

**Моделювання прикладних задач в автомобілебудуванні і
транспортних системах**

УДК 629.1.02

DOI: 10.30977/VEIT.2019.15.0.50

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАВНОСТІ РУХУ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ
З ПЕРЕМІННОЮ МАСОЮ ПРИ ВИКОНАННІ ТРАНСПОРТНОЇ РОБОТИ**

Кожушко А. П.¹

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

***Анотація.** Наведено результати моделювання пов'язаних коливань машинно-тракторного агрегату з напівпричіп-цистерною та з причіп-цистерною в ході прямолінійного руху при виконанні транспортної роботи. Встановлено вплив значення радіальної жорсткості шин колісного трактора на горизонтальні, вертикальні прискорення та переміщення сидіння тракториста при виконанні транспортної роботи з цистерною.*

***Ключові слова:** колісний трактор, транспортна робота, цистерна, коливання, перерозподіл мас.*

Вступ

Транспорт – одна з головних галузей держави, яка впливає на економічний добробут суспільства. Особливої ціни набуває ця галузь в агропромисловому комплексі, адже своєчасне виконання транспортних робіт призводить до якісної роботи сільськогосподарських угідь. Транспортна робота в агропромисловому комплексі зводиться до перевезення твердих або рідких вантажів, а зважаючи на те, що її можуть виконувати, як вантажні автомобілі, так і трактори, то це викликає великий інтерес. При дослідженні транспортної роботи машинно-тракторним агрегатом завжди актуально дослідження плавності руху, керованості, маневреності, тощо.

Дослідження плавності руху є системоутворюючим процесом, який впливає на ергономічні властивості, динамічну складову руху, тощо. Особливої актуальності набуває дослідження плавності руху машинно-тракторного агрегату з перемінною масою (перевезення рідких вантажів) за рахунок нехтування перерозподілом мас в причіпному пристрої відбувається зменшення експлуатаційних та техніко-економічних показників, а також створюється негативний вплив на надійність транспортного засобу.

Аналіз результатів досліджень

Існує низька наукових робіт, присвячених розгляду питань пов'язаних з дослідженням плавності руху машинно-тракторних агрега-

тів [1–9]. Залежно від поставлених задач досліджень, прийнятої розрахункової схеми математичної моделі, а також при застосовуванні відповідного методу дослідження, в цих роботах приймався ряд припущень, які потребують узагальнення або подальшого розвитку та аналізу.

Оскільки дослідження плавності руху невід'ємно пов'язано з мікропрофілем земної поверхні, то доцільно провести, відповідний аналіз робіт. Визначенню мікропрофіля дорожньої поверхні присвячені роботи [10 – 12], в яких наведено декілька варіантів реалізації кривих кореляційних функцій та спектральних щільностей, а також сформовано математичні моделі, які визначають випадкову функцію мікропрофіля поверхні. Дані підходи доцільно використовувати в залежності від поставлених задач, адже вони вимагають додаткових розрахунків.

Постановка проблеми

Метою роботи є дослідження плавності руху машинно-транспортного агрегату з перемінною масою (напівпричіп- та причіп-цистернами) за рахунок моделювання коливальної системи транспортного засобу.

Для вирішення окресленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- навести результати моделювання руху машинно-тракторного агрегату з перемінною масою, при дослідженні впливу вимушених коливань на прямолінійний рух з напівпричіп- та причіп-цистернами;

- проаналізувати значення переміщення сидіння при варіюванні жорсткістю шин колісного трактора при виконанні транспортної роботи з напівпричіпним та причіпним агрегатом.

Основний матеріал дослідження

При перевезенні рідких вантажів в агропромисловому секторі використовуються причіп- та напівпричіп-цистерни, які мають однакову платформу. Основні їх конструктивні особливості складаються в функціональності. Сьогодні, відомо декілька різновидів тракторних цистерн (ємностей), які будуються на базі напівпричепа: одновісні (2 – 16 м³), двовісні (Tandem axle) (6 – 34 м³), трьохвісні (Tridem) (17 – 36 м³), чотирьохвісні (моделі: Jamesway Maxx-Trac Dura-Tech (15 – 38,6 м³), Garant Kotte Quadro (30 – 32 м³), «Завод Кобзаренка» ВНЦ-36 (36 м³) і т.д.), а також причепа: двовісні (10 – 16 м³), тривісні (18 – 30 м³). Ходова система напівпричіп- та причіп-цистерни схожа з тракторними напівпричепами (балансирна – в випадку з двовісними та чотирьохвісними) та причепами – ресорна. Для трьохвісних причіп-цистерн використовується комбінована підвіска.

В даній роботі досліджується двовісні причіп- та напівпричіп-цистерни з об'ємом 20 м³. Разом з тим, цистерни експлуатуються з колісним трактором ХТЗ-242К. На рис. 1 наведено розрахункові схеми машинно-тракторного агрегату, 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} – поздовжній 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 поверх-

невих шарів рідини, де відбуваються низькочастотні коливання [13]; m_1, \dots, m_4 – маси мостів (разом із колесами); J_T^k – момент інерції моста трактора; J_m^{ob} – момент інерції маховика і валів двигуна; i_{tr} – 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^d, c_y^d – 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 [13]; $l_1 - l_6$ – 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; для причіп-цистерни – гак трактора і шарнір дишла на рамі причепу); l_d – це довжина дишла; R_x, R_y – поздовжня та вертикальна складова сили, яка прикладена до дишла з боку гаку трактора; $f_1 - f_7$ – коефіцієнти демпфірування; $f_1^u - f_4^u$ – сумарні коефіцієнти демпфірування шин на відповідному мосту трактора або цистерни.

Для подальшого дослідження необхідно навести початкові дані та математичний апарат, який описує пов'язані коливання машинно-тракторного агрегату та цистерни, але, оскільки матеріали даної статті є дослідницьким (адже вона є продовженням роботи [14]), то достатнім вважається наведення функції зміни мікропрофілю.

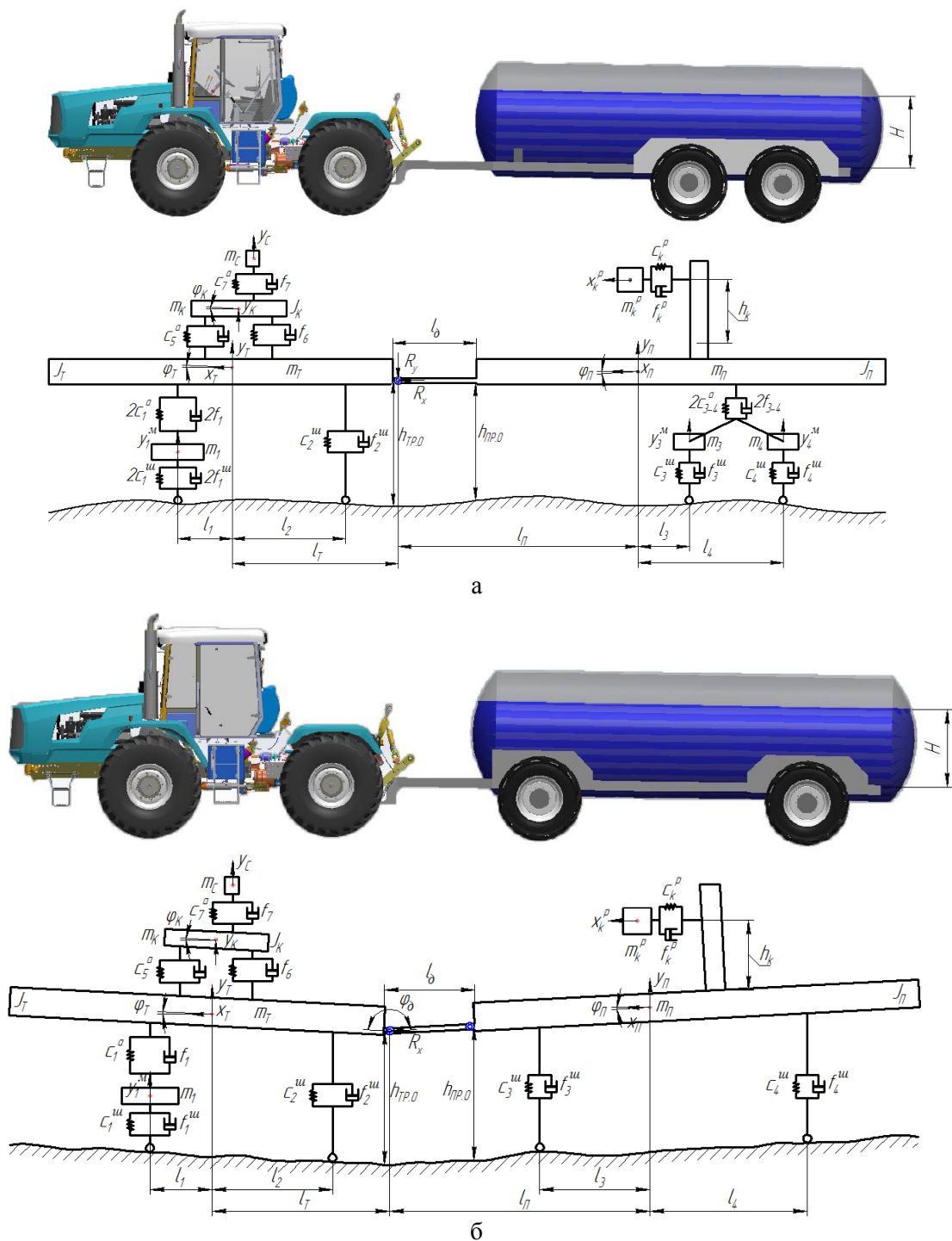


Рис. 1. Кінематична схема машинно-тракторного агрегату, що досліджується:
а – з напівпричіп-цистерною; б – з причіп-цистерною

Мікропрофіль земної поверхні достатньо описати за допомогою синусоїдального закону, а саме:

$$y_{TP1} = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi x_{TP}}{\Delta A}\right); \quad (1)$$

$$y_{TP2} = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi(x_{TP} - (l_1 + l_2))}{\Delta A}\right); \quad (2)$$

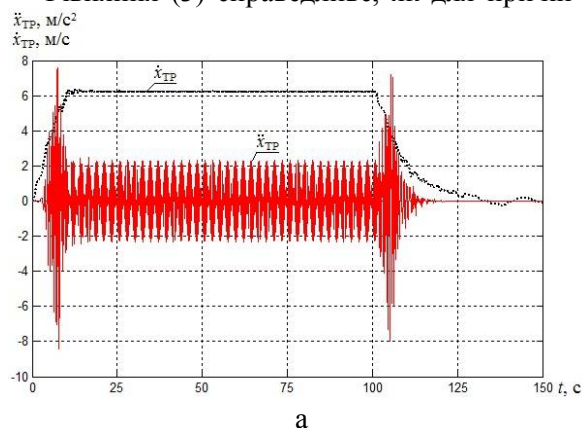
$$y_{TP3} = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi\left(x_{TP} - \left(l_1 + l_{TP} + l_\delta + l_{TP} - l_3\right)\right)}{\Delta A}\right); \quad (3)$$

$$y_{ГР4} = A \cdot \sin \left(\frac{2\pi \left(x_{ГР} - \left(\begin{array}{l} l_1 + l_{ГР} + l_0 + \\ + l_{ГР} + l_4 \end{array} \right) \right)}{\Delta A} \right), \quad (4)$$

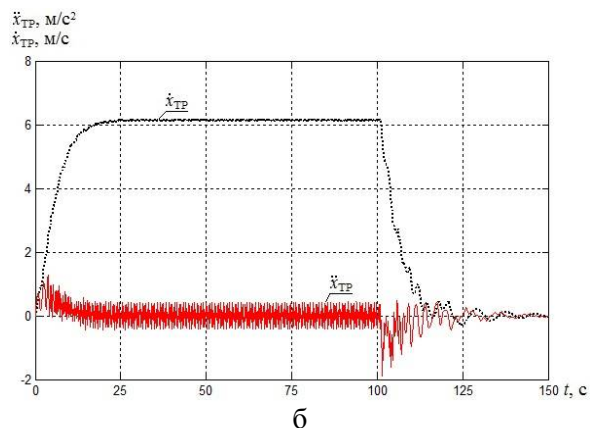
де A – амплітуда мікроколивань нерівностей;
 $x_{ГР}$ – переміщення машинно-тракторного агрегату;

ΔA – довжина хвилі мікроколивань.

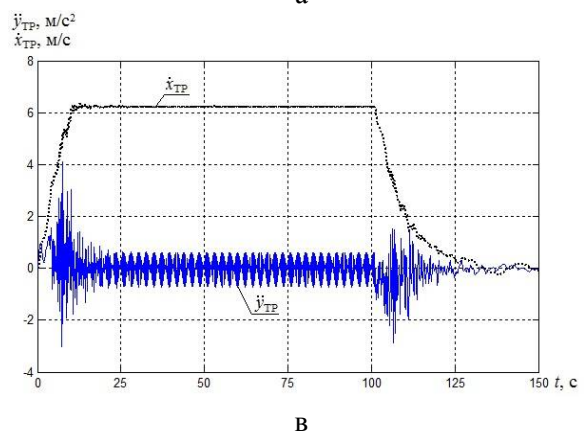
Рівняння (3) справедливе, як для причіп-



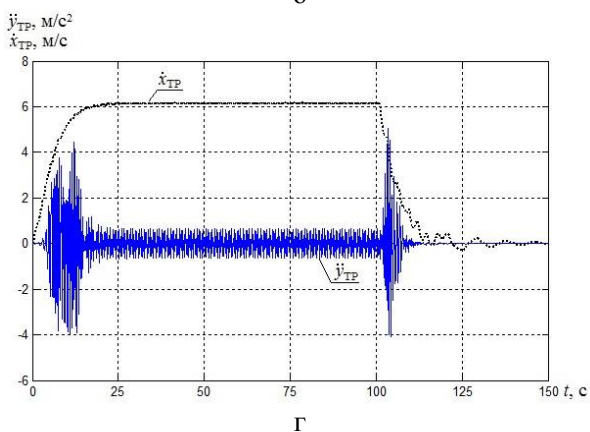
а



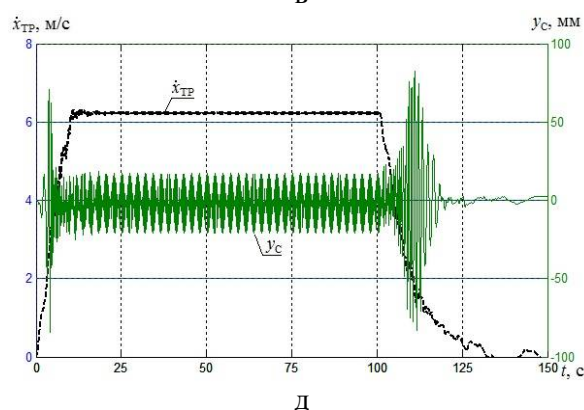
б



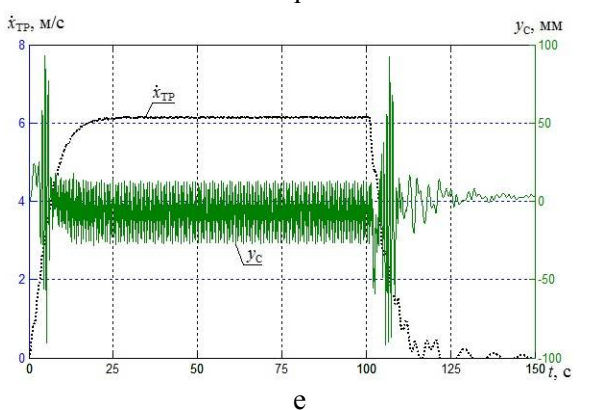
в



г



д



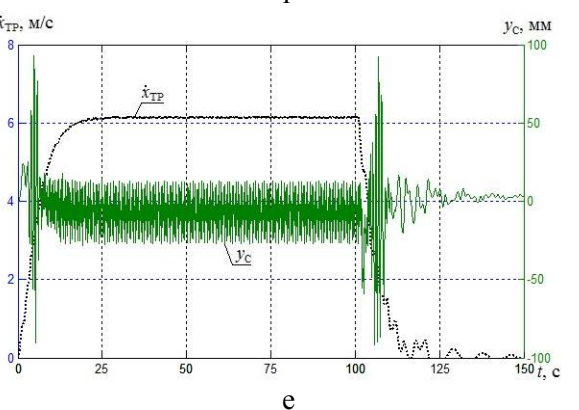
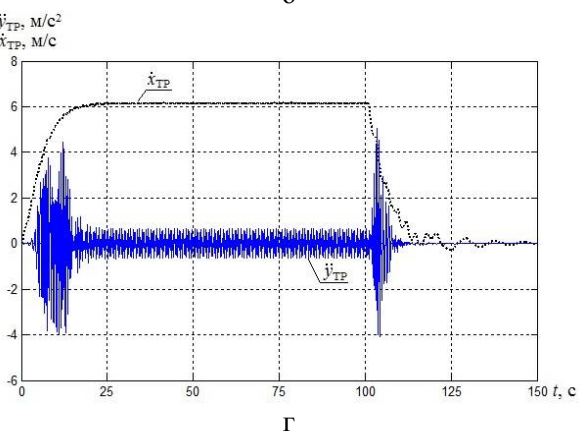
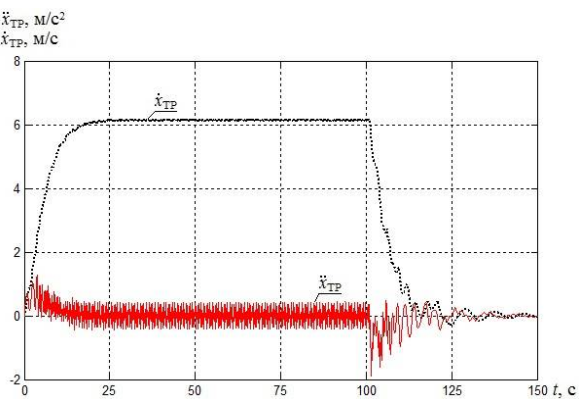
е

Рис. 3. Результати моделювання руху машинно-тракторного агрегату з напівпричіп- (а, в, д) та причіп-цистерною (б, г, е): а, б – горизонтальні прискорення; в, г – вертикальні прискорення; д, е – переміщення сидіння тракториста

На рис. 3 наведено результати моделювання вертикальних та горизонтальних прискорень трактора та переміщення сидіння з

цистерни, так і для напівпричіп-цистерни. Проте для напівпричіп-цистерни значення l_3 використовується зі знаком «+» (рис. 1), а для причіп-цистерни – зі знаком «-» (рис. 2).

Задля дослідження плавності руху машинно-тракторного агрегату з перемінною масою доцільно проводити оцінку по таким параметрам, як вертикальні та горизонтальні прискорення трактора та переміщення сидіння трактора.



урахуванням всіх етапів руху машинно-тракторного агрегату.

Машинно-тракторний агрегат прямолі-

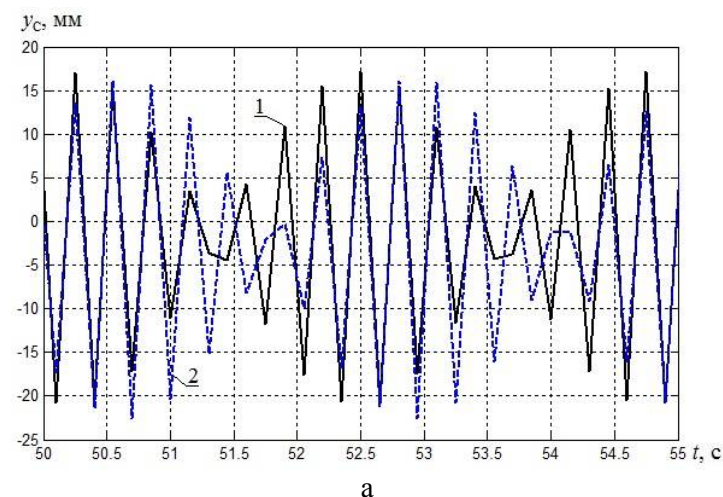
нійно рухається по асфальтобетонній поверхні, цистерна заповнена на висоту 1,6 м (дана величина обумовлена тим, що при ній спостерігаються найбільший вплив на коливальну систему машинно-тракторного агрегату [14] з урахуванням максимального заповнення на висоту 1,9 м). При моделюванні в математичну модель закладався однаковий тиск в шинах трактора ($p_{ш} = 140$ кПа), тобто жорсткість передніх та задніх шин 23,1R-26 дорівнювала 414 кН/м.

Аналізуючи отримані значення, можна зробити висновок, що на горизонтальні прискорення машинно-тракторного агрегату (рис. 3, а та б) коливання рідини в цистерні мають більший вплив при транспортуванні напівпричіпного агрегату, ніж причіпного. Дане спостереження свідчить про те, що виконання транспортної роботи машинно-тракторним агрегатом з напівпричіп-цистерною має більші енергетичні витрати, а з причіп-цистерною на динамічні складові

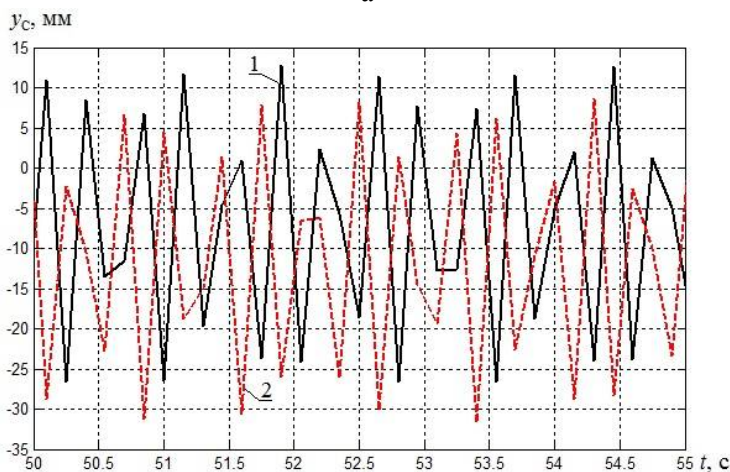
руху. Даний факт також підтверджується і при дослідженні вертикальних коливань (рис. 3, в та г).

Переміщення сидіння тракториста при сталому русі, як при виконанні транспортної роботи з напівпричіп-цистерною, так і з причіп-цистерною, має однакове максимальне значення коливань, різниця складається лише в їх частотних характеристиках.

Актуальним є дослідження при варіюванні параметром жорсткості шин колісного трактора. Так в роботі виконано аналіз показника переміщення сидіння тракториста при однаковому тиску передніх та задніх коліс трактора. При дослідженні трактор прямолінійно рухається по асфальтобетонній поверхні; цистерна заповнена на висоту 1,6 м; тиск в шинах варіювався від $p_{ш} = 60$ кПа до $p_{ш} = 160$ кПа, при цьому жорсткість шин дорівнювала 280 – 447 кН/м. Результати моделювання при сталому русі наведено на рис. 4.



а



б

Рис. 4. Результати моделювання при сталому русі машинно-тракторного агрегату: а – з напівпричіп-цистерною; б – з причіп-цистерною; 1 – при жорсткості шин трактора 280 кН/м; 2 – при жорсткості шин трактора 447 кН/м

Як видно з результатів, при транспортуванні напівпричіп-цистерни варіювання жорсткістю коліс не значним чином впливає на показник переміщення сидіння тракториста, адже співпадає частотна характеристика, тому при порівнянні по значенням максимальних амплітуд різниця складає 5%. В випадку з причіп-цистерною частотна характеристика не співпадає, а різниця значень максимальних амплітуди коливань досягає 15%.

Висновки

В матеріалах даної роботи окреслено вплив на машинно-тракторний агрегат з перемінною масою вимушених коливань при прямолінійному русі. Встановлено, що при виконанні транспортної роботи з напівпричіп-цистерною дія коливань має істотний вплив на енергетичну складову, а з причіп-цистерною – на динамічні складові руху. Також визначено, що при варіюванні радіальною жорсткістю шин колісного трактора вплив на значення переміщення сидіння тракториста при транспортуванні з напівпричіп-цистерною, здійснено не суттєво, а з причіп-цистерною – різниця величини амплітуди коливань досягає 15%.

Література

1. Scarlett A.J., Price J.S., Stayner R.M. Whole-body vibration: evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. *Journal of terramechanics*. 2007. № 44 (1). P. 65 – 73.
2. Muzammil M., Siddiqui S.S., Hasan F. Physiological effect of vibrations on tractor drivers under variable ploughing conditions. *Journal of occupational health*. 2004. № 46 (5). P. 403 – 409.
3. Fornaciari L., Pochi D., Vassalini G., Gallucci F. Investigation of the vibrations transmitted by agricultural tractor to the driver under operative conditions. *Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems*. 2008.
4. Gomez-Gil J., Gomez-Gil F., Martin-de-Leon R. The influence of tractor-seat height above the ground on lateral vibrations. *Sensors*. 2014. № 14 (10). P. 19713 – 19730.
5. Singh G.K. Effect of whole-body vibration on vehicle operators: a review. *International Journal of Science and Research*. 2014. Т. 3. № 7. P. 320 – 323.
6. Оберемок В.А., Аванесян А.М., Демьяновский

К.Н., Меликов И.М. Анализ влияния характеристик подвески и шин на нагруженность колес автомобиля при движении по стерневому фону. *Научный журнал КубГАУ*. Краснодар, 2015. № 109. С. 971 – 980.

7. Сазонов И.С., Ким В.А., Амелеченко Н.П., Билык О.В., Билык С.Ю. Гашение низкочастотных колебаний на сиденье водителя колесного трактора. *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2014. № 4 (45). С. 60 – 70.
8. Кальченко Б.І., Чернявський І.С., Кожушко А.П. Підхід до визначення звантажності трансмісії колісного трактора при впливі нерівностей поверхні. *Науковий журнал технічний сервіс, агропромислового, лісового та транспортного комплексу*. Харків, 2017. № 8. С. 49 – 54.
9. Кальченко Б.І., Ребров О.Ю., Кожушко А.П., Мамонтов А.Г. Плавність руху як складова динаміки трактора: монографія. Харків, 2018. 164 с.
10. Александрова Т.Е., Александрова И.Е., Беляев С.Н. Имитационное моделирование внешних возмущений, действующих на танковую пушку. *Механика та машинобудування*. 2011. № 1. С. 43 – 50.
11. Кальченко Б.І., Кожушко А.П., Кісельов А.Р. Оцінка плавності руху самохідної машини при впливі нерівностей поверхні. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2017. № 30 (1252). С. 56 – 63.
12. Белецкий А.В. Моделирование профиля дорожного основания в задаче анализа динамики трансмиссии колесной машины, 2010. URL: <http://sdm.str-t.ru/insertfiles/5.pdf> (дата звернення 02.04.2019).
13. Кожушко А.П., Григор'єв О.Л. Математичне моделювання низькочастотних коливань в'язкої рідини в горизонтальній ємності з вільною поверхнею. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2018. № 3 (1279). С. 41 – 51.
14. 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 «ХПІ»*. 2018. № 27 (1303). С. 34 – 61.

References

1. Scarlett A.J., Price J.S., Stayner R.M. (2007) Whole-body vibration: evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. *Journal of terramechanics*, 44(1), 65 – 73.
2. Muzammil M., Siddiqui S.S., Hasan F. (2004) Physiological effect of vibrations on tractor driv-

- ers under variable ploughing conditions. *Journal of occupational health*, 46(5), 403 – 409.
3. Fornaciari L., Pochi D., Vassalini G., Gallucci F. (2008) Investigation of the vibrations transmitted by agricultural tractor to the driver under operative conditions. *Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems*.
 4. Gomez-Gil J., Gomez-Gil F., Martin-de-Leon R. (2014) The influence of tractor-seat height above the ground on lateral vibrations. *Sensors*, 14(10), 19713 – 19730.
 5. Singh G.K. (2014) Effect of whole-body vibration on vehicle operators: a review. *International Journal of Science and Research*, 3(7), 320 – 323.
 6. Oberemok V.A., Avanesyan A.M., Demyanovskiy K.N., Melikov I.M. (2015) Analiz vliyaniya harakteristik podveski i shin na nagruzhennost koles avtomobilya pri dvizhenii po sternevomu fonu [Analysis of the influence of the characteristics of the suspension and tires on the loading of the wheels of the car when driving on a stubble background]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU. Krasnodar*, 109, 971 – 980 [in Russian].
 7. Sazonov I.S., Kim V.A., Amelchenko N.P., Bilyik O.V., Bilyik S.Yu. (2014) Gashenie nizkochastotnykh kolebaniy na sidene voditelya kolesnogo traktora [Suppression of low-frequency vibrations in the seat of a wheeled tractor driver]. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta [Bulletin of the Belarusian-Russian University]*, 4 (45), 60 – 70 [in Russian].
 8. Kal'chenko B.I., Chernyavs'kyi I.S., Kozhushko A.P. (2017) Pidkhid do vyznachennya zavantazhenosti transmisiyi kolisnogo traktora pry vplyvi nerivnostey poverkhni [Approach to determination of load of transmission of a wheeled tractor under the influence of surface irregularities]. *Naukovyy zhurnal tekhnichnyy servis, ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnogo kompleksu, Kharkiv*, 8, 49 – 54 [in Ukrainian].
 9. Kalchenko B.I., Rebrov A.Y., Kozhushko A.P., Mamontov A.G. (2018) Plavnist rukhu yak skladova dynamiky traktora [Smoothness of motion as a component of tractor dynamics]. *Monohrafiya*, 164 p [in Ukrainian].
 10. Aleksandrova T.E., Aleksandrova I.E., Beljaev S.N. (2011) Imitacionnoe modelirovanie vneshnih vozmushhenij, dejstvujushchih na tankovuju pushku [Simulation modeling of external perturbations acting on a tank gun]. *Mehanika ta mashinobuduvannja*, 1, 43 – 50 [in Russian].
 11. Kalchenko B.I., Kozhushko A.P., Kiselev A.R. (2017) Otsinka plavnosti rukhu samokhidnoi mashyny pry vplyvi nerivnostei poverkhni [Evaluation smooth movement of transport machinery when exposed irregularities]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnogo universytetu «KhPI»*, 30 (1252), 56 – 63 [in Ukrainian].
 12. Beleckij A.V. (2010) Modelirovanie profilja dorozhnogo osnovanija v zadache analiza dinamiki transmissii kolesnoj mashiny [Modeling of the road foundation profile in the task of analyzing the dynamics of the transmission of a wheeled vehicle]. Retrieved from: <http://sdm.str-t.ru/insertfiles/5.pdf> (accessed: 02.04.2019).
 13. Kozhushko A.P., Grigoriev A.L. (2018) Matematychno modeliuвання nyzkochastotnykh kolyvan viazkoi ridyny v horyzontalnii yemnosti z vilnoiu poverkhneiu [Mathematical modelling of low-frequency oscillations of viscous fluid in horizontal container with free surface]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnogo universytetu «KhPI»*, 3 (1279), 41 – 51 [in Ukrainian].
 14. Kozhushko A.P., Grygoriev A.L. (2018) Modeliuвання poviazanykh kolyvan kolisnogo traktora ta tsystemy z ridynoiu na priamomu shliakhu zi skladnym reliefom [Modeling of coupled oscillations of wheeled tractors and tanks with liquid on a straight road with difficult terrain]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnogo universytetu «KhPI»*, 27 (1303), 34 – 61 [in Ukrainian].

Кожушко Андрій Павлович¹, к.т.н., доц. кафедри автомобіле- та тракторобудування, e-mail: Andreykozhushko7@gmail.com, тел.: (057) 707 – 64 – 64,

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна, Харків, 61002, вул. Кирпичова, 2

Investigating ride quality of the machine-tractor unit with a variable mass during transport work

Abstract. *The disclosure of issues related to solving problems of transport work has always been relevant. Today, in the study of types of transport works used in agriculture, there is a problem in the study of the movement of machine-tractor unit with trailed or semi-trailer tanks, which are filled with liquid. Since the transportation of liquid cargo causes significant internal oscillations, the impact on the operation of the wheeled tractor and tank is significant. This process causes longitudinal and transverse instability, which contributes to the increase of both energy costs and emergency situations (there is an effect on vibrations of motion, controllability and stability of the vehicle, increasing the dynamic loading of the running system, etc.). The*

goal of the work is to study the smoothness of the machine-transport unit with variable weight (semitrailer-tank and tank-trailer) by simulating the vibrational system of the vehicle. Namely, to study the effect of forced oscillations on the movement of a semi-trailer tank and a trailer tank, as well as when varying the rigidity of the tires of the wheeled tractor. In solving the set goal, a methodology was used which included the analysis of the results of mathematical modeling of the vibration of the wheeled tractor and the tank with a liquid containing a free surface in the dynamic solution of the problem. The model used takes into account the redistribution of liquid in the tank, which is caused by fluctuations of the shell, using the characteristics of the Rayleigh surface waves. As a result, the data of theoretical research, which take into account the variable weight of the semi-trailer and trailer unit during the performance of the machine-tractor unit of transport work with varying rigidity of tires, is obtained. The originality is in determining the dependence of the rigidity index of the wheels of the wheeled tractor on the smoothness of the machine-tractor unit with a semi-trailer and trailer tanker. The practical value of the work is in the recommendations on the use of one or another pressure in the tires of the wheeled tractor during operation.

Key words: *wheeled tractor, transport work, tank, vibrations, mass redistribution.*

Kozhushko Andriy¹, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associated Professor at the Department of Car and Tractor Industry,

Andreykozhushko7@gmail.com

tel. (057) 707 - 64 - 64,

¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 2, Kyrpychova str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Исследование плавности движения машинно-тракторного агрегата с переменной массой при выполнении транспортной работы

Аннотация. *Приведены результаты моделирования связанных колебаний машинно-тракторного агрегата с полуприцеп- и с прицеп-цистерной в процессе прямолинейного движения при выполнении транспортной работы. Установлено влияние значения радиальной жесткости шин колесного трактора на горизонтальные, вертикальные ускорения и перемещения сиденья тракториста при выполнении транспортной работы с цистерной.*

Ключевые слова: *колесный трактор, транспортная работа, цистерна, колебания, перераспределение масс.*

Кожушко Андрей Павлович¹, к.т.н., доц. каф. автомобиле- и тракторостроения, e-mail:

Andreykozhushko7@gmail.com,

тел.: (057) 707 - 64 - 64,

¹Харьковский национальный университет «Харьковский политехнический институт», Украина, Харьков, 61002, ул. Кирпичева, 2