

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ ХОДОВОЇ СИСТЕМИ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА З АГРЕГАТАМИ ЗМІННОЇ МАСИ

Кожушко А.П.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Сьогодні при дослідженні видів транспортних робіт, які використовуються в сільському господарстві виникає проблема при дослідженні руху колісного трактора з причіпними або напівпричіпними цистернами, які заповнені рідиною. Оскільки перевезення рідкого вантажу в тракторних цистернах призводить до виникнення суттєвих власних коливань (у зв'язку з відсутністю внутрішніх перегородок), тоді вплив при експлуатації на рух колісного трактора та цистерни здійснюється суттєвий. Даний процес призводить до поздовжньої та поперечної нестабільності, що сприяє підвищенню, як енергетичних витрат, так і аварійних ситуацій (відбувається вплив на плавність руху, керованість та стійкість транспортного засобу, підвищення динамічної навантаженості ходової системи, тощо).

Метою роботи є дослідження динамічної навантаженості ходової системи колісного трактора при виконанні транспортної роботи з агрегатами змінної маси. Задля вирішення поставленої мети вирішувались наступні задачі: оцінка динамічної навантаженості ходової системи трактора при виконанні транспортної роботи напівпричіпною цистерною в умовах різнорівневого наповнення рідиною; виконати аналіз впливу конструктивних показників підвіски трактора з метою зменшення динамічної навантаженості ходової системи. При вирішенні поставленої мети використовувалась методика, яка передбачала математичне моделювання повздовжнього руху колісного трактора з агрегатом змінної маси. Використана модель враховує перерозподіл рідини у цистерні, яка викликана коливаннями оболонки, з використанням характеристики поверхневих хвиль Релея. Проведення аналізу динамічної навантаженості ходової системи трактора базувалося на визначенні сили, що створюється пневматичними шинами коліс.

Як результат отримано дані теоретичного дослідження, які відображають вплив перерозподілу рідини в напівпричіпній цистерні на показник динамічної навантаженості ходової системи трактора. Також встановлено, що при різному рівні рідини в цистерні резонансна частота, яка виникає при впливі напівпричіпного агрегату, зміщується в бік резонансної частоти переднього моста.

Практична значимість роботи полягає у встановленні впливу деяких конструктивних показників, а саме величини зазору в тягово-зчіпному пристрої та тиску в пневматичних шинах, на значення динамічної навантаженості. Встановлено, що зміна зазору в тягово-зчіпному пристрої від 15 мм до 10 мм не суттєво впливає на значення динамічного навантаження передньої та задньої вісі ходової системи. Загальна розбіжність складає 2,5 %. Більш суттєвий вплив має зміна тиску в пневматичних шинах трактора. Визначено, що при варіюванні параметром тиску в тракторних шинах відбувається зміщення резонансних частот, які виникають в зонах переднього моста та остова трактора. Окрім того, відмітимо, що зменшується значення динамічного навантаження ходової системи трактора.

Ключові слова: колісний трактор, напівпричіпна цистерна, ходова система, динамічна навантаженість, перерозподіл рідини, частота зовнішнього збурення.

Актуальність проблеми

Сьогодні колісний трактор в фермерському угідді – є невід’ємною робочою машиною. Він використовується, як при тягових роботах (оранка, боронування, тощо), так і при транспортних (перевезення твердих та/або рідких вантажів). Доречі, загальний відсоток транспортних робіт в сільському господарстві складає більше 50%. Тому саме дослідження транспортних робіт є актуальним.

Великого інтересу викликає транспортна робота при перевезенні рідкого вантажу. Це обумовлено конструктивними особливостями тракторних причіпних та/або напівпричіпних цистерн, в порівнянні з автомобільними. Від’ємність стосується у відсутності внутрішніх перегородок, які перешкоджають активному перетіканню рідини з одного кінця цистерни до іншого. Ця відсутність, перш за все, обумовлена відносно низькою транспортною швидкістю (для вітчизняних тракторів – до 40 км/год). Але сучасний рівень тракторобудування засвідчує, що швидкісні показники руху колісного трактора можуть варіюватися, в залежності від виробника, в межах 50 – 90 км/год. Тому дослідження динаміки руху колісних тракторів при транспортуванні агрегатів зі змінною масою є доцільним, адже дозволить оцінити не тільки динамічні показники, а й техніко-економічні, експлуатаційні, ресурсні, тощо.

Аналіз останніх досліджень

Існує ряд наукових робіт [1 – 7], які присвячені вирішенню питань пов’язаних з динамічним навантаженням систем колісного трактора. Загальна кількість наукових робіт розкриває проблематику навантаженості вузлів і агрегатів трансмісійної установки колісних [1 – 5] та гусеничних тракторів. Проте, зовсім мало робіт присвячено дослідженню іншої не менш важливої системи транспортного засобу – це ходової системи. Актуальність цього напрямку дослідження обумовлена наявністю високих динамічних навантажень, які діють на невіднеснену частину остова (рами) трактора. Відмітимо, що для гусеничного трактора дослідження динамічного навантаження ходової системи базується на різновиді положення роботи зубців ведучих коліс [6], або зміні демпферних властивостей частин гусеничного обводу [7].

Колісний трактор, який агрегується з агрегатом змінної маси, сприймає суттєві збуджувальні сили при перерозподілі маси в тракторній цистерні. Ця тенденція простежується внаслідок відсутності внутрішніх перегородок в тракторній цистерні, на відміну від автомобільних. Зумовлено це, перш за все, низькими швидкостями руху. Але, як засвідчує тенденція розвитку тракторобудування, сучасні виробники тракторної техніки працюють над підвищенням енергонасиченості колісних тракторів [8] та збільшенням мас вантажів, що перевозяться [9]. Так, в роботі [9] наведено світовий різновид причіпних та напівпричіпних цистерн, які експлуатуються в сільському господарстві. Зауважимо, що внутрішні перегородки виробниками не встановлюються, або встановлюються з позначки вантажопідйомності тракторних цистерн більше 20 т. Тому, зважаючи на це, доречно проводити дослідження щодо забезпечення стійкості транспортного засобу при виконанні транспортної роботи з агрегатами перемінної маси. Тому проведений критичний аналіз літератури [1 – 9] дозволив сформулювати наступну мету роботи.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є дослідження динамічної навантаженості ходової системи колісного трактора при виконанні транспортної роботи з агрегатами змінної маси. Розкриття поставленої мети досягається за рахунок вирішення наступних задач дослідження: оцінка динамічної навантаженості ходової системи трактора при виконанні транспортної роботи напівпричіпною цистерною в умовах різнорівневого наповнення рідиною; виконати аналіз впливу конструктивних показників підвіски трактора з метою зменшення динамічної навантаженості ходової системи.

Методичний підхід в проведенні досліджень

Задля вирішення поставленої мети необхідно сформувати динамічну математичну модель поздовжньо-кутового руху колісного трактора з напівпричіпною цистерною. На рис. 1 наведено розрахункову схему транспортного засобу, що досліджується, де $y_T, y_1^M, y_2^M, y_K, y_C$ – вертикальне переміщення остову (рами), переднього та заднього мостів, кабіни, сидіння трактора; φ_T, φ_K – кут нахилу остову трактора та кабіни; y_{II}, y_3^M, y_4^M – вертикальне переміщення платформи, першого та другого мостів причіпного агрегату; φ_{II} – кут нахилу причіпного агрегату; x_k^p – рух рідини, яка приймає участь в коливальному процесі; x_T, x_{II} – повздовжній рух трактора та причіпного агрегату; x_K – поздовжній рух кабіни з сидінням; m_T – маса остову трактора (разом з двигуном та, для агрегату із причепом, половиною дишла); m_K – маса кабіни; m_C – маса сидіння (разом із трактористом), m_{II} – маса рами та оболонки цистерни (разом з дишлом або, для причепу, його половиною); m_k^p – маси поверхневих шарів рідини, де відбуваються низькочастотні коливання [10]; m_1, \dots, m_4 – маси мостів (разом із колесами); J_T^K – момент інерції моста трактора; J_m^{os} – момент інерції маховика і валів двигуна; i_{Tp} – передавальне відношення трансмісії від валу двигуна до осі колеса; r_k – радіус колеса трактора; J_T, J_K, J_{II} – моменти інерції при обертанні трактора (разом із мостами), кабіни (разом з трактористом) та цистерни (разом із рамою, мостами і рідиною) на кути $\varphi_T, \varphi_K, \varphi_{II}$ відносно їх центрів мас; $c_1^a, c_2^a, \dots, c_7^a$ – це жорсткість у вертикальному напрямку амортизаторів чи ресор мостів трактора і цистерни, опор кабіни, сидіння водія, відповідно; $c_1^u, c_2^u, \dots, c_4^u$ – сумарна радіальна жорсткість шин на відповідному мосту трактора або цистерни; c_x^o, c_y^o – жорсткість дишла у горизонтальному та вертикальному напрямках; c_k^p – коефіцієнти жорсткості зв'язку між шаром рідини та оболонкою цистерни, саме ці коефіцієнти використовуються у рівняннях низькочастотних коливань рідини [10]; $l_1 - l_6$ – це відстань від центру мас трактора або цистерни до їх мостів, опор кабіни, сидіння, відповідно; l_5^*, l_6^*, l_7^* – від центру мас кабіни до її опор і сидіння; l_T, l_{II} – від точок з'єднання дишла до центру мас трактора та цистерни (для напівпричіп-цистерни точкою з'єднання є гак трактора); l_0

– це довжина дишла; R_x , R_y – повздовжня та вертикальна складові сили, яка прикладена до дишла з боку гаку трактора; $f_1 - f_7$ – коефіцієнти демпфірування; $f_1^{uu} - f_4^{uu}$ – сумарні коефіцієнти демпфірування шин на відповідному мосту трактора або цистерни.

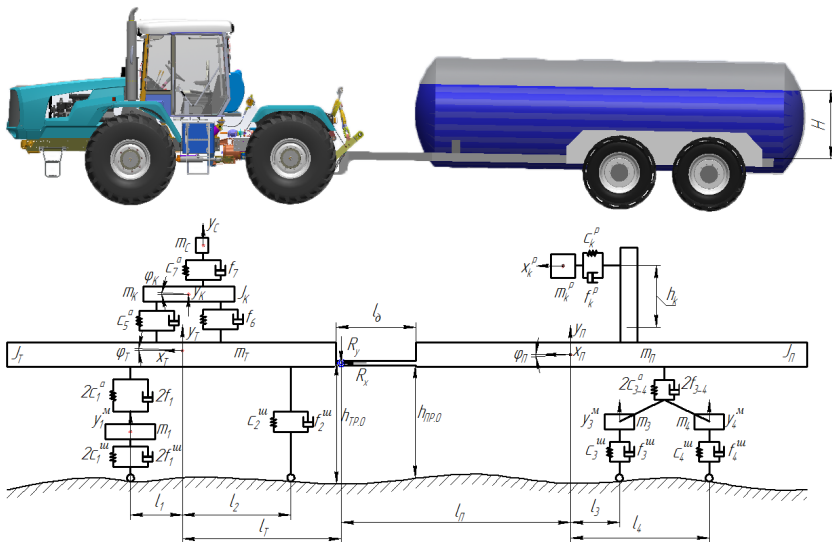


Рис.1. Розрахункова схема трактора ХТЗ-150К з напівпрічипною цистерною МЖТ-10

Мікропрофіль земної поверхні достатньо описати за допомогою синусоїдального закону. Такий вибір обумовлено дослідженням в несприятливих умовах. В матеріалах цієї роботи обрано асфальтобетонний мікропрофіль.

$$y_{ГР1} = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot x_T}{\Delta\lambda}\right); \quad (1)$$

$$y_{ГР2} = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi(x_T - (l_1 + l_2))}{\Delta\lambda}\right); \quad (2)$$

$$y_{ГР3} = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi(x_T - (l_1 + l_{ТР} + l_\delta + l_{ПР} - l_3))}{\Delta\lambda}\right); \quad (3)$$

$$y_{ГР4} = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi(x_T - (l_1 + l_{ТР} + l_\delta + l_{ПР} + l_4))}{\Delta\lambda}\right); \quad (4)$$

де A - амплітуда мікроколивань нерівностей; x_T - переміщення транспортного засобу; $\Delta\lambda$ - довжина хвилі мікроколивань.

Математичний опис коливань рідини в цистерні (замкнутій ємності) може базуватися на основі рішень рівняння Мещерського І.В. та формули Циолковського К.Е. Проте, таке розв'язання питання змінної маси доцільно розглядати в контексті вирішення задач тягово-транспортної роботи. Тому в матеріалах даної роботи використовується методика, що наведена в роботі [10, 11]. Де за допомогою математичного моделювання поверхневих хвиль Релея, тобто частинних похідних, виконується імітація коливання рідини за рахунок введення парціальних осциляторів, які мають свій розмір та вагу. Введені осцилятори будуть відповідати окремій базисній формі низькочастотних коливань рідини відносно оболонки цистерни. Отже, згідно з методами, які описано в роботах [10, 11], встановлюються власні частоти ν_k , коефіцієнту жорсткості c_k^p та коефіцієнтів демпфірування f_k^p коливань k -го парціального осцилятора

$$\nu_k = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(g + \frac{d^2 y_{II}}{dt^2}\right) \cdot \left(\pi \cdot \frac{k-0,5}{L}\right) \cdot th\left(h \cdot \left(\pi \cdot \frac{k-0,5}{L}\right)\right)}; \quad (5)$$

$$c_k^p = m_k^p \cdot \left(g + \frac{d^2 y_{II}}{dt^2}\right) \cdot \left(\pi \cdot \frac{k-0,5}{L}\right) \cdot th\left(h \cdot \left(\pi \cdot \frac{k-0,5}{L}\right)\right); \quad (6)$$

$$f_k^p = 2d_p \cdot \nu_k \cdot m_k^p, \quad (7)$$

де k - номер парціального осцилятора; L - відстань від центру до краю цистерни; d_p - логарифмічний декремент затухання.

Динамічна навантаженість – це показник, який характеризує вплив зовнішніх та внутрішніх збурювальних сил на динамічні властивості системи транспортного засобу. Якщо досліджуваною системою є ходова система, тоді динамічні властивості характеризуються зміною сил, які діють на невіднесену частину остова (рами) транспортного засобу. Однією з таких сил є сила, що створюється пневматичними шинами коліс F_{sh} , яка обчислюється наступним рівнянням [12]:

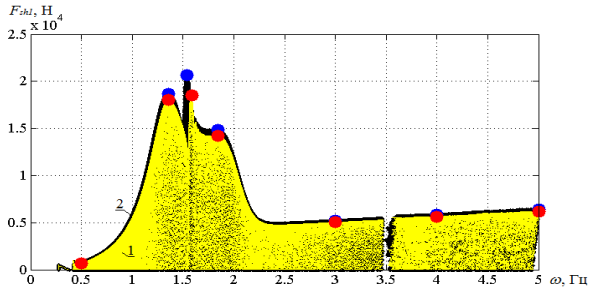
$$F_{shi} = 2c_i^m \cdot \nu_{sh}, \quad (8)$$

де ν_{sh} - деформація пневматичної шини.

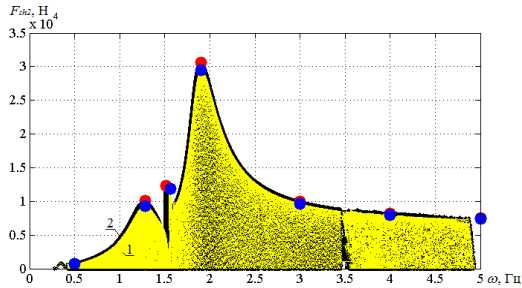
Таким чином, наведено методику вирішення поставленої мети роботи.

Результати досліджень

Виконавши моделювання повздовжнього руху колісного трактора (ХТЗ-150К) з напівпрічипним агрегатом, який перевозить твердий (ІПТС-10) та рідкий (МЖТ-10) вантаж однакової маси, встановимо вплив перерозподілу мас рідини в цистерні на динамічну навантаженість ходової системи трактора.



а



б

Рис.2. Залежність динамічного навантаження на ходову систему від частоти зовнішнього збурення: а – передня вісь; б – задня вісь; 1 – з твердим вантажем; 2 – з рідким вантажем

Згідно з рис. 2, встановимо, що перерозподіл рідини в цистерні має максимальний вплив на показники динамічної навантаженості, в порівнянні з транспортуванням твердого вантажу, в діапазоні частот зовнішнього збурення від 1 до 2 Гц (табл. 1). Зауважимо, що в окреслений діапазон потрапляють наступні резонансні частоти:

- від 1,2 до 1,4 Гц – резонансна зона переднього моста трактора;
- від 1,5 до 1,6 Гц – резонансна зона впливу напівпрічипного агрегату («хоботовий тиск»);
- від 1,8 до 2 Гц – резонансна зона остова (рами) трактора.

На інших ділянках частот максимальна розбіжність значень варіюється в межах 0,5 ... 3,5 %.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз значень динамічної навантаженості ходової системи трактора при транспортуванні твердого та рідкого вантажів

Резонансні зони	Розбіжність при порівнянні транспортування твердого з рідким вантажем, %	
	На передню вісь	На задню вісь
Передній міст	3,6	7,6
«Хоботовий тиск»	11,6	4,7
Остов трактора	4,3	3,5

Також треба відзначити, що при транспортуванні рідкого вантажу спостерігається зміщення резонансної зони впливу напівпрічипного агрегату на 3,5%. Зважаючи на таке

явище доцільно виконати моделювання з різномірною наповненістю цистерни. Оскільки, як об'єкт досліджень виступає цистерна МЖТ-10, в якій максимальна висота рівня рідини складає 1,6 м, тоді моделювання доцільно проводити з варіюванням рівня рідини $H \in [0,8; 1,6]$ м.

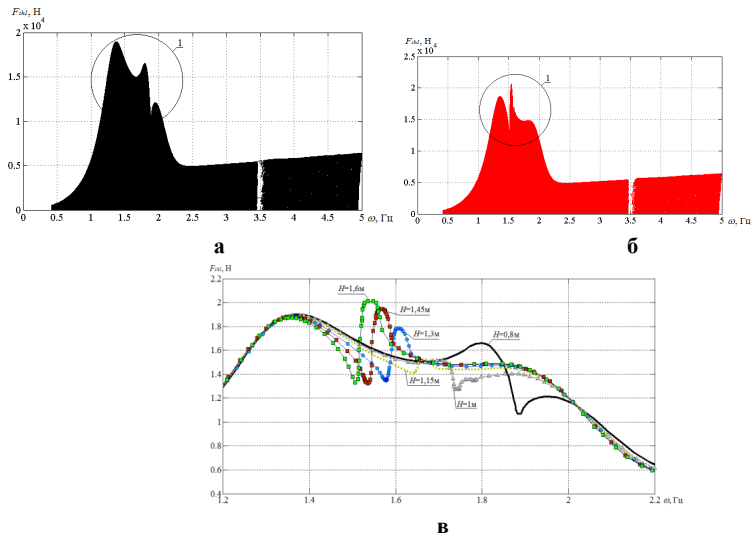


Рис.3. Залежність динамічного навантаження на передню вісь ходової системи трактора: а – при $H = 0,8$ м; б – при $H = 1,6$ м; в – ділянка дії хоботого тиску; 1 – зона досліджень

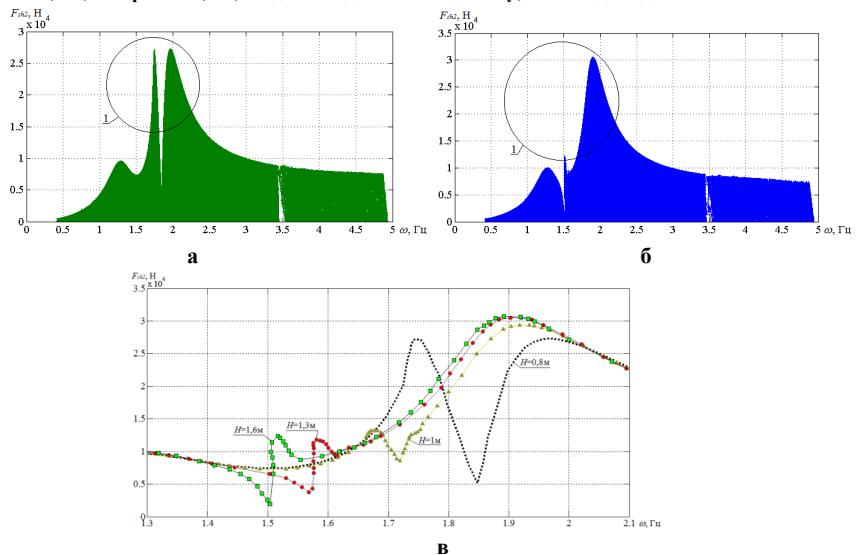


Рис.4. Залежність динамічного навантаження на задню вісь ходової системи трактора: а – при $H = 0,8$ м; б – при $H = 1,6$ м; в – ділянка дії хоботого тиску; 1 – зона досліджень

При аналізі рис. 3 та 4 помітимо, що резонансна частота впливу напівпричіпного агрегату зміщується зі зростанням ваги агрегату в бік резонансної частоти переднього моста, що обумовлено довантаженням задньої частини остова трактора.

Аналізуючи значення динамічного навантаження в зоні резонансного впливу напівпричіпного агрегату, відмітимо, що зі зростанням рівня рідини максимальна величина змінюється за параболічною функцією.

В табл. 2 зведено аналіз значень при різному рівні наповненості рідиною цистерни, а також в якій представлено розбіжність між величинами.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз значень при транспортуванні рідкого вантажу

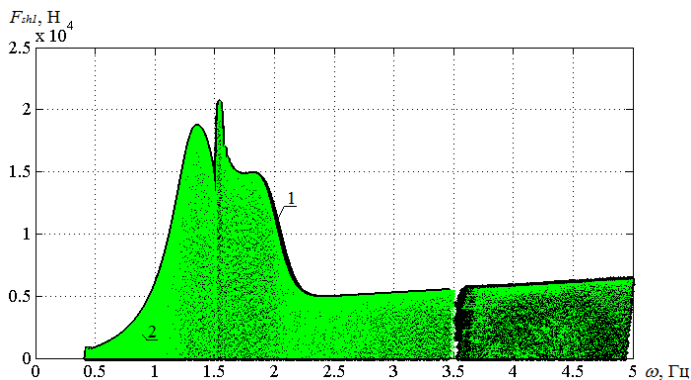
Параметри	На передню вісь			На задню вісь		
	$H = 0,8$ м	$H = 1,6$ м	Розбіж-ність, %	$H = 0,8$ м	$H = 1,6$ м	Розбіж-ність, %
Резонансна частота впливу напівпричіпного агрегату, Гц	1,8	1,54	17	1,75	1,51	15,4
Динамічна навантаженість в зонах резонансу, Н:						
Переднього моста	18970	18680	1,5	9566	10040	5
«Хоботовий тиск»	16570	20110	21,4	27210	12350	54,6
Остову трактора	12000	14860	23,8	27280	30570	12

Отже, з результатів дослідження помітно, що значення динамічної навантаженості ходової системи залежить від багатьох факторів, як внутрішніх, так зовнішніх факторів. Тому доцільно навести практичні рекомендації щодо зменшення значення динамічного навантаження, що дасть змогу підвищити надійність складових ходової системи трактора.

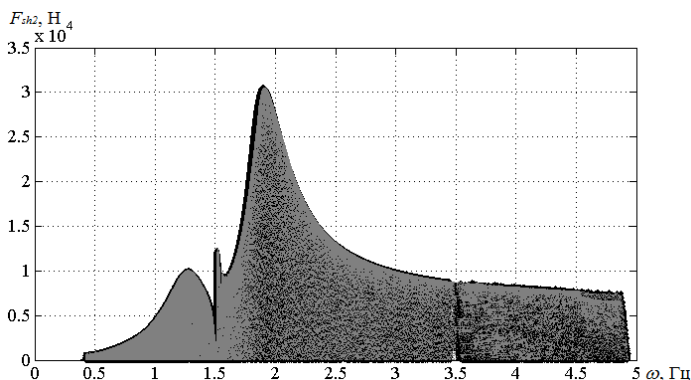
Практичні рекомендації

Одним з шляхів зменшення впливу перерозподілу рідини в тракторній цистерні – це впровадження внутрішніх перегородок (як зроблено в автомобільних [13] та залізничних цистернах). Також можливий варіант з впровадженням інших видів систем підресорювання трактора [12]. Проте такі вирішення коштовні та трудомісткі. Тому доцільно провести дослідження з варіюванням показників, які потребують мінімальної витрати коштів та людських ресурсів:

1. Зменшення зазору в тягово-зчіпному пристрої.
2. Зменшення тиску в пневматичних шинах колісного трактора з додержанням значень техніко-економічних показників.



а



б

Рис.5. Залежність динамічного навантаження ходової системи від частоти зовнішнього збурення при варіюванні показником зазору в тягово-зчпному пристрої: а – передньої вісі; б – задньої вісі

Як видно з рис. 5, зміна зазору в тягово-зчпному пристрої від 15 мм до 10 мм не суттєво впливає на динамічне навантаження передньої та задньої вісі ходової системи. Загальна розбіжність складає 2,5 %. Тому дана рекомендація не є достатньою.

На рис. 6 представлено залежність динамічного навантаження ходової системи трактора від частоти зовнішнього збурення при варіюванні показників тиску в тракторних шинах передньої і задньої вісі. Відомо, що на досліджуваному тракторі ХТЗ-150К встановлюються радіальні шини 23,1R26 виробництва «Россава». Рекомендовано заводом виробником рухатися по асфальтобетонній поверхні при тиску в шинах $p_{sh1} = 160$ кПа і $p_{sh2} = 140$ кПа.

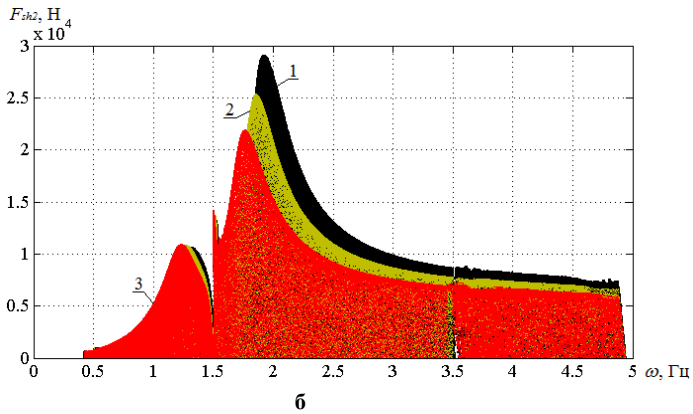
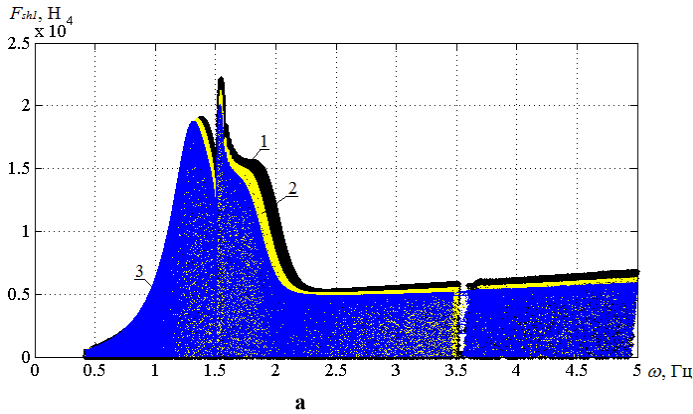


Рис.6. Залежність динамічного навантаження ходової системи від частоти зовнішнього збурення при варіюванні показником тиску в шинах трактора: а – передня вісь; б – задня вісь; 1 – $p_{sh1} = 160$ кПа і $p_{sh2} = 140$ кПа; 2 – $p_{sh1} = 140$ кПа і $p_{sh2} = 120$ кПа; 3 – $p_{sh1} = 120$ кПа і $p_{sh2} = 100$ кПа

Аналізуючи результати моделювання, встановимо, що при варіюванні параметром тиску в тракторних шинах відбувається зміщення резонансних частот, які виникають в зонах переднього моста та остова трактора. Окрім того, відмітимо, що зменшується значення динамічного навантаження ходової системи трактора. Більш детально результати моделювання наведено в табл. 3.

Таким чином, як практичну рекомендацію щодо зниження динамічного навантаження в ходовій системі можна користуватися зменшенням параметру тиску в тракторних шинах. Проте необхідно враховувати, що при зменшенні тиску в шинах відбувається зменшення продуктивності трактора та підвищення витрати палива.

Значення динамічної навантаженості при різному тиску в тракторних шинах

Параметри	Тиск в шинах передньої вісі, кПа			Тиск в шинах задньої вісі, кПа		
	$p_{sh1} =$	$p_{sh1} =$	$p_{sh1} =$	$p_{sh1} =$	$p_{sh1} =$	$p_{sh1} =$
	160	140	120	160	140	120
	$p_{sh2} =$	$p_{sh2} =$	$p_{sh2} =$	$p_{sh2} =$	$p_{sh2} =$	$p_{sh2} =$
	140	120	100	140	120	100
Резонансна частота, Гц:						
Переднього моста	1,39	1,35	1,33	1,3	1,52	1,92
«Хоботовий тиск»	1,55	1,54	1,54	1,28	1,52	1,85
Остову трактора	1,82	1,75	1,71	1,23	1,52	1,77
Динамічна навантаженість в зонах резонансу, Н:						
Переднього моста	19030	18960	18750	10490	13220	29050
«Хоботовий тиск»	22150	21170	20210	10800	13580	25300
Остову трактора	15560	14980	14280	10920	14200	21890

Висновки

1. Встановлено, що при виконанні транспортної роботи з перевезення рідкого вантажу спостерігається більший вплив на ходову систему трактора, ніж при транспортуванні твердого вантажу тієї ж маси.
2. Отримані результати дослідження динамічного навантаження ходової системи колісного трактора при виконанні транспортної роботи можна використовувати, як вихідні дані задля поглибленого аналізу показників надійності невідресореної частини.
3. Проаналізовано вплив зміни величини зазору в тягово-зчпному пристрої, а також зміною тиску в тракторних шинах на показник динамічної навантаженості ходової системи при транспортуванні напівпричіпної цистерни.

Список використаних джерел

1. Климов А.А., Стручков А.В. Исследования динамической нагруженности трансмиссии бульдозерного агрегата на базе трактора класса 40 кН на грунтах 1-2-й категорий, *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 2008, № 1, с. 201-206.
2. Кальченко Б.І., Чернявський І.С., Кожушко А.П. Підхід до визначення завантаженості трансмісії колісного трактора при впливі нерівностей поверхні. *Науковий журнал технічний сервіс, агропромислового, лісового та транспортного комплексу*, 2017, № 8, с. 49-54.
3. Rabbani M.A., Takeoka S., Mitsuoka M., Inoue E., Fukushima T., Okayasu T. Simulation for vertical dynamic loading forces on track rollers of the half-tracked tractor based on nonlinear Voigt's model, *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 2010, № 3(4), p. 119-126.

4. Pearson P., Bevy, D.M. Modeling and validation of hitch loading effects on tractor yaw dynamics, *Journal of Terramechanics*, 2007, № 44(6), p. 439-450.
5. Ovsyannikov S., Kalinin E., Kolesnik I. Oscillation process of multi-support machines when driving over irregularities, *Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport*. Springer, Cham, 2018. p. 307-317, doi: 10.1007/978-3-030-19756-8_28.
6. Бердов Е.И. Динамическая нагруженность ходового аппарата гусеничного трактора двойного назначения, *Достижения науки и техники АПК*, 2010, №2, с. 59-62.
7. Коростелев С.А., Вербилов А.Ф., Ковалев В.В. Теоретическое исследование динамической нагруженности резинометаллических шарнирных соединений гусеничного движителя с ограничителями радиальной деформации, *Известия Самарского научного центра РАН*, 2012, Т. 14, №1 (2), с. 381-383.
8. Ребров А.Ю., Самородов В.Б., Кучков В.В. Определение рациональной энергонасыщенности пахотного МТА на базе колесного сельскохозяйственного трактора, *Механика та машинобудування*, 2011, № 1, с. 136-140
9. Кожушко А.П. Аналіз конструктивних особливостей причіпних та напівпричіпних цистерн у складі машинно-тракторного агрегату, *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*, 2019, № 5 (1330), с. 34-40, doi:10.20998/2413-4295.2019.05.05.
10. Кожушко А.П., Григор'єв О.Л. Моделювання пов'язаних коливань колісного трактора та цистерни з рідиною на прямому шляху зі складним рельєфом, *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*, 2018, № 27 (1303), с. 34-61.
11. Кожушко А.П., Григор'єв О.Л. Математичне моделювання низькочастотних коливань в'язкої рідини в горизонтальній ємності з вільною поверхнею, *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*, 2018, № 3 (1279), с. 41-51.
12. Мамонтов А.Г., Кожушко А.П., Ребров О.Ю. Формування математичної моделі динамічної навантаженості ходової системи колісного трактора з напівпричіпним агрегатом, *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*, 2019, № 1, с. 29-41, doi:10.20998/2413-4295.2019.01.04.
13. Шимановский А.О. Конструктивные решения, обеспечивающие безопасность движения цистерн (обзор), *Проблемы машиностроения и автоматизации*, 2009, № 1, с. 44-59.

Аннотация

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ХОДОВОЙ СИСТЕМЫ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА С АГРЕГАТАМИ ПЕРЕМЕННОЙ МАССЫ

Кожушко А.П.

Сегодня при исследовании видов транспортных работ, используемых в сельском хозяйстве возникает проблема при исследовании движения колесного трактора с прицепами или полуприцепами цистернами, которые заполнены жидкостью. Поскольку перевозки жидкого груза в тракторных цистернах приводят к возникновению существенных собственных колебаний (в связи с отсутствием внутренних перегородок), то влияние при эксплуатации на движение колесного трактора и цистерны осуществляется существенный. Данный процесс приводит к продольной и поперечной неустойчивости, которая способствует повышению, как энергетических затрат, так и

может привести к аварийным ситуациям (происходит влияние на плавность движения, управляемость и устойчивость транспортного средства, повышение динамической нагруженности ходовой системы и т.д.).

Целью работы является исследование динамической нагруженности ходовой системы колесного трактора при выполнении транспортной работы с агрегатами переменной массы. Для решения поставленной цели решались следующие задачи: оценка динамической нагруженности ходовой системы трактора при выполнении транспортной работы с полуприцепными цистернами в условиях разноуровневого наполнения жидкостью; анализ влияния конструктивных показателей подвески трактора с целью уменьшения динамической нагруженности ходовой системы. При решении поставленной цели использовалась методика, которая предусматривала математическое моделирование продольного движения колесного трактора с агрегатом переменной массы. Использованная модель учитывает перераспределение жидкости в цистерне, которая вызвана колебаниями оболочки, с использованием характеристик поверхностных волн Рэлея. Проведение анализа динамической нагруженности ходовой системы трактора базировалось на определении силы, создаваемой пневматическими шинами колес.

В результате получены данные теоретического исследования, отражающие влияние перераспределения жидкости в полуприцепной цистерне на показатель динамической нагруженности ходовой системы трактора. Также установлено, что при разном уровне жидкости в цистерне резонансная частота, которая возникает при воздействии полуприцепного агрегата, смещается в сторону резонансной частоты переднего моста.

Практическая значимость работы заключается в установлении влияния некоторых конструктивных показателей, а именно величины зазора в тягово-сцепное устройство и давления в пневматических шинах, на значение динамической нагруженности. Установлено, что изменение зазора в тягово-сцепном устройстве от 15 мм до 10 мм не существенно влияет на значение динамической нагрузки передней и задней оси ходовой системы. Общая расхождение составляет 2,5%. Более существенное влияние имеет изменение давления в пневматических шинах трактора. Определено, что при варьировании параметром давления в тракторных шинах происходит смещение резонансных частот, которые возникают в зонах переднего моста и остова трактора. Кроме того, отметим, что уменьшается значение динамической нагрузки ходовой системы трактора.

Ключевые слова: колесный трактор, полуприцепная цистерна, ходовая система, динамическая нагруженность, перераспределение жидкости, частота внешнего возмущения.

Abstract

INVESTIGATION OF THE DYNAMIC LOADING THE RUNNING SYSTEM OF A WHEELED TRACTOR WITH VARIABLE MASS UNITS

A. Kozhushko

Today, when studying the types of transport works used in agriculture, a problem arises when studying the movement of a wheeled tractor with trailed or semi-trailer tanks that are filled with liquid. Since the transportation of liquid cargo in tractor tanks leads to the emergence of significant natural vibrations (due to the absence of internal partitions), the impact during

operation on the movement of the wheeled tractor and tank is significant. This process leads to longitudinal and lateral instability, which contributes to an increase in both energy costs and can lead to emergency situations (there is an effect on the smoothness of movement, handling and stability of the vehicle, increasing the dynamic load of the running system, etc.).

The aim of the work is to study the dynamic loading of the running system of a wheeled tractor when performing transport work with variable mass units. To achieve this goal, the following tasks were solved: assessment of the dynamic loading of the tractor running system when carrying out transport work with semitrailer tanks under conditions of different levels of liquid filling; analysis of the influence of design indicators of the tractor suspension in order to reduce the dynamic load of the undercarriage system. When solving this goal, a technique was used that provided for mathematical modeling of the longitudinal movement of a wheeled tractor with a variable mass unit. The model used takes into account the redistribution of liquid in the tank, which is caused by vibrations of the shell, using the characteristics of Rayleigh surface waves. The analysis of the dynamic loading of the tractor running system was based on the determination of the force created by the pneumatic tire tires.

As a result, theoretical research data were obtained that reflects the effect of fluid redistribution in a semitrailer tank on the dynamic loading index of the tractor running system. It was also found that at different levels of liquid in the tank, the resonant frequency that occurs when a semitrailer unit is exposed is shifted towards the resonant frequency of the front axle.

The practical significance of the work is to establish the influence of some design indicators, namely the amount of clearance in the towing device and pressure in pneumatic tires, on the value of dynamic loading. It was found that a change in the gap in the towing device from 15 mm to 10 mm does not significantly affect the value of the dynamic load of the front and rear axles of the running system. The total discrepancy is 2.5%. A more significant effect is the change in pressure in the pneumatic tires of the tractor. It is determined that when the pressure parameter in the tractor tires is varied, the resonant frequencies shift in the zones of the front axle and the skeleton of the tractor. In addition, we note that the value of the dynamic load of the tractor running system is reduced.

Keywords: wheeled tractor, semi-trailer tank, running system, dynamic loading, fluid redistribution, frequency of external disturbance.