

ТЯГОВІ ВЛАСТИВОСТІ ТРАКТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ БАЛАСТУВАННЯ

Лебедєв С., канд. техн. наук,
e-mail: hfukrndipvt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3067-5135>,
Коробко А., канд. техн. наук, доц.,
e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>,
Харківська філія ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

Анотація

Мета дослідження. Покращення тягових властивостей трактора баластуванням завдяки оцінюванню впливу баластування трактора на його тягові властивості і витрату потужності на пересування, а також визначення витрати потужності на пересування трактора з баластом і без нього на різних агрофонах.

Методи дослідження. Визначення тягового зусилля на тягових колесах трактора за різницею лінійного прискорення відповідно під час розгону і вибігу. При цьому, ефективна потужність двигуна оцінюється за добутком тягового зусилля на тягових колесах трактора на швидкість руху, який установився під час розгону.

Результати дослідження. Підвищення тягових властивостей трактора досягається баластуванням, що оцінюється коефіцієнтами питомого навантаження передніх і задніх коліс. До негативних явищ баластування тракторів віднесено збільшення глибини колії та опору коченню трактора, які можуть бути враховані системою їх контролю та корегування режимів роботи тракторного агрегата.

Аналіз впливу баласту трактора на його тягові властивості виконаний на тракторі Fendt 936 Varjo, який затребуваний в аграрному секторі України. Порівняння значень навантажень, які діють на передні і задні колеса трактора показують, що вони не залишаються постійними. Якщо лінія тягового опору паралельна поверхні шляху, то зміна навантажень і відбувається в результаті перерозподілу ваги трактора між передніми та задніми колесами. Зниження навантаження на передні колеса викликають таке ж збільшення навантаження на задні колеса і навпаки.

Висновки. Для підвищення тягових властивостей трактора ефективно використовується баластування, яке забезпечує приріст його тягового зусилля на (10...15) %. Водночас відмічено негативні впливи баластування трактора, які обертаються збільшенням глибини колії та опору його коченню. Експериментально доведено, що застосування баласту підвищує витрати потужності на пересування трактора John Deere 6230 на стерні колосових культур на 7,8 кВт (11,14 % від потужності двигуна), на полі, підготовленому під посів, на 22,6 кВт (32,2 % від потужності двигуна).

Для оперативної оцінки витрат потужності на пересування трактора з баластом/без баласту під час технологічного процесу ефективним є застосування мобільного контрольного-вимірювального комплексу, розробленого в ХНТУСГ ім. П. Василенка і ХНАДУ за участю Харківської філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого.

Ключові слова: колісні трактори, тягові властивості, баластування, колія, глибина, кочення, опір, агрофон.

Постановка проблеми. Для підвищення тягових властивостей трактора у світовому тракторобудуванні ефективно використовується його баластування встановлення додаткового вантажу (баласту) попереду трактора. При цьому першочерговою проблемою є необхідність оцінки тягової потужності трактора з баластом під час руху на ґрунтах різного агрофону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомий нормативний документ ДСТУ 7416:2013 «Сільськогосподарські та лісогосподарські трактори. Зусилля та опір тягові. Загальні вимоги» регламентують визначення тягових властивостей трактора на асфальтобетонній дорозі без урахування можливостей застосування баласту. Одночасно в ряді робіт [1, 2] вказано, що баластування трактора, агрегатованого з сільгоспмашинами, призводить до збільшення глибини колії та витрати потужності на його пересування. Тягові властивості подібних агрегатів рекомендується оцінювати за стандартом МІНАПК України, розробленою Харківською філією УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, СОУ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого 71.2-37-046043090-017:2015 «Сільськогосподарська техніка. Визначення тягових показників тракторів. Метод парціальних прискорень» [3]. Цей метод ефективно застосовується для визначення тягово-швидкісних властивостей автомобілів у різних дорожніх умовах [4, 5].

Проте методика оцінки витрат потужності на пересування баластованого трактора потребує уточнення у напрямку розподілення навантажень по осях та глибини колії поверхні, яка деформується.

Мета досліджень: покращення тягових властивостей трактора баластуванням. Для досягнення поставленої мети необхідно:

– оцінити вплив баластування тра-

тора на його тягові властивості і витрату потужності на пересування;

– визначити витрати потужності на пересування трактора з баластом і без нього на різних агрофонах.

Виклад основного матеріалу. Розподілення навантаження від ваги трактора на осі визначається залежностями [1]:

$$y_n = G \frac{a}{L}, \quad y_z = G \frac{L-a}{L},$$

де y_n, y_z – навантаження відповідно на передні і задні колеса;

G – вага трактора;

a, L – відстань відповідно від задньої осі до центра ваги і між осями трактора.

Аналіз впливу баласту трактора на його тягові властивості виконаний на тракторі Fendt 936 Vario (рис. 1), який затребуваний в аграрному секторі України.

Порівняння значень навантажень, які діють на передні y_n і задні y_z колеса трактора показують, що вони не залишаються постійними. Якщо лінія тягового опору паралельна поверхні шляху, то зміна навантажень y_n і y_z відбувається в результаті перерозподілу ваги трактора між передніми та задніми колесами. Зниження навантаження на передні колеса викликають таке ж збільшення навантаження на задні колеса і навпаки. Сума $y_n + y_z$ дорівнює вазі трактора G_T .

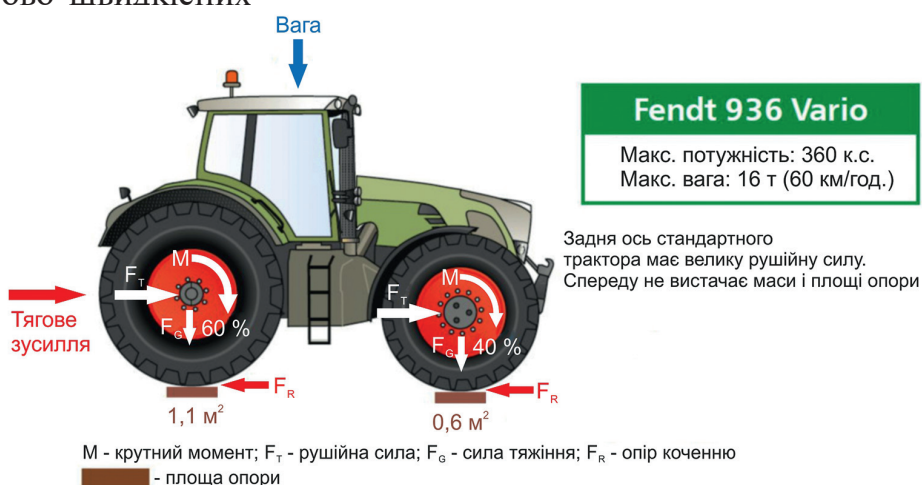


Рисунок 1 – Схема сил, які діють на трактор Fendt 936 Vario під час руху

Щоб оцінити розподіл навантаження між передніми і задніми колесами із за-

стосуванням баласту на тракторі вводяться питомі вимірники y_n і y_3 . Відношення $\lambda_n = y_n/G_T$ називається коефіцієнтом навантаження передніх, $\lambda_3 = y_3/G_T$ – задніх коліс. Під час сталого руху трактора з крюковим навантаженням на горизонтальній ділянці шляху коефіцієнти λ_n і λ_3 визначаються за залежностями:

$$\lambda_n = \lambda_{n.cm} - \frac{P_{кр} h_{кр} + M_f}{LG}; \quad (1)$$

$$\lambda_3 = \lambda_{3.cm} + \frac{P_{кр} h_{кр} + M_f}{LG},$$

де $P_{кр}$ – крюкове навантаження, Н;
 $h_{кр}$ – відстань від точки прикладення $P_{кр}$ до поверхні шляху, м;
 M_f – момент опору руху, Н·м;
 $\lambda_{n.cm} = a/L$, $\lambda_{3.cm} = L - a/L$ – коефіцієнти навантаження передніх і задніх коліс під час статичного положення трактора.

Від баластування трактора його тягові властивості зростають. Наприклад, тягові властивості трактора Fendt 936 Vario без баласту (рис. 1) оцінюються силою тяги $P_T = 40$ кН, з баластом 1,55 т – $P_T = 50$ кН та з баластом 2,5 т – $P_T = 60$ кН.

Одночасно необхідно відмітити негативні явища баластування тракторів, які визначаються підвищенням глибини колії і опору коченню трактора внаслідок підвищення навантаження на колеса. Під час кочення еластичного колеса по поверхні, яка деформується, глибина колії h і сила опору коченню P_f визначаються за залежностями [6]:

$$h = \sqrt[3]{\frac{G_K^2}{K_K^2 b^2 D_{np}}}; \quad (2)$$

$$P_f = \frac{1}{2} \sqrt[3]{\frac{G_K^4}{K_K b^2 D_{np}}}, \quad (3)$$

де G_K – навантаження на колесо;
 $K_K = K/100\sqrt{bD_o}$ – коефіцієнт об'ємного стиснення ґрунту, приведений до розмірів колеса, Н/м²;
 b – ширина колеса;
 $D_{np} = D_o(1 + h_{uu}/h)$ – величина дефор-

мації шини;

D_o – діаметр жорсткого колеса.

Аналіз даних залежностей показує, що зменшення глибини колії і опору коченню можна досягти зниженням вагового навантаження на колеса або збільшенням їхньої опорної площі. Цього можна досягти збільшенням ширини, або діаметра колеса, застосовуючи широкопрофільні шини здвоєних і строєних коліс трактора, збільшенням площі контакту колеса з ґрунтом знижуючи тиск повітря в шині, що обмежує її працездатність.

Застосовуючи баластування трактора актуальним є рішення проблеми оперативної оцінки його тягових властивостей під час руху на різних агрофонах. Ефективно вирішити цю проблему можна методом парціальних прискорень оцінки тягових властивостей мобільних машин [4].

Пропонується оцінювати дотичне тягове зусилля на тягових колесах P_k і на крюку $P_{кр}$ трактора за залежностями:

$$P_k = (m_T + m_\sigma)[\dot{\vartheta}_T(\vartheta) - \dot{\vartheta}_T^e(\vartheta)]; \quad (4)$$

$$P_{кр} = m_T[\dot{\vartheta}_{Tf}(\vartheta) - (1 + m_T/m_\sigma)\dot{\vartheta}_T^e(\vartheta)], \quad (5)$$

де m_T , m_σ – маса відповідно трактора і баласту;

$\dot{\vartheta}_T(\vartheta)$, $\dot{\vartheta}_T^e(\vartheta)$ – лінійні прискорення трактора відповідно під час розгону і вибігу (муфта зчеплення вимкнена, нейтральна передача трансмісії);

$\dot{\vartheta}_{Tf}$ – прискорення трактора від дії тільки сили опору коченню коліс.

За відомої швидкості ϑ_T трактора оцінюється ефективна потужність двигуна $N_e(\vartheta) = P_k \vartheta_T$ та тягова потужність

$$N_{кр}(\vartheta) = P_{кр} \vartheta.$$

Отже, без застосування динамометричного обладнання з відомими m_T , m_σ за різницею $\dot{\vartheta}_T(\vartheta)$ та $\dot{\vartheta}_T^e(\vartheta)$ визначається P_k , для визначення $P_{кр}$ оцінюється $\dot{\vartheta}_{Tf}$.

Під час руху трактора без баласту рівняння (4) та (5) записують у вигляді:

$$P_k = m_T[\dot{\vartheta}_T(\vartheta) - \dot{\vartheta}_T^e(\vartheta)]; \quad (6)$$

$$P_{кр} = m_T[\dot{\vartheta}_{Tf}(\vartheta) - (1 + m_T/m_\sigma)\dot{\vartheta}_T^e(\vartheta)].$$



Рисунок 2 – Трактор John Deere 6230 на експериментальних дослідженнях

Технічні характеристики:
 Номінальна потужність двигуна, кВт (к.с.) – 70 (95);
 Вантажопідйомність навішування, кг – 5100;
 Маса без баласту, кг – 4390;
 Маса з баластом, кг – 5430;
 Колісна база, мм – 2400;
 Довжина, мм – 4289;
 Ширина, мм – 2275;
 Висота до верхньої точки від ґрунту, мм – 2714

Визначення витрат потужності на пересування трактора з баластом і без баласту проведено в Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого за участю ТОВ «Агрістар» (дилер фірми John Deere) на тракторі John Deere 6230 (рис. 2).

Методика дослідження базується на визначенні тягового зусилля на тягових колесах трактора за різницею лінійного прискорення відповідно під час розгону і вибігу, при цьому ефективна потужність двигуна оцінюється за добутком тягового зусилля на тягових колесах трактора на швидкість усталеного руху під час розгону.

Експериментальні дослідження проведені із застосуванням мобільного контрольно-вимірювального комплексу, розробленого в Харківських університетах ХНТУСГ і ХНАДУ за участю Харківської філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Основою цього комплексу є обчислювальний блок для зняття і архівації даних (ЕОМ), а також датчики прискорень MMA7260QT (рис. 3).

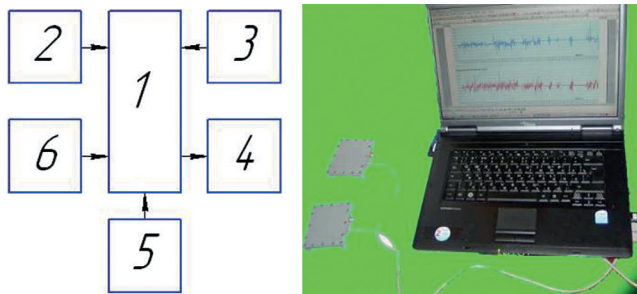


Рисунок 3 – Мобільний контрольно-вимірювальний комплекс: а – структурна схема; б – загальний вигляд вимірювального комплексу: 1 - обчислювальний блок; 2, 3 - акселерометри MMA7260QT фірми Motorola; 4 - дисплей; 5 - блок живлення

Умови та режими випробувань. Агрофон – стерня колосових культур, поле підготовлене під посів;

ґрунт – чорнозем, малогумусний.

Умови випробувань: рельєф поля – вирівняний.

Режими випробувань: рух без баласту; з баластом 1040 кг.

Результати випробувань:

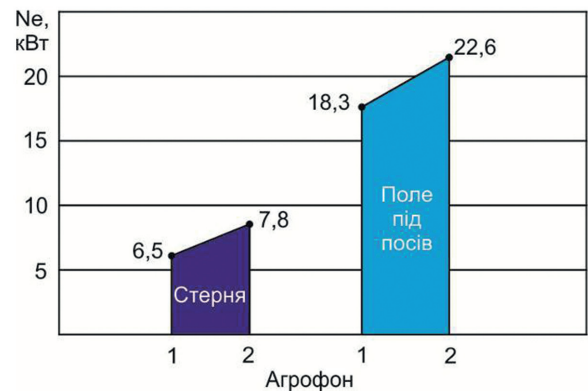


Рисунок 4 – Витрати потужності N_e на пересування трактора John Deere 6230 під час руху без баласту (1), з баластом (2)

Висновки за результатами випробувань.

Застосування баласту підвищує витрати потужності на пересування трактора John Deere 6230, які дорівнюють на стерні колосових культур 7,8 кВт (11,14 % від N_e двигуна), на полі підготовленому під посів 22,6 кВт (32,2% від N_e двигуна).

З аналізу проведених досліджень можна зробити висновок, що тягові властивості трактора із застосуванням баластування підвищуються. Наприклад, зі збільшенням зчипної ваги трактора масою 4390 кг баластом 1040 кг збільшується тягове зусилля на 1 кН. Такий же ефект може бути досягнуто під час роботи трактора з навісними агрегатами, які додатково завантажують задню ось трактора в ході технологічного процесу.

У разі перевантаження трактора з навісним знаряддям, наприклад плугом, забезпечується підйом плуга на декілька сантиметрів, додатково завантажуючи задню ось, підвищуючи тягове зусилля трактора.

На переважній більшості тракторів закордонних виробників тракторів цей ефект реалізується автоматично верхніми важелями навісної системи трактора.

Висновки. Для підвищення тягових властивостей трактора ефективно використовується баластування, яке забезпечує приріст його тягового зусилля на 10–15 %. Одночасно відмічено негативні впливи баластування трактора, які проявляються збільшенням глибини колії та опору його коченню. Експериментально доказано, що застосування баласту підвищує витрати потужності на пересування трактора John Deere 6230 на стерні колосових культур на 7,8 кВт (11,14 % від потужності двигуна), на полі підготовленому під посів на 22,6 кВт (32,2 % від потужності двигуна).

Література

1. Тракторы. Теория / В.В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов и др.; Под общ. ред. В.В. Гуськова. М. : Машиностроение, 1988. 376 с.
2. Вольская Н.С. Оценка проходимости колесных машин при движении по неровной грунтовой поверхности. М. : МГИУ, 2007. 215 с.
3. Лебедев А.Т. Научно-инновационные аспекты теории трактора. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2015. Вип. 156. С. 272-281.
4. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, М.А. Подригало и др.; Под ред. М.А. Подригало. Харьков : Изд-во «Міськдрук», 2012. 220 с.
5. Лебедев С., Коробко А. Оцінювання придатності методів випробувань мобільних машин. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва України. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2015. № 19 (33). С. 127-135.

6. Ксеневиц И.П., Соломский А.С., Войчинский С.М. Проектирование универсально-пропашных тракторов. Мн : Наука и техника, 1980. 320 с.

Literature

1. Literature Tractors. Theory / V.V. Guskov, N.N. Velev, Yu. E. Atamanov et al. ; Under the total. ed. V.V. Guskova. M.: Mechanical Engineering, 1988. 376 p.
2. Volskaya N.S. Assessment of patency of wheeled vehicles when driving on an uneven dirt surface. M.: MGIU, 2007. 215 p.
3. Lebedev A.T. Scientific and innovative aspects of tractor theory. Bulletin of the Kharkiv National Technical University of the State Patronage of the Name of Peter Vasilenko. 2015. VIP. 156. P. 272-281.
4. The method of partial accelerations and its applications in the dynamics of mobile machines / N.P. Artemov, A.T. Lebedev, M.A. It started, etc. ; Ed. M.A. Shook. Kharkov: Publishing house «Miskdruk», 2012. 220 p.
5. Lebedev S., Korobko A. Evaluation of the suitability of test methods for mobile machines. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agricultural production in Ukraine. Collection of scientific works of UkrNDIPVT named after L. Pogorily. 2015. № 19 (33). Pp. 127-135.
6. Ksenевич I.P., Solomsky A.S., Voichinsky S.M. Designing universal cultivating tractors. Mn: Science and technology, 1980. 320 p.

Literatura

1. Traktory. Teoriya / V.V. Huskov, N. N. Velivshy, YU. YE. Atamanov i in. ; Za zah. red. V.V. Huskova. M.: Mashynobuduvannya, 1988. 376 s.
2. Volska N.S. Otsinka prokhidnosti kolisnykh mashyn pry rusi po nerivniy gruntoviy poverkhni. M.: MNYU, 2007. 215 s.
3. Lebedyev A.T. Naukovo-innovatsiyni aspekty teoriyi traktora. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu

silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. 2015. Vyp. 156. S. 272-281.

4. Metod partialnykh pryskoren i yoho dodatky v dynamitsi mobilnykh mashyn / N.P. Artemov, A.T. Lebedyev, M.A. Podryhalo i in .; Pid red. M.A. Podryhalo. Kharkiv: Vyd-vo «Miskdruk», 2012. 220 s.

5. Lebedev S., Korobko A. Ocinjuvannya pridadnosti metodiv viprobuvan' mobil'nih mashin. Tehniko-tehnologichni aspekti rozvit-

ku ta viprobuvannya novoi tehniki i tehnologij dlja sil's'kogospodars'kogo virobnictva Ukraïni. Zbirnik naukovih pratz UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. 2015. № 19 (33). S. 127-135

6. Ksenevich I.P., Solomskiy A.S., Voychinskiy S.M. Proektuvannya universalno-prosapnykh traktoriv. Mn: Nauka i tekhnika, 1980. 320 s.

UDC 631.372

TRACTION PROPERTIES OF A TRACTOR USING BALLASTING

Lebedev S., Ph. D, L.

e-mail: hfukrndipvt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3067-5135>;

Korobko A., Ph. D, Associate Professor, Leading Researcher,

e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>

Kharkiv branch of SSO «L. Pogorilyy UkrNDIPVT»

Summary

Purpose of the study. *Improving the traction properties of a tractor by ballasting by assessing the impact of ballasting the tractor on its traction properties and power consumption for movement and determining the power consumption for moving the tractor with and without ballast on different agricultural surfaces.*

Research methods. *Determination of traction force on the driving wheels of the tractor by the difference of linear acceleration, respectively, during acceleration and take-off. In this case, the effective engine power is estimated by the product of traction on the drive wheels of the tractor at a steady speed during acceleration.*

The results of the study. *Improving the tractor's traction properties is achieved by ballasting them, which is estimated by the specific load coefficients of the front and rear wheels. The negative effects of tractor ballasting include an increase in track depth and tractor rolling resistance, which can be taken into account by the system of their control and adjustment of tractor unit operating modes.*

Analysis of the tractor ballast for its traction properties was performed on a Fendt 936 Vario tractor, which is in demand in the agricultural sector of Ukraine. Comparison of the loads acting on the front and rear wheels of the tractor show that they do not remain constant. If the line of traction resistance is parallel to the surface of the track, then the change in loads occurs as a result of the redistribution of the weight of the tractor between the front and rear wheels. Reducing the load on the front wheels cause the same increase in the load on the rear wheels and vice versa.

Conclusions. *To increase the traction properties of the tractor, their ballasting is effectively used, which provides an increase in its traction by 10 ... 15%. At the same time, the negative effects of tractor ballasting are determined by an increase in track depth and its rolling resistance. It has been experimentally proven that the use of ballast increases the cost of power to move the John Deere 6230*

tractor on stubble crops by 7.8 kW (11.14% of engine power), in the field prepared for sowing by 22.6 kW (32.2% of engine power).

For the operational assessment of the cost of power for moving a tractor with / without ballast when carrying out the technological process, it is effective to use a mobile control and measuring complex developed at KhNTUA named after P. Vasilenko and KhNAHU with the participation of the Kharkov branch of L. Pogorilyy UkrNDIPVT.

Keywords: wheel tractors, traction, ballast, track, depth, rolling, resistance, agricultural background.

УДК 631.372

ТЯГОВЫЕ СВОЙСТВА ТРАКТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЛЛАСТИРОВКИ

Лебедев С., канд. техн. наук,
e-mail: hfukrndipvt@gmail.com , <https://orcid.org/0000-0002-3067-5135>;
Коробко А., канд. техн. наук, доц.,
e-mail: ak82andrey@gmail.com , <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>
Харьковский филиал ГНУ «УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого»

Аннотация

Цель исследования. Улучшение тяговых свойств трактора путем балластирования за счет оценивания влияния балластирования на тяговые свойства и расходование мощности на передвижение, а также определение затрат мощности на передвижение трактора с балластом и без него на разных агрофонах.

Методы исследования. Определение тягового усилия на ведущих колесах трактора с разницей линейного ускорения соответственно при разгоне и выбега. При этом эффективная мощность двигателя оценивается по произведению тягового усилия на ведущих колесах трактора на скорость установившегося движения при разгоне.

Результаты исследования. Повышение тяговых свойств трактора достигается путем их балластировки, что оценивается коэффициентами удельной нагрузки передних и задних колес. К негативным явлениям балластировки тракторов отнесено повышение глубины колеи и сопротивления качению трактора, которые могут быть учтены системой их контроля и корректировки режимов работы тракторного агрегата.

Анализ влияния балласта трактора на его тяговые свойства выполнен на тракторе Fendt 936 Varjo, который востребован в аграрном секторе Украины. Сравнение значений нагрузок, действующих на передние и задние колеса трактора, показывают, что они не остаются постоянными. Если линия тягового сопротивления параллельна поверхности пути, то изменение нагрузок и происходит в результате перераспределения веса трактора между передними и задними колесами. Снижение нагрузки на передние колеса вызывают такое же увеличение нагрузки на задние колеса и наоборот.

Выводы. Для повышения тяговых свойств трактора эффективно используется балластировка,

которая обеспечивает прирост его тягового усилия на 10–15 %. Одновременно отмечено негативные влияния балластировки трактора оборачивающиеся увеличением глубины колеи и сопротивления его качению. Экспериментально доказано, что применение балласта повышает затраты мощности на передвижение трактора John Deere 6230 на стерне колосовых культур на 7,8 кВт (11,14% от мощности двигателя), на поле, подготовленном под посев, на 22,6 кВт (32,2% от мощности двигателя).

Для оперативной оценки затрат мощности на передвижение трактора с балластом/без балласта при выполнении технологического процесса эффективно применение мобильного контрольно-измерительного комплекса, разработанного в ХНТУСХ им. П. Василенко и ХНАДУ с участием Харьковского филиала УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого.

Ключевые слова: колесные тракторы, тяговые свойства, балластировки, колея, глубина, качение, сопротивление, агрофон.