

УДК 629.1.02

doi:10.20998/2413-4295.2019.05.05

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРИЧІПНИХ ТА НАПІВПРИЧІПНИХ ЦИСТЕРН У СКЛАДІ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ

А. П. КОЖУШКО*

кафедра автомобіле- та тракторобудування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, УКРАЇНА

*e-mail: Andreykozhusko7@gmail.com

АНОТАЦІЯ Мета роботи полягає в обґрунтуванні вибору машинно-тракторного агрегату з причеп- та напівпричеп-цистерною при формуванні динамічної моделі прямолінійного руху по складному рельєфу за рахунок комплексного підходу при аналізі сучасної сільськогосподарської техніки. В результаті обчислення коефіцієнту енергонасиченості колісних тракторів за критеріями однакового типорозміру передніх та задніх шин, а також діапазону зміни потужності двигуна $200 \div 500$ к.с., наведено світові марки колісних тракторів: Claas, Case, New Holland, John Deere, ХТЗ та інші. На основі даного аналізу встановлено приналежність колісних тракторів з однаковим типорозміром шин до тягової або тягово-енергетичної концепції. Встановлено, що до тягово-енергетичної концепції відноситься значна більшість тракторів, тобто сучасні тракторовиробники не виключають умов експлуатації з паралельно працюючими приводами відбору потужності, наприклад, при виконанні транспортних або транспортно-технологічних операцій. Виконано аналіз світових виробників тракторних цистерн, які використовуються при транспортуванні рідини в сільськогосподарські угіддя. Встановлено можливий діапазон кількості рідини в цистерні залежно від конструктивних особливостей платформи (основи). В роботі відмічено, що більш популярним є платформа напівпричип-цистерна, проте для комплексного аналізу перерозподілу центру мас рідини в ємності необхідно розглянути як напівпричип, так і причип-цистерни. Окреслена конструкція ходової системи напівпричип-цистерни і причип-цистерни. Наведено спрощені динамічні моделі напівпричип- та причип-цистерни з встановленням керуючого впливу на загальну систему машинно-тракторного агрегату, зовнішнього збурення, реакції трактора та цистерни, а також вплив перерозподілу маси рідини в цистерні на колісний трактор. Висвітлено основні підходи щодо формування динамічної (нелінійної) моделі прямолінійного руху машинно-тракторного агрегату з напівпричип- і причип-цистернами. Описані компоненти динамічної моделі, які змінюються у вертикальній і поздовжній площинах, а також при кутових переміщеннях.

Ключові слова: машинно-тракторний агрегат; цистерна; колісний трактор; коливання; сталий рух; математична модель

ANALYSIS OF DESIGN FEATURES TRAILED AND SEMITRAILER TANKS AS PART OF THE MACHINE-TRACTOR UNIT

А. КОЖУШКО

Department of Car and Tractor Industry, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The aim of the work is to substantiate the choice of a machine-tractor unit with a landing gear and semi-trailer tanks when forming a dynamic model of rectilinear movement over complex terrain due to an integrated approach in the analysis of modern agricultural machinery. As a result of calculating the coefficient of energy saturation of wheeled tractors according to the criteria of the same size of the front and rear tires, as well as the range of engine power change $200 \div 500$ hp, the world brands of tractors are given: Claas, Case, New Holland, John Deere, KhTZ and others. On the basis of this analysis, the belonging of wheeled tractors with the same tire size to the traction or traction energy concept was established. It was established that the overwhelming majority of tractors belong to the traction and energy concept, that is, modern tractor manufacturers do not exclude operating conditions with parallel operating power take-offs, for example, when performing transport or transport-technological operations. The analysis of global manufacturers of tractor tanks used in the transportation of fluids in agricultural lands was carried out. A possible range of the amount of fluid in the tank depending on the design features of the platform (wreck) has been established. It was noted that the semi-trailer tank platform is more popular; however, for a comprehensive analysis of the redistribution of the center of mass of the liquid in the tank, it is necessary to consider both the semi-trailer and the trailer tank. Suspension system semi-trailer tank and tank trailer is designated. Simplified dynamic models of semi-trailer and tank trailers with the establishment of the control action on the overall system of the machine-tractor unit, external disturbance, the reaction of the tractor and the tank, as well as the effect of the redistribution of fluid mass on the wheel tractor are given. The main approaches to the formation of a dynamic (non-linear) model of a straight-line movement of a machine-tractor unit with semi-trailers and tank trailers are highlighted. The components of the dynamic model, which vary in the vertical and longitudinal planes, as well as during angular displacements, are described.

Keywords: machine-tractor unit; tank; wheeled tractor; vibrations; constant movement; mathematical model

Вступ

Сільське господарство сьогодні є однією з важливіших та перспективних платформ для

інвестицій, які надають стрімкий ріст економіки, як фермерського угіддя, так і в цілому держави. Розвиток агропромислового сектору направлено на створення нової техніки, модернізацію старої або

впровадження нових технологій. Ці інновації повинні підвищити технічний рівень агротехніки.

Сьогодні в фермерських господарствах машинно-тракторний агрегат виконує транспортні, транспортно-технологічні та технологічні операції (рис. 1). Особливий інтерес викликає дослідження при виконанні транспортних робіт, адже їх кількість може досягати позначки в 50%, залежно від загального обсягу робіт у фермерському господарстві.



Рис. 1 – Частковий вид робіт, який виконує машинно-тракторний агрегат

Як сказано вище, розподіл між технологічними та транспортними роботами може досягати 50%, тому доцільно виконати огляд операцій, які виконуються в сільському господарстві (рис.1). При транспортуванні виділяються такі типи вантажу: тверді та рідкі. Особливий інтерес викликає перевезення рідких вантажів, адже при такому транспортуванні спостерігається перерозподіл мас (коливання рідини в ємності), який призводить до поздовжньої та поперечної нестабільності, що, в свою чергу, веде до створення аварійних ситуацій – як наслідок, відбувається вплив на плавність руху, керованість, стійкість, маневреність, тощо [8]. Таким чином, дослідження впливу перерозподілу мас при перевезенні рідких вантажів в складі машинно-тракторного агрегату є актуальним.

У роботі [8] автори виділяють основні коливальні рухи оболонки, які впливають на перерозподіл мас в ємності, де на основі рівняння Стокса для ізотермічного руху ньютонівської в'язкої нестисливої рідини, а також формули Лапласа для сили поверхневого натягу, складають математичну модель низькочастотних коливань рідини і аналітичні вирази для власних частот. Для подальшого

Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Існує ціла низка робіт [1–13], присвячених безпосередньо дослідженню машинно-тракторних агрегатів або фізіологічних потреб водія, як при виконанні тягових (технологічних), так і транспортних робіт. Дані наукові праці направлені на вирішення локальних або глобальних проблем в сільському господарстві.

дослідження динаміки прямолінійного руху машинно-тракторного агрегату з цистерною необхідно проаналізувати конструкцію причіпних пристроїв.

Мета роботи

Метою дослідження є обґрунтування вибору машинно-тракторного агрегату з цистерною при формуванні динамічної моделі прямолінійного руху по складному рельєфу за рахунок комплексного підходу при аналізі сучасної техніки.

Для досягання окресленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- на основі дослідження сучасної колісної тракторної техніки виконати аналіз колісних тракторів за коефіцієнтом енергонасиченості;
- виконати аналіз конструктивних особливостей причіп- та напівпричіп-цистерн, які використовуються при транспортуванні рідини;
- окреслити етапи формування динамічної моделі машинно-тракторного агрегату з цистерною.

Виклад основного матеріалу

Сучасний темп розвитку тракторної техніки призвів до збільшення енергонасиченості, як колісної,

так і гусеничної техніки, що, в свою чергу, надав змогу аграріям підвищити масу агрегатної частини машинно-тракторного агрегату (в деяких випадках дана маса значно перевищує масу самого трактора).

Енергонасиченість прийнято визначати за коефіцієнтом енергонасиченості, який дає змогу встановлювати технічну концепцію та відповідність своєму призначенню за критерієм тягово-швидкісних властивостей

$$\Theta_{\text{тр}} = \frac{N_{\text{ном}}}{G}, \quad (1)$$

де $N_{\text{ном}}$ – номінальна потужність двигуна внутрішнього згоряння; G – вага трактора.

При збільшенні потужності силової установки машинно-тракторного агрегату її реалізація може здійснюватися за рахунок збільшення швидкості руху або тягових характеристик, виникають збуджувальні перешкоди, які впливають на техніко-економічні та технічні показники, безпеку руху, тощо. Зважаючи на це, доцільно дослідити енергонасиченість сучасних колісних тракторів. Оскільки під таке формулювання аналізу припадає достатня кількість техніки, тоді дослідження буде відбуватися за критеріями однакового типорозміру передніх та задніх шин і діапазону зміни потужності 200 ÷ 500 к.с. Результати аналізу наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати дослідження енергонасиченості сучасних колісних тракторів

Модель трактора	Зображення трактора	Держава виробник	Номінальна потужність двигуна, к.с.	Показник енергонасиченості, кВт/кН	Тяговий клас	Типорозмір шин
ХТЗ-242К		Україна	240	2,02	4 – 6	23,1 R26
Versatile 2375		Канада	380	2,44	5 – 8	520/85 R42
Claas Xerion 4000		Німеччина	401	1,75	5 – 8	900/60 R42
Кіровоць К-744Р		РФ	350	1,94	5 – 8	28,1 R26
Case IH Steiger 335		Транснац. корпорація (Швейцарія)	340	1,89	8	20,8 R42
New Holland T 9020		Транснац. корпорація (США)	371	1,57	8	710/70 R42
John Deere 9330		Транснац. корпорація (США)	375	1,84	8	620/70 R42
Challenger MT900B		США	430	1,85	8	710/70 R42

Відома [9,10] наступна класифікація тракторів за величиною коефіцієнта енергонасиченості:

- 1,4 ... 1,7 – тягова концепція тракторів;

- 1,7 ... 2,3 – тягово-енергетична концепція (можливість обладнання техніки додатковими приводами відбору потужності).






Таким чином, дані з табл. 1 свідчать про те, що при аналізі колісних тракторів за критеріями однакового типорозміру передніх та задніх шин і діапазону зміни потужності 200 ÷ 500 к.с. до тягової концепції належить лише New Holland T 9020 (1,57 кВт/кН), а інші – до тягово-енергетичної. Такий розподіл показує, що сучасні тракторовиробники не виключають умов експлуатації з паралельно працюючими приводами відбору потужності.

Особливо доцільно використовувати такі трактори при виконанні транспортних та транспортно-технологічних операцій, зокрема, при перемішуванні рідкої рідини (суспензії або інших органічних добрив) в цистерні при виконанні транспортної операції, або при розкиданні твердих добрив при транспортно-технологічній операції.

Оскільки великого інтересу викликає перерозподіл мас в ємності необхідно дослідити конструктивні особливості причіп- та напівпричіп-цистерн, які використовуються спільно з машинно-тракторним агрегатом.

Аналіз тракторних цистерн виконано на основі конструкції ходової системи та об'єму, результати наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Різновид конструкцій тракторних цистерн

Виробник	Мінімальний та максимальний об'єм, м ³				
					
Merprozet (Польща)	2,3 – 9	9 – 20	18 – 30	–	–
Joskin (Бельгія)	5 – 11	11 – 20,5	22,5 – 26	–	23,5
Garant Kotte (Німеччина)	5 – 12	12 – 20	22 – 25	–	20 – 28
Сonog (Ірландія)	5 – 11,7	14 – 17,5	–	–	–
Fliegl (Німеччина)	3 – 10,6	6,2 – 18	18 – 25	–	–
Stapel (Німеччина)	3 – 11,5	10 – 19,5	18,5 – 30	10	20
Wienhoff (Німеччина)	7 – 11,7	12 – 20,2	20 – 30	–	26,5 – 30
Samson (Данія)	–	16 – 20	21 – 35	–	20 – 25
Fuchs (Австрія)	6 – 10	10 – 18	24	–	–
Реесон (Німеччина)	3 – 13	7,5 – 20	21 – 24,5	–	–
BSA (Німеччина)	5 – 14	6 – 18,5	20 – 27	16	18 – 24
Thyregod (Данія)	12	15 – 20	20 – 24	–	–
NUHN (Канада)	1,1 – 5,68	7,2 – 34	24 – 35,96	–	–
Agronic (Фінляндія)	10 – 12	14 – 20	17 – 30	–	–
NC Engineering (Ірландія)	5 – 13,5	10 – 20	18,2 – 25	–	–
Mauguin Citagri (Франція)	4,3 – 11	12 – 16,7	21 – 32	–	–
Veenhuis (Голландія)	8 – 16	13,5 – 22	19,9 – 29,1	–	–
ЛУМРА (РФ)	3,1 – 10,9	8,3 – 18,2	20,4 – 26	–	–
МЖТ (Білорусь)	–	6 – 11	–	10	16
МЖУ (Білорусь)	–	16 – 20	–	–	–
РЗС (Україна)	6	11 – 16	30	–	–
ВНЦ (Україна)	6 – 10	10 – 20	20 – 30	–	–

На сьогоднішній день, відомо декілька типів конструктивних особливостей тракторних цистерн (ємностей), які використовуються компаніями при

проектванні. Це, насамперед, цистерни, які будуються на базі напівпричепа: одновісні, двовісні (Tandem axle), трьохвісні (Tridem), 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, тривісні. Ходова система напівпричіп- та причіп-цистерни схожа з тракторними напівпричепами (балансирна) та причепами (ресорна).

На основі проведеного аналізу встановлено, що більш популярними є напівпричіп-цистерни, проте задля комплексного аналізу перерозподілу центру мас в ємності необхідно розглядати, як напівпричіп-, так і причіп-цистерни.

При описі етапів формування динамічної (нелінійної) моделі машинно-тракторного агрегату

обрано, як агрегатну частину, двовісний напівпричіп-цистерну та двовісний причіп-цистерну. Даний вибір обґрунтовується тим, що при подальшому додаванні осей в динамічну модель змінюється лише опис підресореної та непідресореної мас і незмінним залишається принцип дії збурювальних сил при перерозподілі центру мас.

На рис. 2 наведено спрощені схеми машинно-тракторного агрегату з причіп- та напівпричіп-цистерн задля формування динамічної моделі в площині поздовжніх коливань.

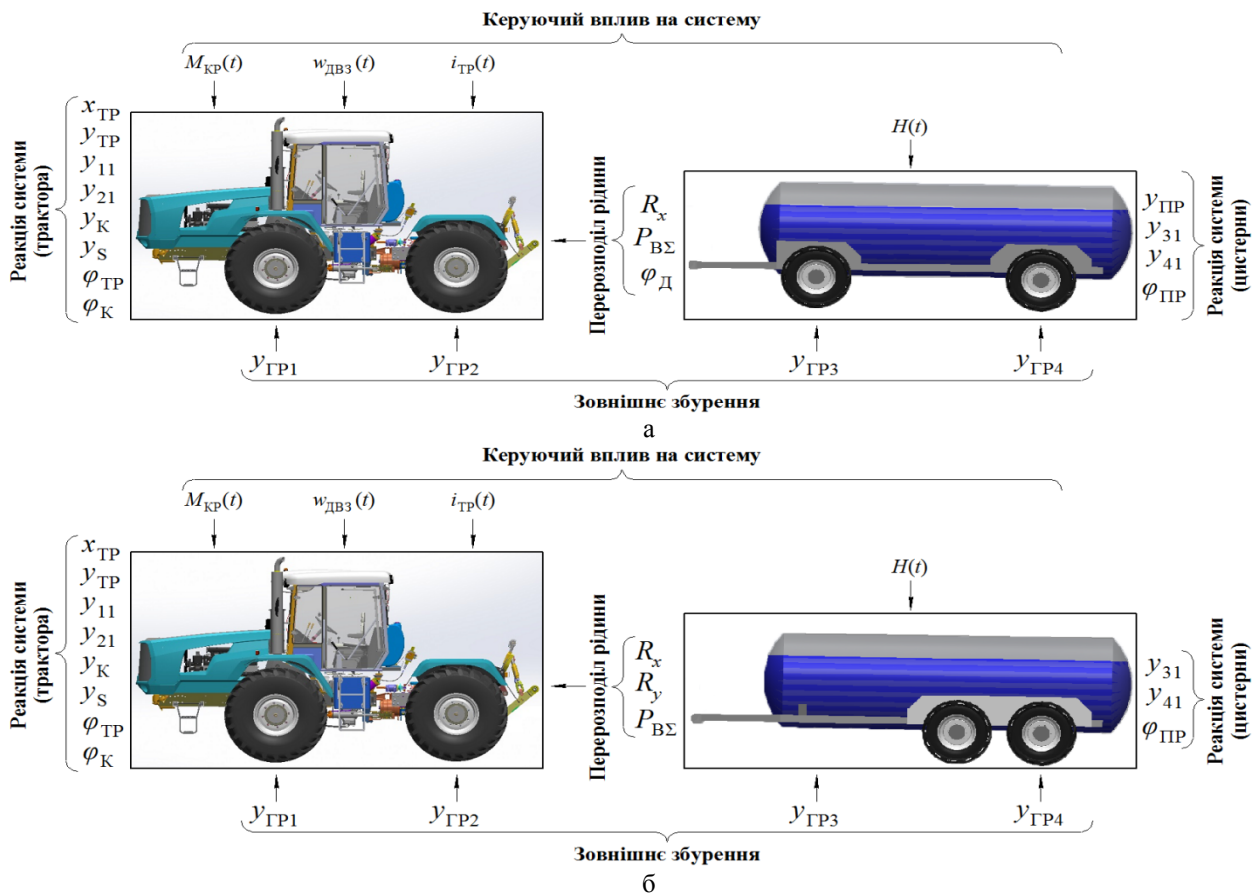


Рис. 2 – Динамічні моделі в поздовжній площині: а – причіп-цистерна; б – напівпричіп-цистерна

Формування динамічної моделі робиться на основі вирішення диференціальних рівнянь:
– вертикальні переміщення

$$d^2 y_{TP} / dt^2 = f(y_{11}, y_{21}, y_K, y_S, \varphi_{TP}, \varphi_K, x_{TP}); \quad (2)$$

– поздовжні переміщення

$$d^2 x_{TP} / dt^2 = f(M_{KP}, i_{TP}, y_{ГРi}, P_{B\Sigma}); \quad (3)$$

– кутові переміщення

$$d^2 \varphi_{TP} / dt^2 = f(x_{TP}, R_x, R_y), \quad (4)$$

де y_{11}, y_{21}, y_K, y_S – вертикальне переміщення мостів трактора, кабіни та сидіння водія; φ_{TP}, φ_K – кут нахилу остову трактора та кабіни; x_{TP} – поздовжнє переміщення трактора; M_{KP} – крутний момент двигуна внутрішнього згоряння; i_{TP} – передавальне число трансмісії трактора; $y_{ГРi}$ – функція, яка описує зміну мікропрофілю та макропрофілю дороги; $P_{B\Sigma}$ – нелінійна характеристика сили, що створюється коливанням рідини в цистерні; R_x, R_y – поздовжня та вертикальна складова сили, яка прикладена до диска з боку гаку трактора.

Обговорення результатів

Дана стаття є, в більшій мірі, оглядовою та аналітичною. На основі визначення конструктивних особливостей цистерн, що використовуються в фермерських угіддях, а також формування етапів побудови динамічної (нелінійної) моделі машинно-тракторного агрегату, автор планує розробити рекомендації щодо забезпечення функціональної стабільності машинно-тракторних агрегатів.

Висновки

У роботі окреслено основні конструктивні особливості світових виробників цистерн, які використовуються при транспортуванні рідини в сільськогосподарському угідді. Наведено діапазон зміни об'ємів цистерн в залежності від конструкції платформи цистерни.

За рахунок обчислення коефіцієнту енергонасиченості за критеріями однакового типорозміру передніх та задніх шин, а також діапазону зміни потужності двигуна 200 ÷ 500 к.с. висвітлено світові марки колісних тракторів.

Наведено основні підходи формування динамічної (нелінійної) моделі прямолінійного руху машинно-тракторного агрегату з напівпрічип- та прічип-цистерною.

Список літератури

1. **Mehta, C. R.** Biomechanical model to predict loads on lumbar vertebra of a tractor operator / **C. R. Mehta, V. K. Tewari** // *International Journal of Industrial Ergonomics*. – 2015. – № 47. – P. 104-116. – doi: 10.1016/j.ergon.2015.02.006.
2. **Juostas, A.** Investigation of tractor engine power and economical working conditions utilization during transport operation / **A. Juostas, A. Janulevičius** // *Transport*. – 2008. – № 23 (1). – P. 37-43. – doi: 10.3846/1648-4142.2008.23.37-43.
3. **Кальченко, Б. І.** Методологічні засади створення сімейства тракторів загального призначення / **Б. І. Кальченко, А. П. Кожушко** // *Автомобильный транспорт*. – 2018. – № 42. – С. 53-60. – doi: 10.30977/AT.2219-8342.2018.42.0.53.
4. **Кальченко, Б. І.** Дослідження динамічної стійкості та плавності руху колісних тракторів / **Б. І. Кальченко, А. П. Кожушко** // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 44 (1266). – С. 110-115.
5. **Bettle, J.** A computational study of the aerodynamic forces acting on a tractor-trailer vehicle on a bridge in cross-wind/ **J. Bettle, A. G. L. Holloway, J. E. S. Venart** // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. – 2003. – № 91 (5). – P. 573-592. – doi: 10.1016/S0167-6105(02)00461-0.
6. **Scarlett, A. J.** Whole-body vibration: evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors / **A. J. Scarlett, J. S. Price, R. M. Stayner** // *Journal of terramechanics*. – 2007. – № 44 (1). – P. 65-73. – doi: 10.1016/j.jterra.2006.01.006.
7. **Servadio, P.** Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors / **P. Servadio, A. Marsili, N. P.**

- Belfiore** // *Biosystems engineering*. – 2007. – № 97 (2). – P. 171-180. – doi: 10.1016/j.biosystemseng.2007.03.004.
8. **Кожушко, А. П.** Математичне моделювання вільних і вимушених коливань рідини в горизонтальній ємності з вільною поверхнею / **А. П. Кожушко, О. Л. Григор'єв** // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – №3(1279). – С.41-51.
9. **Ребров, А. Ю.** Определение рациональной энергонасыщенности пахотного мта на базе колесного сельскохозяйственного трактора / **А. Ю. Ребров, В. Б. Самородов, В. В. Кучков** // *Механика та машинобудування*. – 2011. – № 1. – С. 136-140.
10. **Лебедев, А. Т.** Некоторые проблемы теории трактора тяговоэнергетической концепции / **А. Т. Лебедев** // *Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ*. – Х.: ХНТУСГ. – 2012. – С. 5-13.
11. **Janulevicius, A.** Engine working modes during tractors operational period / **Variklio darbo rezimai traktoriu eksploatacijos metu** / **A. Janulevicius, A. Juostas, G. Pupinis** // *Mechanika*. – 2010. – № 3 (83). – P. 58-64.
12. **Marsili, A.** PM—Power and Machinery: Innovative Systems to reduce Vibrations on Agricultural Tractors: Comparative Analysis of Acceleration transmitted through the Driving Seat / **A. Marsili, L. Ragni, G. Santoro, P. Servadio, G. Vassalini** // *Biosystems engineering*. – 2002. – № 81(1). – P. 35-47. – doi: 10.1006/bioe.2001.0003.
13. **Miao, M.** Hydromechatronically-integrated simulation on tractor suspension systems / **M. Miao, Z. H. Wang, S.D. Gao, H. F. Liu, J. J. Mou** // *Chinese Journal of Construction Machinery*. – 2012. – № 10 (3). – P. 286-290.

Bibliography (transliterated)

1. **Mehta, C. R., Tewari, V. K.** Biomechanical model to predict loads on lumbar vertebra of a tractor operator. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2015, **47**, 104-116, doi: 10.1016/j.ergon.2015.02.006.
2. **Juostas, A., Janulevičius, A.** Investigation of tractor engine power and economical working conditions utilization during transport operation. *Transport*, 2008, **23**(1), 37-43, doi: 10.3846/1648-4142.2008.23.37-43.
3. **Kalchenko, B. I., Kozhushko, A. P.** Metodologichni zasady stvorennia simeistva traktoriv zahalnoho pryznachennia [Methodological foundations for the creation of a family of general purpose tractors]. *Avtomobilnyy transport [Automobile transport]*, 2018, **42**, 56-60, doi: 10.30977/AT.2219-8342.2018.42.0.53.
4. **Kalchenko, B. I., Kozhushko, A. P.** Doslidzhennia dynamichnoi stiikosti ta plavnosti rukhu kolisnykh traktoriv [Research dynamic stability and vibration while driving wheeled tractor]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI» [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*, 2017, **44**(1266), 110-115.
5. **Bettle, J., Holloway, A. G. L., Venart, J. E. S.** A computational study of the aerodynamic forces acting on a tractor-trailer vehicle on a bridge in cross-wind. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2003, **91**(5), 573-592, doi: 10.1016/S0167-6105(02)00461-0.
6. **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), 65-73, doi: 10.1016/j.jterra.2006.01.006.
7. **Servadio, P., Marsili, A., Belfiore, N. P.** Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors, *Biosystems engineering*, 2007, **97**(2), 171-180, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2007.03.004.

8. **Kozhushko, A. P., Hryhoriev, A. L.** Matematychno modelivannia vilnykh i vymushenykh kolyvan ridyny v horyzontalnoi yemnosti z vilnoi u poverkhneiu [Modeling of coupled oscillations of a wheeled tractor and cistern during operation]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI» [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]*, 2018, **3**(1279), 41-51.
9. **Rebrov, A. Yu., Samorodov, V. B., Kuchkov, V. V.** Opredelenie ratsionalnoy energonasyishennosti pahotnogo mta na baze kolesnogo selskohozyaystvennogo traktora [Determination of rational energy saturation of arable mta on the basis of a wheeled agricultural tractor]. *Mekhanika ta mashynobuduvannia [Mechanics and machine building]*, 2011, **1**, 136-140.
10. **Lebedev, A. T.** Nekotorye problemy teorii traktora tyagovoenergeticheskoy kontseptsii [Some problems of the theory of tractor traction energy concept]. *Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva: Visnyk KhNTUSH [Mechanization of agricultural production: Journal KNTUA]*, 2012, 5-13.
11. **Janulevicius, A., Juostas, A., Pupinis, G.** Engine working modes during tractors operational period / Variklio darbo rezimai traktoriu eksploatacijos metu. *Mechanika*, 2010, **3**(83), 58-64.
12. **Marsili, A., Ragni, L., Santoro, G., Servadio, P., Vassalini, G.** PM – Power and Machinery: Innovative Systems to reduce Vibrations on Agricultural Tractors: Comparative Analysis of Acceleration transmitted through the Driving Seat. *Biosystems engineering*, 2002, **81**(1), 35-47, doi: 10.1006/bioe.2001.0003.
13. **Miao, M., Wang, Z. H., Gao, S. D., Liu, H. F., Mou, J. J.** Hydromechatronically-integrated simulation on tractor suspension systems. *Chinese Journal of Construction Machinery*, 2012, **10**(3), 286-290.

Відомості про автора (About the Authors)

Кожушко Андрій Павлович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри автомобіле- та тракторобудування; м. Харків; Україна; ORCID: 0000-0002-4725-5911; e-mail: Andreykozhushko7@gmail.com.

Andriy Kozhushko – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associated Professor at the Department of Car and Tractor Industry; Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-4725-5911; e-mail: Andreykozhushko7@gmail.com.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Кожушко, А. П. Аналіз конструктивних особливостей причіпних та напівпричіпних цистерн у складі машинно-тракторного агрегату / **А. П. Кожушко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 5 (1330). – С. 34-40. – doi:10.20998/2413-4295.2019.05.05.

Please cite this article as:

Kozhushko, A. Analysis of design features trailed and semitrailer tanks as part of the machine-tractor unit. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **5** (1330), 34-40, doi:10.20998/2413-4295.2019.05.05.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Кожушко, А. П. Анализ конструктивных особенностей прицежных и полуприцежных цистерн в составе машинно-тракторного агрегата / **А. П. Кожушко** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 5 (1330). – С. 34-40. – doi:10.20998/2413-4295.2019.05.05.

АННОТАЦІЯ Цель работы заключается в обосновании выбора машинно-тракторного агрегата с прицеп- и полуприцеп-цистернами при формировании динамической модели прямолинейного движения по сложному рельефу за счет комплексного подхода при анализе современной сельскохозяйственной техники. В результате вычисления коэффициента энергонасыщенности колесных тракторов по критериям одинакового типоразмера передних и задних шин, а также диапазона изменения мощности двигателя 200 ÷ 500 л.с., приведены мировые марки тракторов: Claas, Case, New Holland, John Deere, ХТЗ и другие. На основе данного анализа установлена принадлежность колесных тракторов с одинаковым типоразмером шин к тяговой или тягово-энергетической концепции. Установлено, что к тягово-энергетической концепции относится подавляющее большинство тракторов, то есть современные производители тракторов не исключают условий эксплуатации с параллельно работающими приводами отбора мощности, к примеру, при выполнении транспортных или транспортно-технологических операций. Выполнен анализ мировых производителей тракторных цистерн, используемых при транспортировке жидкости в сельскохозяйственных угодьях. Установлен возможный диапазон количества жидкости в цистерне в зависимости от конструктивных особенностей платформы (остова). В работе отмечено, что более популярным является платформа полуприцеп-цистерна, однако для комплексного анализа перераспределения центра масс жидкости в емкости необходимо рассмотреть как полуприцеп, так и прицеп-цистерны. Обозначена конструкция ходовой системы полуприцеп-цистерны и прицепа-цистерны. Приведены упрощенные динамические модели полуприцеп- и прицеп-цистерны с установленным управляющим воздействием на обобщенную систему машинно-тракторного агрегата, внешнего возмущения, реакции трактора и цистерны, а также влияние перераспределения массы жидкости в цистерне на колесный трактор. Освещены основные подходы к формированию динамической (нелинейной) модели прямолинейного движения машинно-тракторного агрегата с полуприцеп- и прицеп-цистернами. Описаны компоненты динамической модели, которые изменяются в вертикальной и продольной плоскостях, а также при угловых перемещениях.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат; цистерна; колесный трактор; колебания; постоянное движение; математическая модель.

Надійшла (received) 14.02.2019