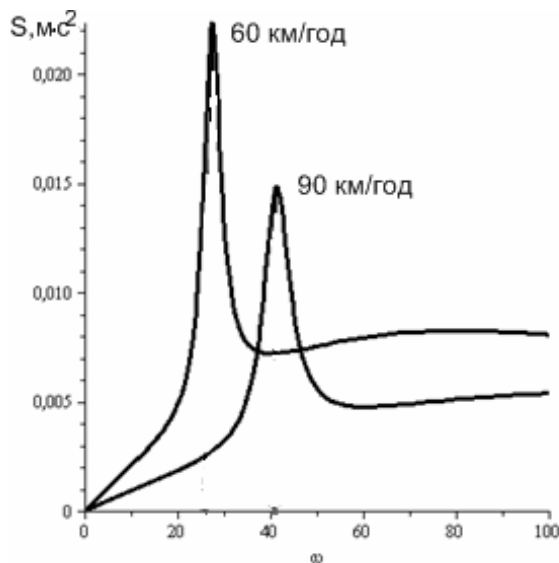
$$S_q(\omega) = \frac{0.00135v}{\omega^2 + 0.04v^2} + \frac{0.00006v(\omega^2 + 0.36v)}{(\omega^2 - 0.36v^2)^2 + 0.0036v^4}, \quad (16)$$

де v – швидкість у м/с.

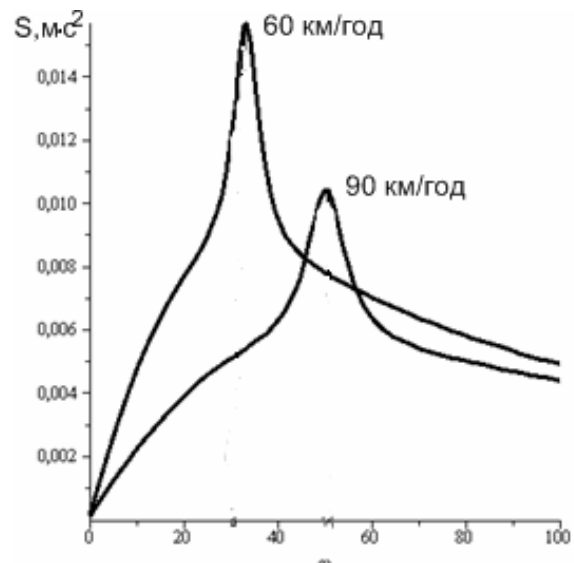
Спектральна щільність для буличного покриття з виступами та западинами у такому вигляді:

$$S_q(\omega) = \frac{0.003375v}{\omega^2 + 0.25v^2} + \frac{0.00025v(\omega^2 + 4v^2)}{(\omega^2 - 4v^2)^2 + 0.64v^4}. \quad (17)$$

Навантаження приводилось на ресори у вигляді спектральної щільності мікропрофілю дороги. При розрахунках було розглянуто чотири варіанти навантаження. Для асфальтного (рис. 2а) та буличного (рис. 2б) покриття на швидкостях 60 км/год та 90 км/год.



(а)



(б)

Рис. 2. Спектральна щільність мікропрофілю дороги при швидкості 60 км/год та 90 км/год (а) на асфальтному та (б) на буличному покриттях авторська розробка

Скінченно-елементна модель. При моделюванні випадкових коливань використовувалась скінченно-елементна модель, яка складається з основного корпусу,

опор та ресор на які приводиться навантаження. СЕ-модель представлена на рисунку 3.

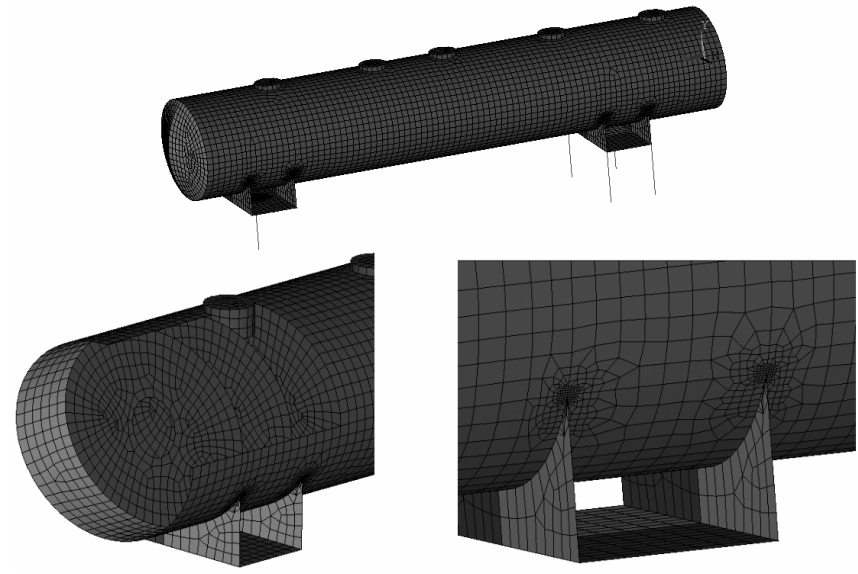


Рис. 3. FE-модель авторська розробка

В області стику опори та основного корпусу є концентратор напруження запропоновано зменшити SE-сітку у цьому місті. Це можна бачити на рис.3

Аналіз власних коливань. Для вирішення задачі випадкових коливань потрібно знайти власні форми власних

коливань як видно з формули (9). Тому був проведений розрахунок власних коливань конструкції та знайдені власні частоти у діапазоні від 0 до 100 Гц. Спектр власних частот достатньо густий. Він представлений на рисунку 4.

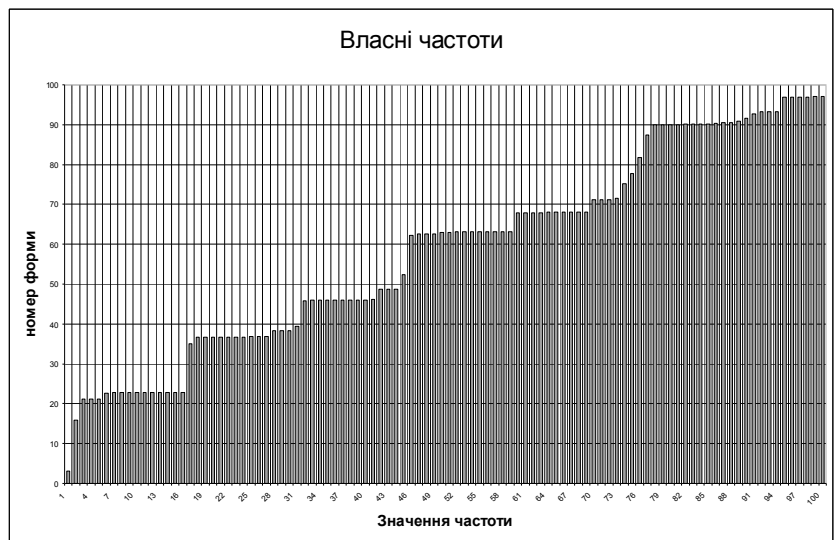


Рис. 4. Графік власних частот авторська розробка

Також на рис.5 представлені деякі форми власних коливань, що відповідають частотам збудження. Аналіз отриманих форм вказує на наявність деформованих форм коливань. Вібрація супроводжується

деформацією котла цистерни (рис. 5а) та локальних деформованих форм (рис. 5б,в,г), за якими збуджуються просторові вібрації лише у локальних частинах конструкції цистерни, наприклад, хвилерізів, люків тощо.

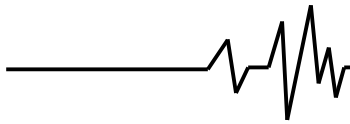
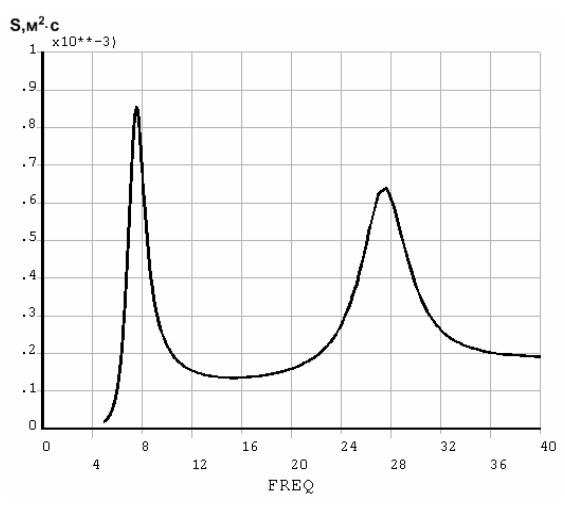


Рис. 5. Форми коливань конструкції
авторська розробка

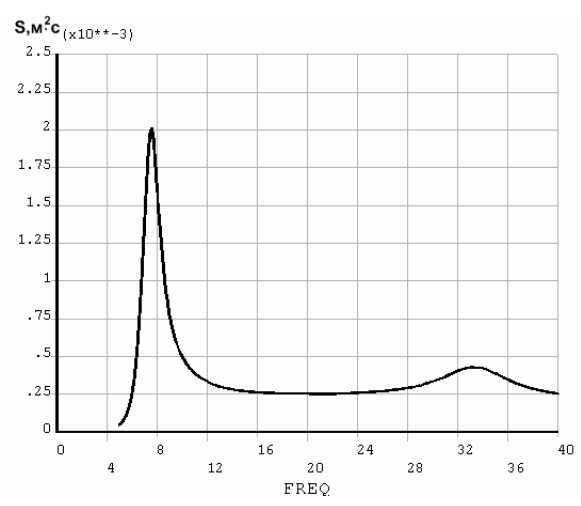
Аналіз випадкових коливань. Першим етапом розрахунку випадкових коливань було визначення спектральної щільності переміщень при всіх типах навантаження. Результати розрахунків зараженні на наступних рисунках.

Після аналізу отриманих результатів можна відзначити, що перший сплеск на графіку спектральної щільності (рис. 6,7) спостерігається на частоті 7.5 Гц, що відповідає значенню першої власної форми коливань конструкції (рис. 5а). Другий сплеск

спостерігається на частоті, що відповідає максимальним рівням збурення з боку дороги. За зазначеними графіками видно, що при русі по асфальтному покритті більші сплески на частоті, що відповідає максимальним рівням збурення з боку дороги, ніж при русі по булижному покритті. Але при русі по булижному покритті значення спектральної щільності більші ніж при русі по асфальтному покритті майже в два рази.



(а)



(б)

Рис. 6. Спектральна щільність переміщень при швидкості 60 км/год
(а) на асфальтному та (б) на булижному покриттях
авторська розробка

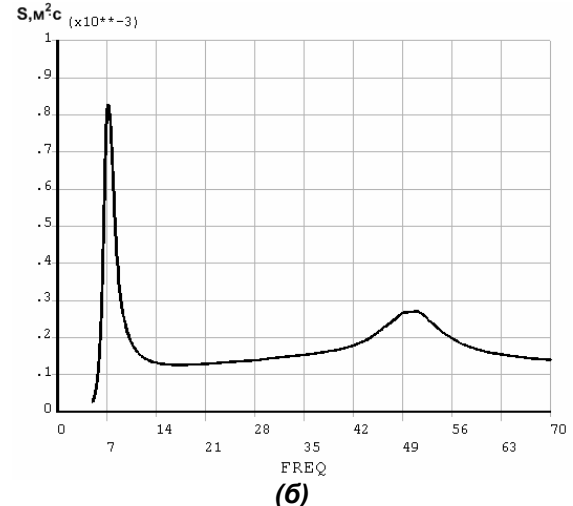
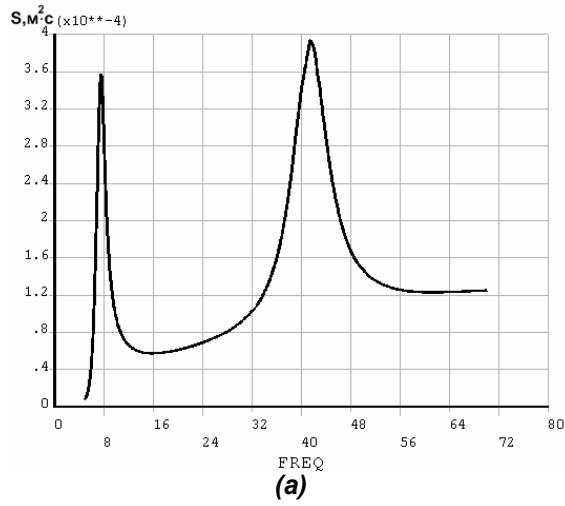
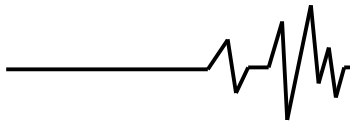


Рис. 7. Спектральна щільність переміщень при швидкості 90 км/год (а) на асфальтному та (б) на булижному покриттях авторська розробка

Також за допомогою отриманих спектральних щільностей можна обчислити середнє квадратичне відхилення (СКВ). З огляду на те, що кореляційна функція при $t=0$ дорівнює дисперсії, використовуючи вираз (13), отримуємо значення дисперсії, квадратний корінь якої у свій час дорівнює СКВ.

$$\{\sigma\} = \sqrt{\int_0^{\infty} \text{diag}[S_u(\omega)] d\omega} \quad (18)$$

При аналізі конструкції отримані СКВ переміщення та напруження.

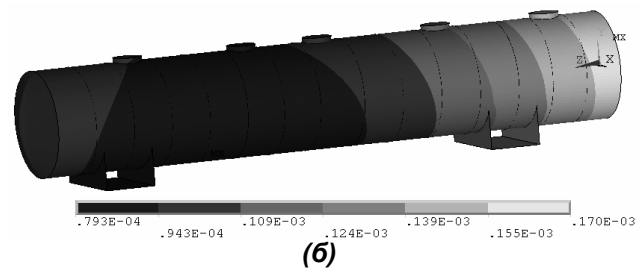
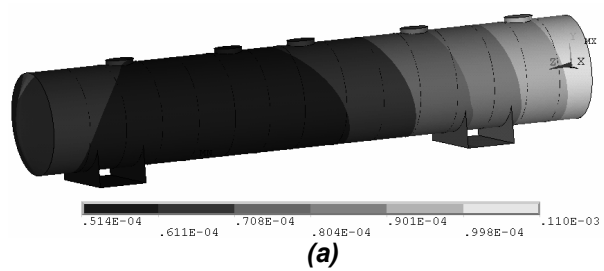


Рис. 8. Розподілення СКВ переміщень конструкції при швидкості 60 км/год (а) на асфальтному та (б) на булижному покриттях авторська розробка

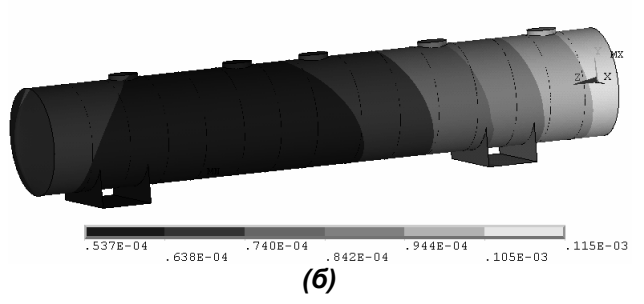
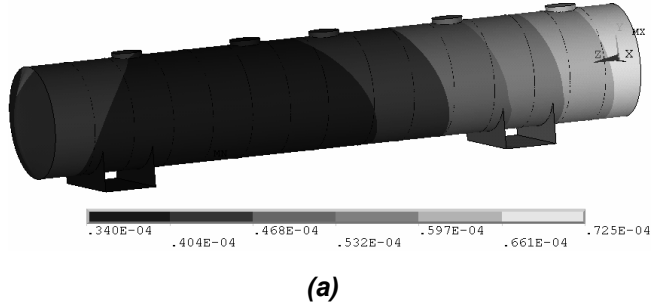
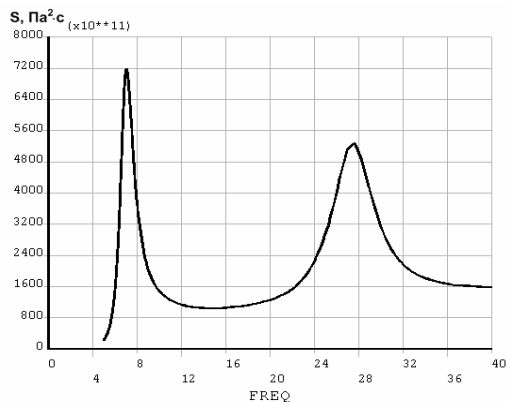
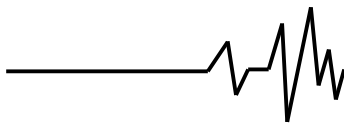


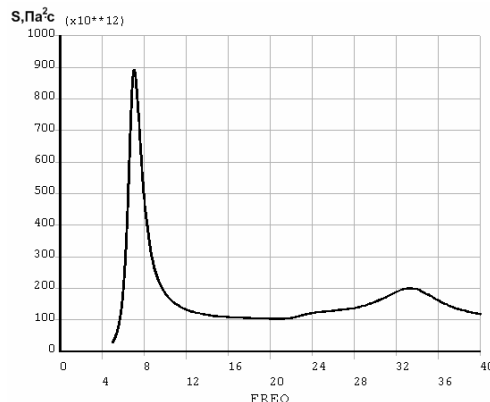
Рис. 9. Розподілення СКВ переміщень конструкції при швидкості 90 км/год (а) на асфальтному та (б) на булижному покриттях авторська розробка

Після аналізу СКО переміщень, можна зазначити, що зони найбільшого СКО подібні, але мають різні значення. Найбільше значення спостерігається при русі 60 км/год по

булижному покритті, значення СКО переміщень більше на 45% ніж при русі по асфальтному покритті на той самій швидкості.

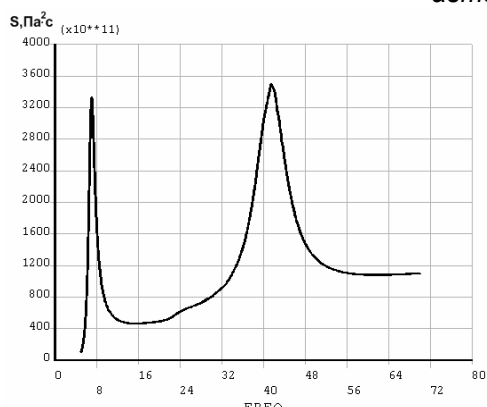


(a)

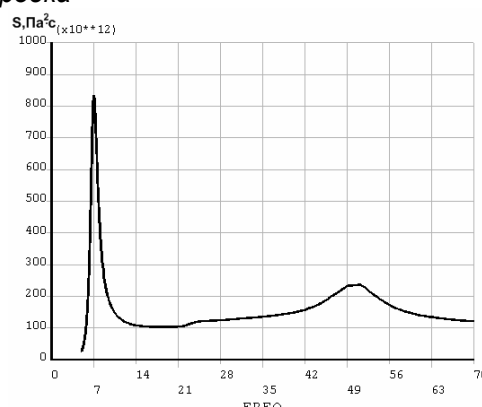


(б)

Рис. 10. Спектральна щільність напруження при швидкості 60 км/год а) на асфальтному та б) на булижному покриттях авторська розробка



(a)



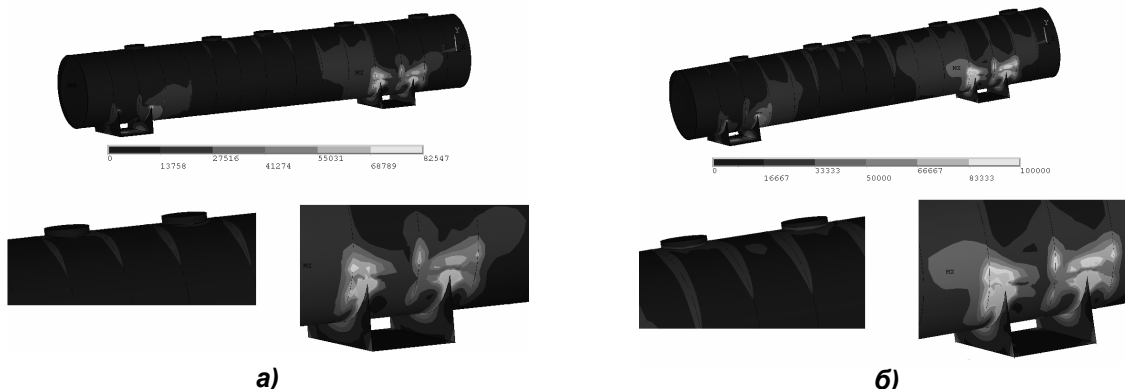
(б)

Рис. 11. Спектральна щільність напруження при швидкості 90 км/год а) на асфальтному та б) на булижному покриттях авторська розробка

Аналіз спектральних щільностей показав, що найбільше значення спектральна щільність набуває на швидкості 60 км/год при русі по булижному покритті. Значення спектральних щільностей при русі по булижному і асфальтному покритті відрізняються на 20%. Сплески на частоті, що відповідає

максимальним рівням збурення з боку дороги при русі по асфальтному покритті більш вираженні.

За СКВ напруження визначені небезпечні точки конструкції та підрахована спектральна щільність напруження у цих точках.



а)

б)

Рис. 12. Розподілення СКВ напруження по конструкції при швидкості 60 км/год а) на асфальтному та б) на булижному покриттях авторська розробка

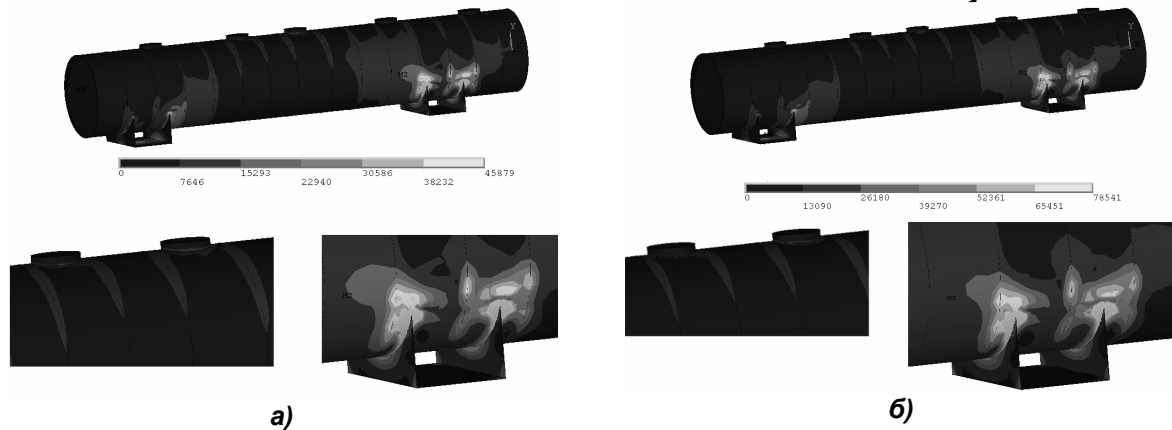
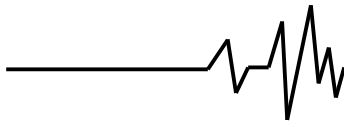


Рис. 13. Розподілення СКВ напруження по конструкції при швидкості 90 км/год (а) на асфальтному та (б) на булижному покриттях авторська розробка

Як видно з усіх проведених розрахунків, небезпечною точкою для конструкції є стик основної цистерни з опорою. Для цієї точки отримані спектральні щільності для усіх типів навантаження.

Також можна зазначити, що навкруги люків існують зони, де значення напруження більше ніж на інших ділянках але не перевищують границю пружності. Для цієї точки отримані спектральні щільності напруження для усіх варіантів навантаження.

Висновки

Аналізуючи вище викладене, можна зробити такі висновки:

1. В даній роботі проаналізовано мікропрофіль дороги, створена скінченно-елементна модель конструкції.

2. Після порівняння результатів спектральної щільності можна зробити висновок що, при русі по асфальтному покритті майже однакові сплески на власній частоті та максимальній частоті зовнішнього збудження, а при русі по булижному покритті значно більший сплеск на власній частоті, ніж на максимальній частоті зовнішнього збудження. Але за величима значень більшою є спектральна щільність при русі по булижному покритті зокрема на швидкості 60 км/год.. Тому такий рух є найбільш небезпечним для конструкції.

3. За розподіленням СКВ напруження можна бачити, які частини конструкції є найбільш чутливі для пошкоджень. Такими зонами є зони біля опор та біля люків.

4. Після аналізу СКВ переміщень видно, що більші зміни амплітуди виникають при русі 60 км/год по булижному покритті та підвищуються майже у 2 рази, що є допустимим по відношенню до розмірів конструкції.

Список використаних джерел

1. Аврамов М.В. Разработка метода расчета несущих систем колесных машин при случайных стационарных колебаниях : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 01.02.06. «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» / М.В Аврамов — Саратов — 2009.

2. Галимьянов И.Д. Оценка усталостной долговечности кабин грузовых автомобилей расчетно-экспериментальным методом : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины»/ И. Д. Галимьянов. — Набережные Челны — 2009. — 16, [1]с. 15, [1]с.

3. Шостак Р.М. Риски виникнення пожеж під час експлуатації залізничних цистерн з пошкодженнями типу «вм'ятина»: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 21.06.02 — «пожежна безпека» / Р.М. Шостак. — Київ — 2012. — 23, [1]с.

4. Мясницкий Р.Н. Разработка расчетных моделей и методов оценки работоспособности цистерн несущей конструкции дис. кандидата тех. наук 05.05.04 / Мясницкий Роман Николаевич. — М., 2009. — 173 с.

5. Ларин А.А. Прогнозирование и анализ надежности машиностроительных конструкций / Ларин А.А. — Х. :НТУ «ХПИ», 2011. — 132 с.

6. Ричардс Р.Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин / Ричардс Р.Б. — Р. «Зинатне», 1988. — 282 с.

7. Грицан С. О., Ларін О. О. Дослідження динамічного напруженого стану в лопатках турбомашин методом комбінованого розкладання по власним формам напружень та



переміщень // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Динаміка і міцність машин». – Харків, 2011. – № 52. – с. 54-62.

8. Вибрації в техніці, т.3. /Ф.М. Дименберг, К.С. Колесников, Москва «Машиностроение», 1980, – 545 с.

Список джерел в транслітерації

1. Avramov M.V. Rozrobka metodu rozrakhunku nesuchykh system kolisnykh mashyn pry vypadkovykh statsionarnykh kolyvannyakh : avtoref. dys. na zdobuttya nauch. shchabli kand. tekhn. nauk : spets 01.02.06. «Dynamika, mitsnist mashyn, pryladiv ta aparatury» / M.V Avramov – Saratov – 2009.

2. Halimyanov I.D. Otsinka vtomnoyi dovhovichnosti kabin vantazhnykh avtomobiliv rozrakhunkovo-eksperymentalnym metodom: avtoref. dys. na zdobuttya nauch. shchabli kand. tekhn. nauk: spets. 05.05.03 «Koliski ta husenychni mashyny» / I. D. Halimyanov. – Naberezhni Chovny – 2009. – 16, [1] s. 15, [1] s.

3. Shostak R.M. Ryzko Vynyknennya pozhezh vo vremya ekspluatatsiyi zaliznichnikh tsystem z poshkodzhennyami typtom «vmyatyny»: avtoref. dys. na zdobuttya nauch. shchabli kand. tekhn. nauk : spets. 21.06.02 – «pozhezhna bezpeka» / R.M. Shostak. – Kyiv – 2012. – 23, [1] s.

4. Myasnytskaya R.N. Razrobotka rozrakhunkovykh modeley i metodiv otsinky pratsezdatsnosti tsystem nesuchoyi konstruktsiyi dys. kandydata tekhn. nauk 05.05.04 / Myasnytskaya Roman Mykolayovych. – M., 2009. – 173 s.

5. Larin A.A. Prohnozuvannya ta analiz nadiynosti mashynobudivnykh konstruktsiy / Larin A.A. – KH. : NTU «KHPI», 2011. – 132 s.

6. Richards R.B. Metod kintsevykh elementiv v teorii obolonok i plastyn / Richards R.B. – R. «Zinatne», 1988. – 282 s.

7. Hrytsan S. O., Larin O. O. Doslidzhennya dinamichnoho napruzhenosti stanu v lopatkakh turbomashyn metodom kombinovanoho rozkladannya po vlasnym formam napruzhenosti ta peremishchen // Visnyk NTU «KHPI». Zbirnyk naukovykh prats. Tematychny vyputsk «Dynamika y mitsnist mashyn». – Kharkiv, 2011. – № 52. – s. 54–62.

8. Vibratsiyi v tekhnitsi, t.3. /F.M. Dimenberh, K.S. Kolesnikov, Moskva «Mashynobuduvannya», 1980, – 545 s.

МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОТЛА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПОЛУПРИЦЕПА ПО ДОРОГАМ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация. В статье представлены результаты моделирования случайных колебаний полуприцепа автоцистерны при движении по дорогам общего назначения и дорогам с несовершенным покрытием. С помощью метода конечных элементов и методов статистической механики определены вероятностные характеристики поведения системы и найдены опасные точки конструкции при различных типах нагрузки.

Ключевые слова: Полуприцеп, случайные колебания, автоцистерна, МКЭ.

MODELING THE RANDOM VIBRATION OF SEMI-TRAILERS WHEN DRIVING ON DIFERENT TYPE OF ROADS

Annotation. The paper presents the results of modeling of semi-trailers random vibrations of driving on different type of roads. Probabilistic characteristics of system behavior and dangerous point of design under different types of load has been defined on the based of the finite element method and methods of statistical mechanics.

Key words: Semi-trailer, random vibrations, boiler tank, FEM.