

**ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГЕТИЧНІ ЗАСОБИ,
ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ
ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ**

DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2020-12-15>
УДК 631.372.004

**Вплив параметрів начіпного пристрою на негативні резонансні коливання
під час роботи машинно-тракторного агрегату в транспортному режимі**

Третяк В. М.,

к.т.н., доцент, Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», e-mail: viktor_tretyak@ukr.net; ORCID iD 0000-0002-7641-7262

Чабан В. В.,

Генеральний директор ТОВ «Укравтозапчастина»

Оляднічук Р. В.,

к.т.н., доцент кафедри агроінженерії, Уманський національний університет садівництва;
ORCID iD 0000-0003-3459-1673

Говоров О. Ф.,

к.т.н., с.н.с., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»,

e-mail: Aleksandr_Govorov@ukr.net; ORCID iD 0000-0002-1645-1725

Мельник Р. В.,

к.т.н., пров.н.с., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»; ORCID iD 0000-0003-4599-2472

Анотація

Мета. Зменшення впливу негативних резонансних явищ на елементи конструкції трактора типу КИЙ 14102 під час руху з навісним знаряддям у транспортному режимі.

Методи. Для вирішення поставленої задачі використовувалися засоби графоаналітичних побудов, аналітичної геометрії, теорії коливань та теоретичної механіки.

Результати. На підставі графоаналітичного аналізу кінематичної схеми начіпного пристрою трактора типу КИЙ 14102 з'ясовано, що положення миттєвого центру його обертання суттєво залежить від зміни кута між остовом трактора та важелями, які об'єднано пристроєм автоматичного з'єднання СА-1. Діапазон частот вимушених коливань остова трактора, які виникають під час руху в певному діапазоні швидкостей, може співпадати з відносною власною частотою тракторів, що призводить до резонансних явищ. Резонансні повздовжньо-кутові коливання остова трактора зменшують нормальні реакції керованих коліс з опорною поверхнею, що погіршує керо-

ваність. Зміну частоти власного резонансу елементів з'єднання трактора зі знаряддям можна здійснювати зміною кінематичної жорсткості начіпної системи.

Висновки

1. Кінематична схема начіпного пристрою тракторів суттєво впливає на залежність положення миттєвого центру обертання начіпного пристрою відносно маси знаряддя, що агрегується.

2. Наявні параметри начіпних систем тракторів типу КИЙ 14102 можуть призводити до виникнення резонансних явищ під час руху в транспортному режимі по ґрунтових польових дорогах, що негативно впливає на керованість МТА.

3. Зменшення резонансної частоти власних коливань системи начіпного пристрою зі знаряддям завдяки зменшенню кінематичної жорсткості дозволяє покращити динаміку взаємодії елементів машинно-тракторного агрегату між собою та з опорною поверхнею.

Ключові слова: машинно-тракторний агрегат, начіпна система, коливання, динамічні навантаження, резонанс, жорсткість.

UDC 631.372.004

Influence of hinged device parameters on negative resonance oscillations during the operation of machine-tractor unit in transport mode

Tretyak V. M.,

Ph.D., Associate Professor, National Scientific Center “Institute of Agricultural Engineering and Electrification”; ORCID iD 0000-0002-7641-7262

Sheban V. V.,

director general of LTD “Ukravtozaphcast”

Oliadnichuk R. V.,

Ph.D., Associate Professor of Agricultural Engineering, Uman National University of Horticulture; ORCID iD 0000-0003-3459-1673

Govorov O. F.,

Ph.D., Senior Research Fellow, National Scientific Center “Institute of Agricultural Engineering and Electrification”; ORCID iD 0000-0002-1645-1725

Melnik R. V.,

Ph.D., leading researcher, National Scientific Center “Institute of Agricultural Engineering and Electrification”; ORCID iD 0000-0003-4599-2472

Annotation

Purpose. Reducing the influence of resonance phenomena on the structural elements of a tractor of the KIY 14102 type when driving with an attached implement in transport mode.

Methods. To solve this problem means of graph-analytical constructions, analytical geometry, oscillation theory and theoretical mechanics were used.

Results. On the basis of the graphic-analytical analysis of the kinematic diagram of the tractor attachment of the KIY 14102 type, it was found that the position of the instantaneous center of its rotation significantly depends on the change in the angle between the tractor frame and the levers, which are united by the CA-1 automatic connection device. The frequency range of forced oscillations of the tractor frame, which occur when driving in a certain speed range, can coincide with the relative natural frequency of the tractors, which leads to resonance phenomena. Resonant longitudinal-angular vibrations of the tractor frame reduce the normal reactions of the steered wheels with the supporting surface, which worsens controllability. Changing the frequency of the natural

resonance of the elements connecting the tractor with the implement can be done by changing the kinematic stiffness of the mounted system.

Conclusions

1. The kinematic diagram of the hinged device of tractors significantly affects the dependence of the position of the instantaneous center of rotation of the hinged device relative to the mass of the implement that is aggregated.

2. The existing parameters of the mounted systems of tractors of the KIY 14102 type can lead to the occurrence of resonance phenomena when driving in transport mode on unpaved field roads, which negatively affects the controllability of the MTA.

3. Reducing the resonant frequency of natural vibrations of the attachment system with the tool, by reducing the kinematic stiffness, improves the dynamics of the interaction of the elements of the machine-tractor unit with each other and with the supporting surface.

Keywords: machine-tractor unit, clutch system, tests, dynamic loads, strain gauge measurements, air pressure in tires.

УДК 631.372.004

Влияние параметров навесного устройства на негативные резонансные колебания при работе машинно-тракторного агрегата в транспортном режиме

Третьяк В. М.,

к.т.н., доцент, Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства», e-mail: viktor_tretyak@ukr.net; ORCID iD 0000-0002-7641-7262

Чабан В. В.,

Генеральный директор ООО «Укравтозапчасть»

Олядничук Р. В.,

к.т.н., доцент кафедры агроинженерии, Уманский национальный университет садоводства;
ORCID iD 0000-0003-3459-1673

Говоров А. Ф.,

к.т.н., с.н.с., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»,

e-mail: Aleksandr_Govorov@ukr.net; ORCID iD 0000-0002-1645-1725

Мельник Р. В.

к.т.н., вед.н.с, Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»; ORCID iD 0000-0003-4599-2472

Аннотация

Цель. Уменьшение влияния резонансных явлений на элементы конструкции трактора типа КИЙ 14102 при движении с навесным орудием в транспортном режиме.

Методы. Для решения поставленной задачи использовались средства графоаналитических построений, аналитической геометрии, теории колебаний и теоретической механики.

Результаты. На основании графоаналитического анализа кинематической схемы навесного устройства трактора типа КИЙ 14102 выяснено, что положение мгновенного центра его вращения существенно зависит от изменения угла между оловом трактора и рычагами, которые объединены устройством автоматического соединения СА-1. Диапазон частот вынужденных колебаний остова трактора, которые возникают при движении в определенном диапазоне скоростей, может совпадать с относительной собственной частотой тракторов, что приводит к резонансным явлениям. Резонансные продольно-угловые колебания остова трактора уменьшают нормальные реакции управляемых колес с опорной поверхностью, что ухудшает управляемость. Изменение частоты собственного резонанса элементов соединения трактора с орудием можно осуществлять изменением кинематической жесткости навесной системы.

Выводы

1. Кинематическая схема навесного устройства тракторов существенно влияет на зависимость положения мгновенного центра вращения навесного устройства относительно массы орудия, которое агрегируется.

2. Существующие параметры навесных систем тракторов типа КИЙ 14102 могут приводить к возникновению резонансных явлений при движении в транспортном режиме по грунтовым полевым дорогам, что негативно влияет на управляемость МТА.

3. Уменьшение резонансной частоты собственных колебаний системы навесного устройства с орудием путем уменьшения кинематической жесткости позволяет улучшить динамику взаимодействия элементов машинно-тракторного агрегата между собой и с опорной поверхностью.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, навесная система, испытания, динамические нагрузки, тензометрические измерения, давление воздуха в шинах.

Постановка проблеми. Величини динамічних навантажень елементів конструкції трактора суттєво впливають на їхню роботоздатність. На ринку сільськогосподарських знарядь України представлено велику кількість як нових, так і бувших у використанні імпортованих машин, які в агрегаті з тракторами можуть суттєво впливати на керованість та стійкість прямолінійного руху по ґрунтових польових дорогах в діапазоні підвищених тракторних швидкостей. Унаслідок цього можуть виникати не тільки аварійні ситуації, а й експлуатаційні поломки, що пов'язані з режимами навантажень елементів конструкції тракторів.

Мета досліджень. Зменшення впливу негативних резонансних явищ на елементи конструкції трактора типу КИЙ 14102 під час руху з навісним знаряддям у транспортному режимі.

Методи досліджень. Для вирішення поставленої задачі використовувалися засоби графоаналітичних побудов, аналітичної геометрії, теорії коливань та теоретичної механіки.

Результати досліджень. На сільськогосподарських просапних тракторах домінують триточкові задні начіпні пристрої. Це – чотириланковий механізм, який включає дві

нижні повздовжні тяги, верхню центральну тягу, острів трактора та частину знаряддя або автоматичного зчіпного пристрою. Кінематична схема такого пристрою для тракторів

типу КИЙ 14102 показана на рисунку 1, а розміри елементів наведено в протоколі випробувань № 1640 тракторної лабораторії університету штату Небраска [3].

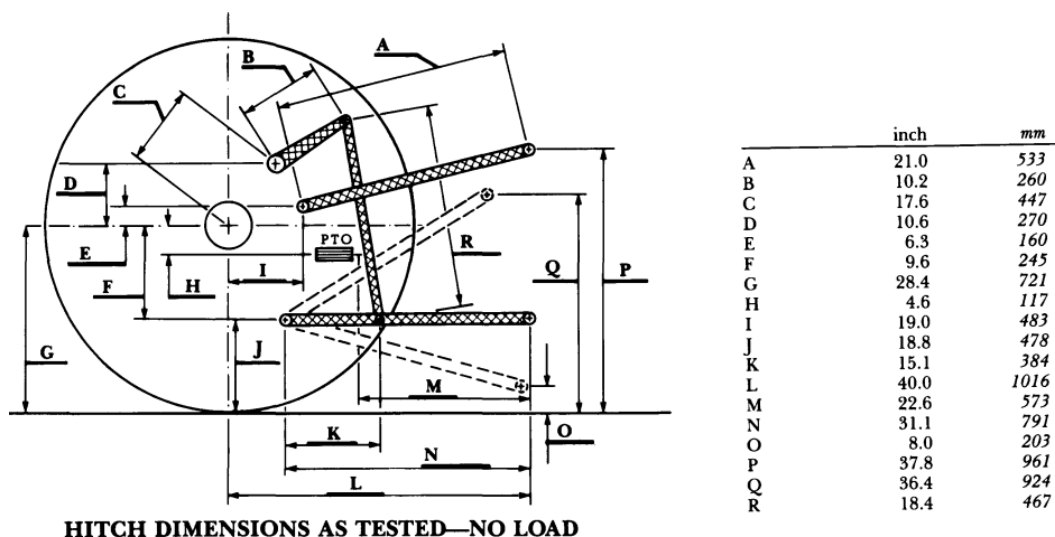


Рис. 1. Основні розміри для визначення кінематичних зв'язків елементів начіпної системи тракторів сімейства МТЗ-82 (за даними протоколу випробувань Університету шт. Небраска)

Fig. 1. The main dimensions for determining the kinematic ties of the elements of the hinged system of the MTZ-82 family tractors (according to the test report of the University of Nebraska)

Положення миттєвого центру обертання начіпного пристрою визначається перетином осей верхнього та нижніх важелів за допомогою графічної побудови в середовищі «COMPAS» (рис. 2).

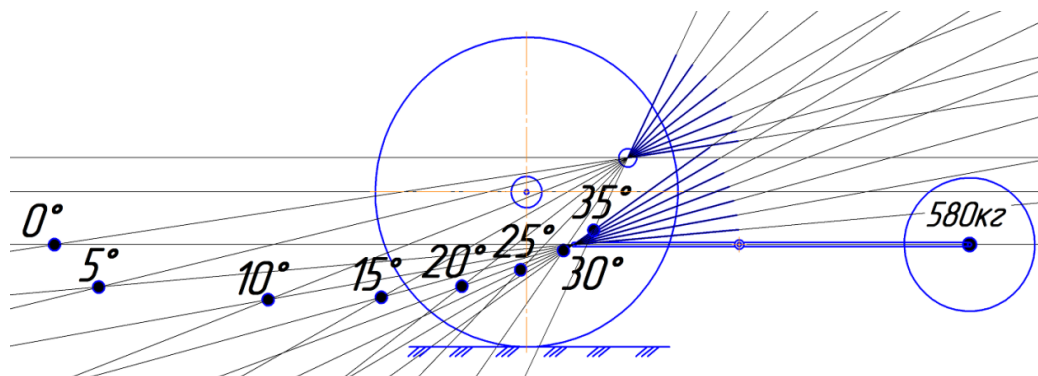


Рис. 2. Зміна положення миттєвого центру обертання начіпного пристрою від зміни кута нижніх важелів
Fig. 2. Changing the position of the instantaneous center of rotation of the hitch from changing the angle of the lower levers

Величини моментів інерції розраховуються за відомою залежністю за умови, що маса зосереджена на відстані R :

$$J = m \cdot R^2, \tag{1}$$

де J – момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$;

m – зосереджена маса, кг ;

R – відстань між віссю обертання та центром мас, м .

Резонансна частота власних обертових коливань $f_{рез}$ визначається залежністю

$$f_{рез} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{J}} \quad (2)$$

де c – жорсткість конструкції, Н/м.

Жорсткість конструкції можна визначити за результатами експериментальних досліджень [1, 2, 4] зворотнім перетворюванням

$$c = 4\pi^2 \cdot f_{рез}^2 \cdot J. \quad (3)$$

Для трактора, що досліджувався, $c = 391666$ Н/м.

Відповідні результати кінематичних розрахунків та визначення частоти власного резонансу залежно від значення кута положення нижніх важелів наведено в таблиці.

Таблиця. Значення моментів інерції та резонансних частот залежно від кутів кінематичних зав'язків начіпного пристрою трактора КИЙ 14102
Table. The values of the moments of inertia and resonance frequencies depending on the angles of the kinematic ties of the hitch of the tractor KIY 14102

Кут нижніх важелів, °	Відстань між масою знаряддя та віссю обертання, м	Момент інерції, кг·м ²	Частота резонансу, Гц
0	4,371	11081	0,95
5	4,169	10081	0,99
10	3,373	6599	1,22
15	2,842	4685	1,45
20	2,459	3507	1,68
25	2,170	2731	1,90
30	1,952	2210	2,12
35	1,775	1827	2,33

На рисунку 3 наведено залежність зміни величини моменту інерції начіпної системи трактора з плугом масою 580 кг від кута положення нижніх важелів відносно горизонтального положення. Зміна в 6 разів величини моменту інерції суттєво впливає на зміну резонансної частоти – вона змінюється відповідно майже в 2,5 раза.

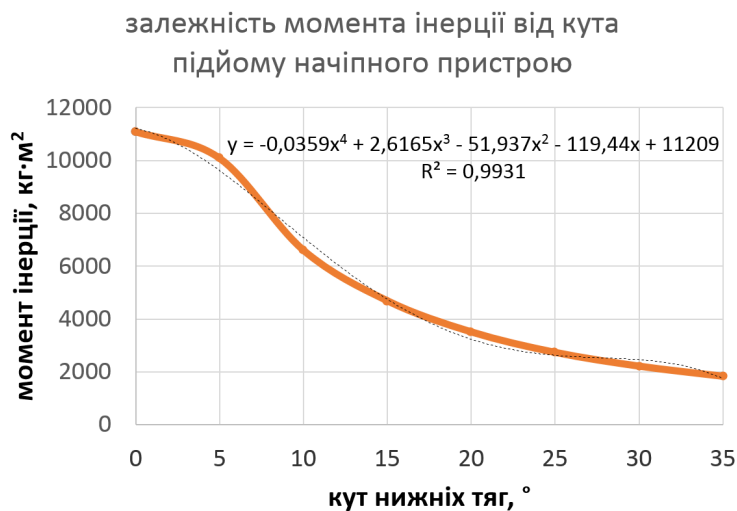


Рис. 3. Апроксимація графоаналітичної залежності моменту інерції елементів начіпного пристрою з масою знаряддя

Fig. 3. Approximation of the graphical-analytical dependence of the moment of inertia of the attachment elements with the mass of the weapon

З літературних джерел [5–10] відомо, що довжина нерівностей польових доріг переважно знаходиться в межах 3–5 м, транспортні швидкості тракторів без підвіски по таких дорогах становлять 3–7 м/с. Частота вимушених коливань $f_{\text{вим}}$ розраховується залежністю

$$f_{\text{вим}} = \frac{V}{L}, \quad (4)$$

де V – швидкість руху трактора, м/с;
 L – період нерівностей, м.

$$f_{\text{вим. max}} = \frac{V_{\text{max}}}{L_{\text{min}}}; \quad f_{\text{вим. min}} = \frac{V_{\text{min}}}{L_{\text{max}}}. \quad (5)$$

Отже, частота вимушених коливань трактора знаходиться в межах 0,5–2,0 Гц, що призводить до резонансних явищ.

Із залежностей (1) та (2) зрозуміло, що резонансна частота коливань елементів начіпного пристрою з масою знаряддя в транспортному режимі залежить від маси знаряддя, відстані між цією масою та миттєвим центром обертання механічної системи, кутом положення важелів системи та наведеною жорсткістю пружних елементів системи. Зважаючи на це, можна зробити висновок, що для виходу з резонансного режиму в транспортному положенні начіпного машинно-тракторного агрегату доцільно змінювати наведену жорсткість системи. За результатами розрахунків декількох варіантів зі зміною наведеної жорсткості системи побудовано залежності, які наведено на рисунку 4.

залежність резонансної частоти коливань маси плуга від положення та жорсткості начіпки

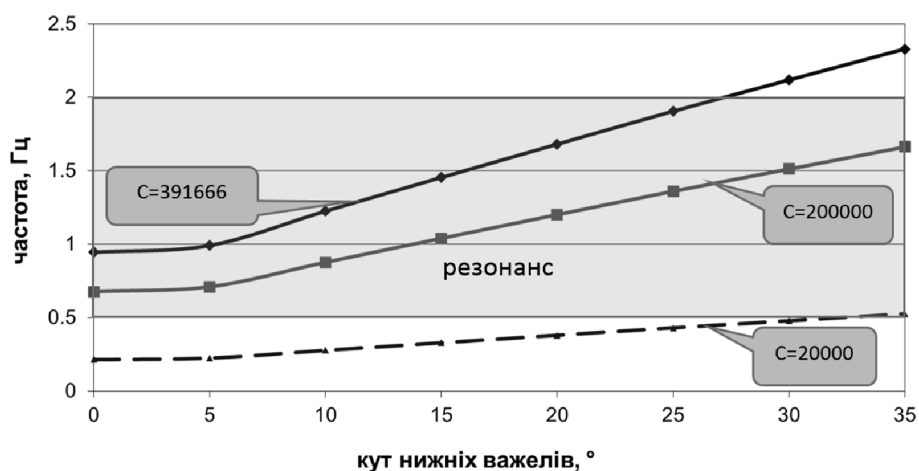


Рис. 4. Порівняння зон частот вимушених коливань від нерівностей дороги та власних коливань знаряддя в транспортному положенні

Fig. 4. Comparison of the frequency zones of forced vibrations from road irregularities and natural vibrations of the implement in the transport position

Із цього рисунку видно, що за наведеної жорсткості системи начіпного пристрою $c = 20000$ Н/м у заданих режимах роботи резонансні явища будуть відсутні.

Жорсткість начіпних пристроїв зменшують впровадженням у конструкцію металевих або гумових пружних елементів у верхній важіль (трактори загального призначення Харківського тракторного та Кіровського

(Росія) тракторних заводів). Деякі виробники сільськогосподарської техніки впроваджують у виробництво ходові системи, які переводяться в технологічне та транспортне положення за допомогою гідравлічних циліндрів. Для здійснення підресорювання таких ходових систем у гілки гідросистеми впроваджують газові гідроакумулятори.

Висновки

1. Кінематична схема начіпного пристрою тракторів суттєво впливає на залежність положення миттєвого центру обертання начіпного пристрою відносно маси знаряддя, що агрегується.

2. Наявні параметри начіпних систем тракторів типу КИЙ 14102 можуть призводити до виникнення резонансних явищ під час руху в транспортному режимі по ґрунтових польових дорогах, що негативно впливає на керуваність МТА.

3. Зменшення резонансної частоти власних коливань системи начіпного пристрою зі знаряддям завдяки зменшенню кінематичної жорсткості дозволяє покращити динаміку взаємодії елементів машинно-тракторного агрегату між собою та з опорною поверхнею.

Бібліографія

1. Третьяк В. М., Чабан В. В. Підвищення вантажності начіпних систем просапних тракторів в транспортному режимі. *Механізація та електрифікація сільськогосподарства* : загальнодержавний зб. Глеваха, 2016. Вип. № 4 (103). С. 198–206.

2. Третьяк В. М., Чабан В. В. Результати експериментальних досліджень з визначення навантажень, які виникають в начіпному пристрої трактора Кий 14102 при русі МТА з навісним знаряддям у транспортному положенні. *Механізація та електрифікація сільськогосподарства* : загальнодержавний зб. Глеваха, 2017. Вип. № 6 (105). С. 154–163.

3. Тест 1640: Білорусь 822, 820 800М та 802М дизельний 18-швидкісний / Відділ сільськогосподарських досліджень Інституту сільськогосподарства та природних ресурсів Університету штату Небраска-Лінкольн. URL: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=3003&context=tractormuseumlit> (дата звернення : 16.04.20 р.)

4. Чабан В. В. Розробка вимірювального комплексу для визначення навантажень, які виникають у начіпному пристрої трактора кл. 1,4, при роботі МТА з навісним знаряддям у транспортному положенні. *Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві* : матеріали XXV міжнародної наук. – техн. конф. та XVII Всеукр. конф. – семінару аспірантів, докторантів, і здобувачів у галузі аграрної інженерії (29 – 30 червня 2017 р., смт. Глеваха). Глеваха, 2017. С. 18–19.

5. Третьяк В. М. Влияние изменения массы модулей тягово-транспортных средств на показатели движения. *Вестник Харьковского автомобильно-дорожного университета*. Харьков, 2005. Вып. 29. С. 202–204.

6. Анилович В. Я., Водолажченко Ю. Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. Издание 2-е, дополненное. М. : Машиностроение, 1976. 456 с.

7. ДСТУ 7322:2013 Трактори сільськогосподарські. Загальні технічні умови. К., 2013.

8. Барский И. Б., Анилович В. Я., Кутков Г. М. Динамика трактора. М. : Машиностроение, 1973. 280 с.

9. Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель / под ред. А. А. Хачатурова. М. : Машиностроение, 1976. 535 с.

10. Ларин А. А. История теории механических колебаний : монография. Харьков : НТУ «ХПИ», 2019. 280 с.

Bibliografia

1. Tretyak, V. M., Chaban, V. V. (2016). Pivvyshchennya vantazhnosti nachipnykh system prosapnykh traktoriv v transportnomu rezhymi. *Mekhanizatsiya ta elektryfikatsiya sil's'koho hospodarstva* : zahal'noderzhavnyy zbirnyk, 4 (103), 198–206. Hlevakha.

2. Tretyak, V. M., Chaban, V. V. (2018). Rezultaty eksperymentalnykh doslidzhen z vyznachennia navantazhen, yaki vynykaiut v nachipnomu prystroi traktora Kyi 14102 pry rusi MTA z navisnym znariaddiam u transportnomu polozhenni. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia sil's'koho hospodarstva* : zahal'noderzhavnyi zb., 6 (105), 154–163. Hlevakha.

3. Test 1640: Bilorus' 822, 820 800M ta 802M dyzel'nyy 18-shvydkisnyy / Viddil sil's'kohospodars'kykh doslidzhen' Instytutu sil's'koho hospodarstva ta pryrodnykh resursiv Universytetu shtatu Nebraska-Lincol'n. URL: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=3003&context=tractormuseumlit>.

4. Chaban, V. V. (2017). Rozrobka vymiriualnogo kompleksu dlia vyznachennia navantazhen, yaki vynykaiut u nachipnomu prystroi traktorakl. 1, 4, pry roboti MTA z navisnym znariaddiam u transportnomu polozhenni. *Materialy XXV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Tekhnichni prohres u silskohospodarskomu vyrobnytstvi»* (29–30 chervnia 2017 r., Hlevakha). S. 18–19.

5. Tretyak, V. M. (2005). Vliyaniye izmene-niya massy module tyagovo-transportnykh sredstv na pokazateliikh dvizheniya. *Vestnik Khar'kovskogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*, 29, 202–204.

6. Anilovich, V. Y. Vodolazhchenko, U. T. (1976). Konstruirovaniye I raschet sel'skokhozyaystvennykh traktorov. Izdaniye 2-ye, dopolnnoye. Moskva : Mashinostroyeniye.

7. DSTU 7322:2013 Traktory sil's'kohospodars'ki. Zahal'ni tekhnichni umovy.

8. Barskiy, I. V., Anilovich, V. YA., Kut'kov, H. M. (1973). Dinamika traktora. Moskva : Mashinostroyeniye.

9. (1976). *Dinamikasistemydoroga – shina – avtomobil' – voditel' / pod red. A. A. Khachaturova*. Moskva : Mashinostroyeniye.

10. Larin, A. A. (2019). *Istoriya teorii mekhanicheskikh kolebaniy : monografiya*. Khar'kov : NTU «KHPI».

References

1. Tretyak, V. M., & Chaban, V. V. (2016). Increasing the load capacity of trailed tractors in the transport mode. *Mechanization and electrification of agriculture* : national collection, 4 (103), 198–206. Glevaha [in Ukrainian].

2. Tretyak, V. M., & Chaban, V. V. (2018). The results of experimental studies to determine the loads that occur in the towing device of the tractor Kyy 14102 when moving the machine-tractor unit with a mounted implement in the transport position. *Mechanization and electrification of agriculture* : national collection, 6 (105), 154–163. Glevaha [in Ukrainian].

3. Test 1640: Belarus 822, 820 800M and 802M diesel 18-speed / Department of Agricultural Research Institute of Agriculture and Natural Resources University of Nebraska-Lincoln. Retrived from <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=3003&context=tractormuseumlit>.

4. Chaban, V. V. (2017). Development of a measuring complex to determine the loads that occur in the hitch of the tractor class. 1.4, when the machine-tractor unit with a mounted tool in the transport position. *Technical Progress in Agricultural Production : proceedings of the 25th International Scientific and Technical Conference* (June 29th–30th June, Glevakha). Pp. 18–19 [in Ukrainian].

5. Tretyak, V. M. (2005). Influence of change of weight of modules of traction vehicles on indicators of their movement. *Bulletin of Kharkiv Automobile and Road University*, 29, 202–204 [in Ukrainian].

6. Anilovich, V. Ya., & Vodolazhchenko, Yu. T. (1976). Design and calculation of agricultural tractors. 2nd edition, supplemented. Moscow : Mechanical engineering [in Russian].

7. DSTU 7322: 2013 Agricultural tractors. General technical conditions. Kyiv.

8. Barsky, I. B., Anilovich, V. Ya., & Kutkov, G. M. (1973). Tractor dynamics. Moscow : Mechanical Engineering [in Russian].

9. Khachaturova, A. A. (Ed.) (1976). Dynamics of the system road – tire – car – driver. Moscow : Mechanical Engineering [in Russian].

10. Larin, A. A. (2019). History of the theory of mechanical oscillations : a monograph. Kharkiv : NTU KhPI [in Ukrainian].