

Є.І. КАЛІНІН, В.А. ЖИЛІН, Р.М. ПЕТРОВ, Ю.І. КОЛЕСНИК

ТЯГОВІ ЯКОСТІ ВЕДУЧИХ КОЛІС ПІД ЧАС КОЧЕННЯ ЇХ ПО ОДНОМУ СЛІДУ

При прямолінійному русі колісного трактора по поверхні, що деформується, його задні колеса рухаються по колії, що утворюється передніми. Величина ущільнення ґрунту може бути різною залежно від її фізико-механічних властивостей, розмірів передніх коліс трактора, вагового навантаження, що припадає на передню вісь, тощо. Відповідно будуть різними та тягові здібності задніх ведучих коліс. Цю обставину слід враховувати при проектуванні колісних тракторів, особливо тракторів-тягачів з двома ведучими осями, у яких зміна якогось із перерахованих вище факторів, наприклад розподілу навантаження по осях, впливає не тільки на ущільнення поверхні, по якій рухаються задні колеса, але й на тягові якості передніх.

В ході досліджень встановлено, що зі зменшенням коефіцієнта розподілу навантаження нижче 0,5 знижується роль заднього колеса, здатного розвивати більше тягове зусилля, ніж переднє при тому ж навантаженні, в утворенні загального тягового зусилля. Тому загальне тягове зусилля ведучих коліс стає нижчим. При збільшенні даного коефіцієнта вище 0,5 зменшується величина попереднього ущільнення ґрунту переднім колесом; в результаті знижується здатність заднього колеса розвивати більше тягове зусилля, ніж переднє за того ж навантаження. Найбільше тягове зусилля двох ведучих коліс, що рухаються по одному сліду, досягається при однакових вагових навантаженнях. Таким чином, положення центру ваги трактора з чотирма ведучими колесами однакового розміру слід вибирати з таким розрахунком, щоб навантаження на передніх та задніх колесах вирівнювалося за номінального тягового зусилля на гаку.

При проведенні досліджень на полі, підготовленому під посів, з активним напівприцепом при різному розподілі навантаження між задньою віссю трактора і віссю напівпричепа, встановлено, що центр ваги активного напівпричепа може вибиратися так само, як і для неактивного, тобто з огляду на вплив довантаження трактора вагою напівпричепа на тягові показники.

Отримані в роботі залежності дозволяють проводити аналіз тягових якостей кількох ведучих коліс під час кочення їх по одному сліду. З їхньою допомогою можна виявити вплив ущільнення поверхні на тягові якості задніх коліс, що рухаються слідом передніх; вплив розподілу навантаження по осях ведучих коліс на їхнє загальне тягове зусилля, тощо.

Ключові слова: трактор, ущільнення, навантаження, кочення, деформація, буксування.

Е.И. КАЛИНИН, В.А. ЖИЛИН, Р.М. ПЕТРОВ, Ю.И. КОЛЕСНИК

ТЯГОВЫЕ КАЧЕСТВА ВЕДУЩИХ КОЛЕС ПРИ КАЧЕНИИ ИХ ПО ОДНОМУ СЛЕДУ

При прямолинейном движении колесного трактора по деформируемой поверхности его задние колеса движутся по колее, образуемой передними. Величина уплотнения почвы может быть различной в зависимости от ее физико-механических свойств, размеров передних колес трактора, весовой нагрузки, приходящейся на переднюю ось и тому подобное. Соответственно будут различными и тяговые способности задних ведущих колес. Это обстоятельство следует учитывать при проектировании колесных тракторов, особенно тракторов-тягачей с двумя ведущими осями, у которых изменение какого-либо из перечисленных выше факторов, например распределения нагрузки по осям, оказывает влияние не только на уплотнение поверхности, по которой движутся задние колеса, но и на тяговые качества передних.

В ходе исследований установлено, что с уменьшением коэффициента распределения нагрузки ниже 0,5 снижается роль заднего колеса, способного развивать большее тяговое усилие, чем переднее при той же нагрузке, в образовании общего тягового усилия. Поэтому общее тяговое усилие ведущих колес становится ниже. При увеличении данного коэффициента выше 0,5 уменьшается величина предварительного уплотнения ґрунта передним колесом; в результате снижается способность заднего колеса развивать большее тяговое усилие, чем переднее при той же нагрузке. Наибольшее тяговое усилие двух ведущих колес, двигающихся по одному следу, достигается при одинаковых весовых нагрузках. Таким образом, положение центра тяжести трактора с четырьмя ведущими колесами одинакового размера следует выбирать с таким расчетом, чтобы нагрузка на передних и задних колесах выравнивалась при номинальном тяговом усилии на крюке.

При проведении исследований на поле, подготовленном под посев, с активным полуприцепом при различном распределении нагрузки между задней осью трактора и осью полуприцепа, установлено, что центр тяжести активного полуприцепа может выбираться так же, как и для неактивного, т.е. с учетом влияния полуприцепа на тяговые показатели.

Полученные в работе зависимости позволяют проводить анализ тяговых качеств нескольких ведущих колес при качении их по одному следу. С их помощью можно выявить влияние уплотнения поверхности на тяговые качества задних двигающихся следом передних колес; влияние распределения нагрузки по осям ведущих колес на их общее тяговое усилие и т.д.

Ключевые слова: трактор, уплотнение, нагрузка, качение, деформация, буксование.

E. KALININ, V. ZHILIN, R. PETROV, Y. KOLIESNIK

TRACTION QUALITIES OF THE DRIVING WHEELS WHEN ROLLING THEM ALONG ONE TRACK

During rectilinear motion of a wheeled tractor on a deformable surface, its rear wheels move along the track formed by the front ones. The amount of soil compaction can be different depending on its physical and mechanical properties, the dimensions of the front wheels of the tractor, the weight load falling on the front axle, and the like. Accordingly, the traction abilities of the rear drive wheels will also be different. This circumstance should be taken into account when designing wheeled tractors, especially tractor-tractors with two driving axles, in which a change in any of the factors listed above, for example, the distribution of the load along the axles, affects not only the compaction of the surface on which the rear wheels move, but and on the traction qualities of the front.

In the course of the research, it was found that with a decrease in the load distribution coefficient below 0.5, the role of the rear wheel, which is capable of developing a greater traction force than the front wheel at the same load, in the formation of the total traction force, decreases. Therefore, the total traction force of the driving wheels becomes lower. With an increase in this coefficient above 0.5, the amount of preliminary soil compaction by the front wheel decreases; as a result, the ability of the rear wheel to develop more traction than the front wheel under the same load is reduced. The greatest traction force of two driving wheels moving along the same track is achieved with the same weight loads. Thus, the position of the center of gravity of a tractor with four driving wheels of the same size should be chosen in such a way that the load on the front and rear wheels is equalized at the rated pull on the hook.

When conducting research on a field prepared for sowing, with an active semi-trailer with different load distribution between the rear axle of the tractor and the axle of the semi-trailer, it was found that the center of gravity of the active semi-trailer can be selected in the same way as for the inactive one, i.e. taking into account the influence of the semi-trailer on traction performance.

The dependences obtained in the work make it possible to analyze the traction qualities of several driving wheels when they roll along one track. With their help, it is possible to identify the effect of surface compaction on the traction qualities of the rear moving front wheels; the influence of load distribution along the axles of the driving wheels on their total traction force, etc.

Keywords: tractor, compaction, load, rolling, deformation, slipping.

Вступ. Сучасні теорії руху колеса існують у двох варіантах. У першому, класичному, найбільш простому та поширеному варіанті вважається, що сила і момент опору коченню змінюються відповідно до стрибкоподібної характеристики кулонового тертя. У другому, складнішому варіанті вважається, що сила і момент – величини змінні, які прийнято визначати через напруження, що виникають, в плямі контакту колеса і рейки (полотна дороги) [3, 4].

Ускладнений варіант береться за основу, коли необхідна підвищена точність при моделюванні руху колеса. В ускладненому варіанті всі існуючі на сьогоднішній день теорії припускають визначення сили та моменту опору коченню колеса безпосередньо, через напруження, що виникають у плямі контакту. Відрізняються вони один від одного головним чином вибором способу їх визначення. Складність такого підходу полягає в тому, що необхідно стежити за динамікою зміни площі плями контакту і напружень, що виникають, встановлюючи при цьому спочатку закони їх розподілу. Вирішення перелічених завдань дуже трудомістке, навіть без урахування динаміки процесу, і відноситься до найскладніших аспектів контактної взаємодії [1 – 7].

Особливо складним стає дане питання при дослідженні руху еластичного пневматика по поверхні, що вже деформована попереднім проходом переднього колеса, в результаті чого в ній наявні залишкові напруження певного значення.

Мета та постановка задачі. Враховуючи вищевикладене, метою роботи є проведення дослідження залежності тягових якостей ведучих коліс від розподілу вагового навантаження під час їх кочення по одному сліду.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити аналітичний комплекс дослідження формування колії при проходженні послідовно i -ої кількості коліс.

Виклад основного матеріалу. Під час проведення аналізу було прийнято такі припущення: кочення колеса супроводжується деформацією лише ґрунту; ґрунт не має пружних властивостей, тому його деформації є повністю залишковими; кочення колеса відбувається по горизонтальній ділянці шляху зі встановленою швидкістю. Прийmemo також, що ширина переднього колеса дорівнює ширині заднього.

Схема дії зусиль і реакцій на ведуче колесо при коченні по сліду переднього, з урахуванням прийнятих припущень, показано на рис. 1.

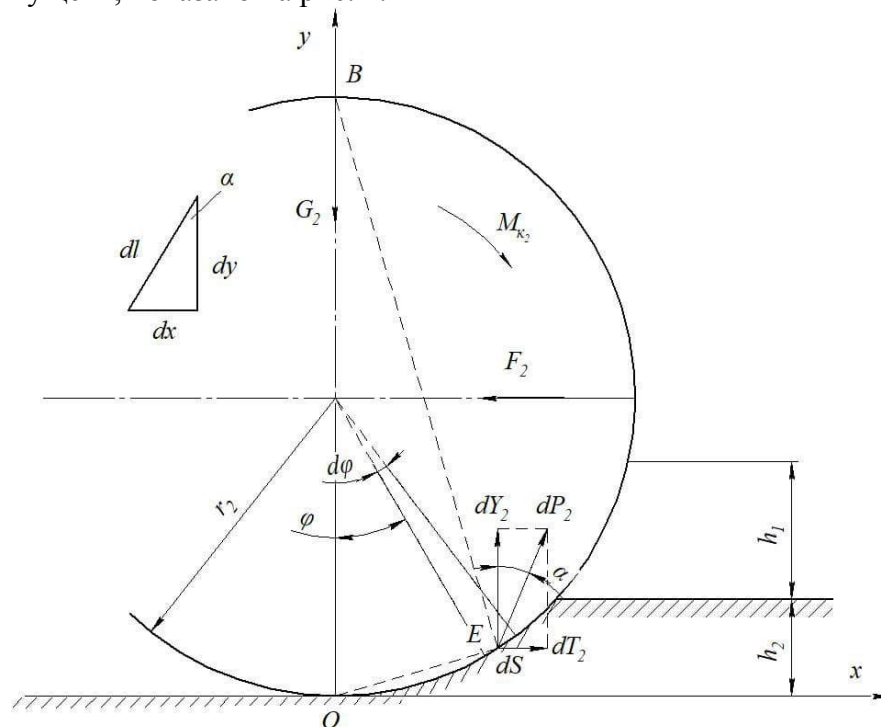


Рис. 1 – Схема дії сил та реакцій на ведуче колесо при коченні по ущільненій поверхні (по сліду переднього)

Як відомо, поверхня контакту ведучого колеса, в залежності від положення миттєвого центру обертання, може складатися або з зон буксування і зчеплення, або тільки з зони буксування. Рівнодіюча горизонтальних складових реакцій кожної зони визначається за рівнянням виду:

$$T = \frac{b\sqrt{D}}{2} \int_{y_H}^{y_B} q \frac{dx}{dl} \cdot \frac{dy}{\sqrt{y}} \quad (1)$$

де b – ширина обода колеса; D – діаметр колеса; q – напруження зминання ґрунту; $\frac{dx}{dl}$ – відношення, що характеризує величину відхилення реакції від нормалі до поверхні шляху в точці обода, що розглядається; y_H і y_B – межі зон.

Напруження зминання ґрунту переднім колесом, що рухається по недеформованій поверхні, зазвичай приймається пропорційним глибині занурення колеса і, з урахуванням траєкторій руху частинок ґрунту, виражається наступним рівнянням:

$$q = c(h_1 - y)^\mu \frac{dl}{dy}, \quad (2)$$

де c – коефіцієнт механічної міцності ґрунту; h_1 – глибина занурення колеса (глибина колії); $\frac{dl}{dy}$ – відношення, що характеризує вплив траєкторії переміщення частинок ґрунту на напруження зминання; μ – коефіцієнт, що характеризує стан ґрунту (надалі приймемо значення μ постійним та рівним одиниці).

Кочення колеса по ущільненій поверхні (по сліду переднього) викликає напруження ґрунту, що відповідає величині деформації обома колесами. Напруження в контакті цього колеса з ґрунтом буде визначатися залежністю виду:

$$q = c(h_1 + h_2 - y) \frac{dl}{dy}, \quad (3)$$

де h_2 – глибина колії, що утворюється другим колесом.

Аналогічно можна дійти висновку, що напруження зминання ґрунту, що викликається будь-яким i -м колесом, що рухається слідом передніх, число яких становить $i-1$, буде дорівнювати:

$$q = c(H + h_i - y) \frac{dl}{dy}, \quad (4)$$

де H – глибина колії до проходу i -го колеса (величина попереднього ущільнення ґрунту); h_i – глибина колії, що утворюється i -м колесом.

$$H = h_1 + h_2 \dots + h_{i-1} \quad (5)$$

Відповідно до викладеного, рівняння для визначення рівнодіючої горизонтальних складових реакцій ґрунту в кожній зоні на обід ведучого колеса, при коченні його слідом переднього, матиме вигляд:

$$T_2 = \frac{b_2 c \sqrt{D_2}}{2} \int_{y_H}^{y_B} (h_1 + h_2 - y) \frac{dx}{dy} \frac{dy}{\sqrt{y}} \quad (6)$$

де b_2 і D_2 – ширина та діаметр другого колеса.

Для i -го колеса:

$$T_i = \frac{b_i c \sqrt{D_i}}{2} \int_{y_H}^{y_B} (H + h_i - y) \frac{dx}{dy} \frac{dy}{\sqrt{y}} \quad (7)$$

Тягове зусилля ведучого колеса визначається складанням рівнодіючих кожної зони. Інтегрування рівнянь (6) і (7) слід проводити в межах, що відповідають величині даної зони.

Глибина колії після проходу колеса по недеформованій поверхні визначається за рівнянням виду:

$$h_1 = \left(\frac{1,5G_1}{b_1 c \sqrt{D_1}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (8)$$

де G_1 – навантаження на переднє колесо, включаючи вагу самого колеса.

Для визначення глибини колії, що утворюється заднім колесом, яке рухається слідом переднього, скористаємося схемою кочення колеса (рис. 1). Проектуючи всі сили на вертикальну вісь, отримаємо:

$$G_2 = \int_{y_H}^{y_B} q \cos \alpha dS \quad (9)$$

де G_2 – навантаження на заднє колесо, включаючи вагу самого колеса; dS – елементарний майданчик на ободі колеса; α – кут відхилення реакції ґрунту від нормалі до поверхні шляху.

Елементарний майданчик на ободі колеса шириною b_2 визначається за рівнянням:

$$dS = b_2 r_2 d\varphi \quad (10)$$

де $d\varphi$ – кут, що відповідає майданчику dS .

У системі координат, початок якої розташовано в нижній точці обода колеса, рівняння дуги кола мають вигляд:

$$x = r_2 \sin \varphi \quad (11)$$

$$y = r_2 (1 - \cos \varphi) \quad (12)$$

де φ – кут, що характеризує положення точки на ободі колеса.

З прямокутного трикутника BOE маємо:

$$x^2 = (D - y)y \quad (13)$$

З достатнім ступенем точності можна припустити, що:

$$x^2 \approx Dy \quad (14)$$

Враховуючи рівняння (12) після диференціювання, а також рівняння (11) та (14) та здійснивши деякі перетворення, формулу для визначення елементарної площі на ободі колеса можна представити у вигляді:

$$dS = \frac{b_2 \sqrt{D_2}}{2} \frac{dy}{\sqrt{y}} \quad (15)$$

Зі схеми кочення колеса видно, що:

$$\frac{dy}{dl} = \cos \alpha \quad (16)$$

Після інтегрування рівняння (9) у межах зміни y від нуля до h_2 з урахуванням виразів (3), (15) та (16) отримаємо:

$$G_2 = b_2 c \sqrt{D_2} h_2^{\frac{1}{2}} \left(h_1 + \frac{2}{3} h_2 \right) \quad (17)$$

Запишемо рівняння (17) у канонічній формі:

$$h_2^{\frac{3}{2}} + \frac{3}{2} h_1 h_2^{\frac{1}{2}} - \frac{3}{2} \frac{G_2}{b_2 c \sqrt{D_2}} = 0 \quad (18)$$

Вважаючи $y = h_2^{\frac{1}{2}}$ та замінюючи значення аргументів, що входять до рівняння (18), коефіцієнтами $\rho = \frac{3}{2}$ і $k = \frac{3}{2} \frac{G_2}{b_2 c \sqrt{D_2}}$, отримаємо, після відповідних підстановок, рівняння виду:

$$y^3 + \rho y + k = 0 \quad (19)$$

Розв'язуючи це рівняння із застосуванням формули Кардано, після заміни y відповідним значенням h_2 , коефіцієнтів ρ і k – їх значеннями та проведення деяких перетворень отримаємо формулу для визначення глибини колії, що утворюється колесом, яке рухається слідом переднього:

$$h_2 = \left[\left(\sqrt{\frac{9}{16} a_2^2 + \frac{1}{8} h_1^3} + \frac{3}{4} a_1 \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\sqrt{\frac{9}{16} a_2^2 + \frac{1}{8} h_1^3} - \frac{3}{4} a_2 \right)^{\frac{1}{3}} \right]^2 \quad (20)$$

$$\text{де } a_2 = \frac{G_2}{b_2 c \sqrt{D_2}}$$

Рівняння (19) має один дійсний розв'язок, тому що при всіх можливих значеннях змінних величин, що входять у вираз коефіцієнтів ρ і k , знак дискримінанту $D = \rho^3 + k^2 > 0$.

Аналогічним чином може бути визначена глибина колії, яка утворюється будь-яким i -м колесом, що рухається по ущільненій поверхні:

$$h_2 = \left[\left(\sqrt{\frac{9}{16} a_i^2 + \frac{1}{8} H^3} + \frac{3}{4} a_i \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\sqrt{\frac{9}{16} a_i^2 + \frac{1}{8} H^3} - \frac{3}{4} a_i \right)^{\frac{1}{3}} \right]^2 \quad (21)$$

де $a_i = \frac{G_i}{b_i c \sqrt{D_i}}$; H – величина попередньої деформації ґрунту, яка визначається за рівнянням

(5).

Отримані залежності дозволяють проводити аналіз тягових якостей кількох ведучих коліс під час кочення їх по одному сліду. З їхньою допомогою можна виявити вплив ущільнення поверхні на тягові якості задніх коліс, що рухаються слідом передніх; вплив розподілу навантаження по осях ведучих коліс на їхнє загальне тягове зусилля, тощо.

Розглянемо, як буде впливати зміна розподілу навантаження по осях на тягове зусилля двох однакових ведучих коліс при коченні їх по одному сліду. Розміри коліс: $r_1 = r_2 = 50$ см і $b_1 = b_2 = 22$ см приблизно відповідають розмірам коліс трактора, який був об'єктом експериментального дослідження.

Сумарне навантаження G , що припадає на осі обох коліс, прийемо 13,4 кН, що відповідає половині ваги досліджуваного трактора. Коефіцієнтом динамічного розподілу навантаження з урахуванням перерозподілу в русі назовемо відношення виду $\lambda = \frac{G_2}{G}$. Коефіцієнт C визначено

з діаграм, отриманих при вимірюванні щільності ґрунту щільноміром Ревякіна. Його значення склали 0,9...1,0 для стерні та 0,12...0,18 для поля, підготовленого під посів. На рис. 2 показано графік зміни максимальних тягових зусиль T_1 переднього та T_2 заднього коліс в залежності від розподілу навантаження між ними при русі на поверхні, що характеризується коефіцієнтом $C = 0,9$. При максимальному тяговому зусиллі вся частина обода колеса, що знаходиться в контакті із ґрунтом, стає зоною буксування. Відповідно до цього, при розрахунках у рівнянні (6) відношення $\frac{dx}{dy}$, що характеризує траєкторії зминання частинок ґрунту, взято тільки для

зони буксування.

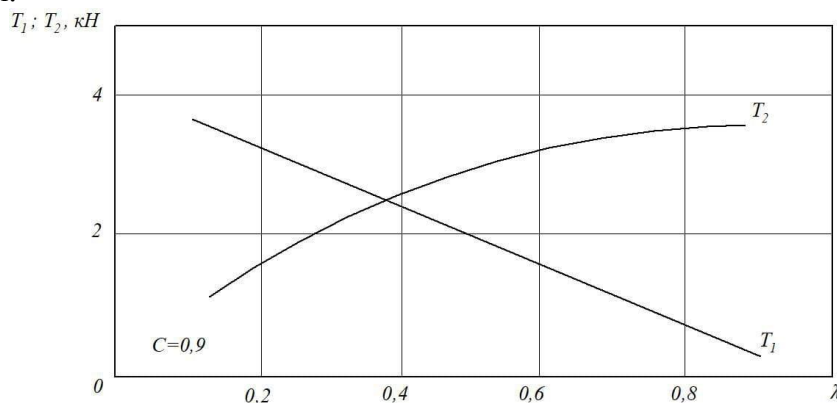


Рис. 2 – Зміна тягових зусиль ведучих коліс в залежності від розподілу навантаження між ними

Тягове зусилля переднього колеса, як видно з графіка, знаходиться в лінійній залежності від вагового навантаження. Тягове зусилля заднього колеса залежить не лише від навантаження, а й від величини попереднього ущільнення ґрунту переднім колесом. При збільшенні коефіцієнта розподілу навантаження величина попереднього ущільнення ґрунту знижується, внаслідок чого інтенсивність зростання тягового зусилля заднього колеса зі збільшенням навантаження спадає.

Аналогічні розрахунки тягових зусиль T_1 і T_2 проведені також для випадку кочення коліс по більш м'якій поверхні ($C = 0,18$). Шляхом підсумовування T_1 і T_2 при тих самих значеннях коефіцієнта розподілу, побудовані графіки зміни загального тягового зусилля T коліс в залежності від розподілу навантаження між ними (рис. 3). Також представлені залежності зменшеного вдвічі тягового зусилля трактора з чотирма ведучими колесами однакового розміру; при цьому передбачалося, що тягові зусилля правих та лівих коліс однакові. Криві 2 та 4 побудовані за результатами випробувань, відповідно, на полі, підготовленому під посів та стерні.

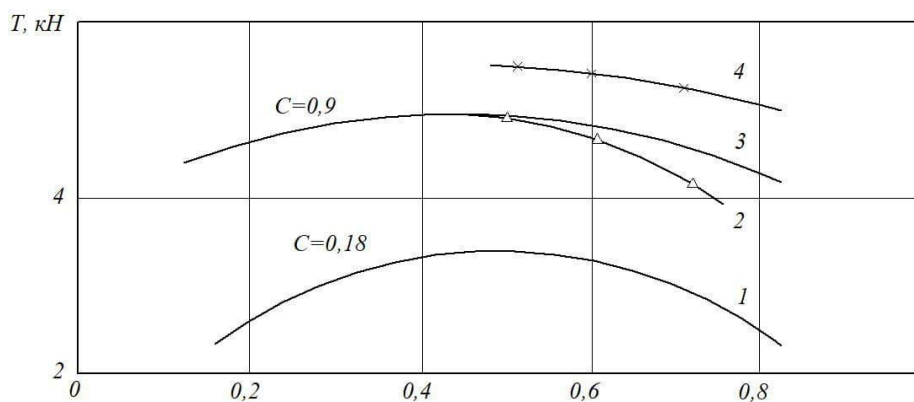


Рис. 3 – Зміна сумарної сили тяги двох коліс залежно від розподілу навантаження між ними: 1, 3 – розрахункові криві; 2, 4 – експериментальні.

Випробування проводилися на дослідному тракторі-тягачі, експлуатаційна вага якого разом із комплексом додаткових вантажів дорівнює 26,9 кН. Розмір шин 11-20. Розподіл навантаження змінювався перестановкою додаткових вантажів, укріпленими спереду і позаду трактора.

Значення навантажень на осі трактора у статичному стані при кожному розподілі наступні: на передню вісь – 18; 13,7 та 10,9 кН; на задню вісь – 8,8; 13,1 та 16 кН відповідно

Інші параметри, що впливають на тягові якості трактора (тиск повітря в шинах, співвідношення окружних швидкостей коліс) зберігалися постійними.

Після обробки результатів випробувань визначалися тягові зусилля на гаку трактора при максимальному ККД ходової системи та діючі при цьому навантаження на колеса. За отриманими даними будувалися залежності тягового зусилля від коефіцієнта λ .

Характер зміни експериментальних і розрахункових кривих однаковий, проте значення тягових зусиль при тому самому коефіцієнті λ різні. Розбіжність експериментальних кривих з розрахунковими пояснюється насамперед різницею конструкцій жорсткого і пневматичного коліс і, отже, у взаємодії їх із поверхнею кочення.

Аналізуючи залежності, що наведені на рис. 2 і 3, приходимо до наступного висновку.

Зі зменшенням коефіцієнта розподілу навантаження нижче 0,5 знижується роль заднього колеса, здатного розвивати більше тягове зусилля, ніж передне при тому ж навантаженні, в утворенні загального тягового зусилля. Тому загальне тягове зусилля ведучих коліс стає нижчим, ніж при $\lambda = 0,5$. При збільшенні λ вище 0,5 зменшується величина попереднього ущільнення ґрунту переднім колесом; в результаті знижується здатність заднього колеса

розвивати більше тягове зусилля, ніж переднє за того ж навантаження. Найбільше тягове зусилля двох ведучих коліс, що рухаються по одному сліду, досягається при однакових вагових навантаженнях ($\lambda = 0,5$).

На полі, підготовленому під посів, були проведені випробування трактора з активним напівпричепом при різному розподілі навантаження між задньою віссю трактора і віссю напівпричепа. Зміна навантаження через кожні 2 кН здійснювалася перестановкою вантажів по платформі напівпричепа. Мінімальне навантаження на задню вісь трактора при найменшому довантаженні від ваги напівпричепа складало 12,7 кН, максимальне – 20,6 кН, що відповідало межі вантажопідйомності шин. У той же час навантаження на вісь напівпричепа змінювалося від 34,2 до 26,5 кН. Колеса на напівпричепі були встановлені того самого розміру, що й на тракторі.

Залежність тягового зусилля ведучих коліс тракторного поїзда за максимального ККД ходової системи від коефіцієнта $\lambda' = \frac{G_3}{G_2 + G_3}$, де G_3 – навантаження на вісь напівпричепа, а також розрахункова крива для аналогічних умов зображені на рис. 4.

З графіків, що наведені на рис. 3 і 4 видно, що зміна розподілу навантаження між осями трактора істотно впливає на його тягові якості, особливо при роботі на м'якому ґрунті – полі, підготовленому під посів. Зміна розподілу навантаження у зазначених вище межах між задніми колесами трактора та колесами напівпричепа впливає на тягове зусилля незначно, оскільки вони рухаються попередньо ущільненою колією передніх коліс.

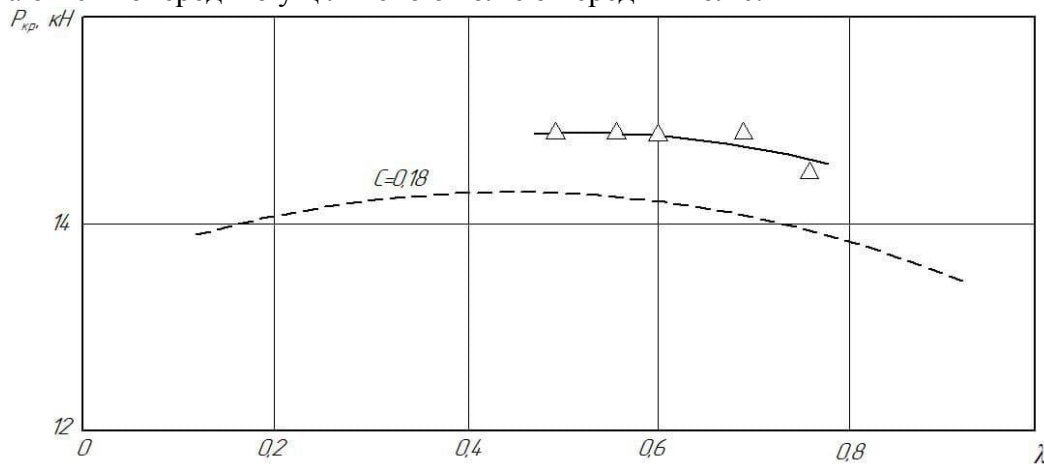


Рис. 4 – Зміна сили тяги тракторного поїзда з активним напівпричепом залежно від розподілу навантаження між задніми колесами трактора та колесами напівпричепа:

----- розрахункові значення; ————— експериментальні значення

Висновки. На підставі проведеного дослідження залежності тягових якостей ведучих коліс від розподілу вагового навантаження можна рекомендувати наступне.

Положення центру ваги трактора з чотирма ведучими колесами однакового розміру слід вибирати з таким розрахунком, щоб навантаження на передніх та задніх колесах вирівнювалося за номінального тягового зусилля на гаку.

Центр ваги активного напівпричепа може вибиратися так само, як і для неактивного, тобто з огляду на вплив довантаження трактора вагою напівпричепа на тягові показники.

За допомогою отриманих рівнянь (7), (21) може проводитись аналіз впливу різних факторів на тягові якості колісної машини або поїзда з двома та більш ведучими осями.

Список літератури:

1. Калінін Є.І., Романченко В.М. Оцінка міцності при дії локального навантаження на попередньо напружену безмоментну оболонку. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів, №5, 2016, С. 167-172.
2. Калінін Є.І., Поляшенко С.О. Розв'язок статичної плоскої задачі теорії пружності для неоднорідних ізотропних тіл. Математичне моделювання. 2018. №2(39). С. 102-111
3. Білоконь Я.Ю., Окоча А.В. Трактори і автомобілі: підручник. К. : Урожай, 2002. 318 с.
4. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. Москва. КолосС, 2004. 504 с.
5. Гребнёв В. П., Поливаев О. И., Ворохобин А. В. Тракторы и автомобили. Теория и эксплуатационные свойства. Москва. КНОРУС. 2011. 264 с.
6. Охмат П. К., Мельниченко В. І. Основи теорії та розрахунки трактора і автомобіля: курс лекцій. Дніпропетровськ. ДДАУ. ТОВ «ЕНЕМ». 2009. 320 с.
7. Russini A., Schlosser J. F., Farias M. S. Estimation of the traction power of agricultural tractors from dynamometric tests. Cienc. Rural vol. 48 no. 4 Santa Maria, 2018. Epub Apr. 16, 2018. DOI: 10.1590/0103- 8478cr20170532.

References (transliterated)

1. Kalinin E.I., Romanchenko V.M. Estimation of strength under the action of local load on a pre-stressed momentless shell. Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes, №5, 2016, P. 167-172.
2. Kalinin E.I., Polyashenko S.O. Solution of the static plane problem of the theory of elasticity for inhomogeneous isotropic bodies. Mathematical modeling. 2018. №2 (39). P. 102-111
3. Bilokon Ya.Yu., Okocha AV Tractors and cars: a textbook. K.: Urozay, 2002. 318 с.
4. Kutkov G. M. Tractors and cars. Theory and technological properties. Moscow. Kolos, 2004. 504 p.
5. Grebnev V. P., Polivaev O. I., Vorokhobin A. B. Tractors and cars. Theory and operational properties. Moscow. KNORUS. 2011. 264 p.
6. Okhmat PK, Melnichenko VI Fundamentals of theory and calculations of tractor and car: a course of lectures. Dnipropetrovsk. DDAU. ENEM LLC. 2009. 320 p.
7. Russini A., Schlosser J. F., Farias M. S. Estimation of the traction power of agricultural tractors from dynamometric tests. Cienc. Rural vol. 48 no. 4 Santa Maria, 2018. Epub Apr. 16, 2018. DOI: 10.1590/0103- 8478cr20170532.

Надійшла (received) 01.11.2021 р.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Калінін Євген Іванович (Калинин Евгений Иванович, Kalinin Evgeny) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри комп'ютерної інженерії та програмування, м. Харків, Україна, ORCID: 0000-0001-6191-8446; e-mail: kalinin.kpi.kharkov.ua@gmail.com

Жилін Володимир Анатолійович (Жилин Владимир Анатольевич, Zhilin Volodymyr) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри комп'ютерної інженерії та програмування, м. Харків, Україна, ORCID: 0000-0002-7342-3456; e-mail: v.zhilin@khai.edu

Петров Руслан Максимович (Петров Руслан Максимович, Petrov Ruslan) – Державний біотехнологічний університет, аспірант кафедри тракторів і автомобілів, м. Харків, Україна, ORCID: 0000-0002-9852-3158; e-mail: petrov_ruslan@gmail.com

Колесник Юліана Ігорівна (Колесник Юлиана Игоревна, Kolesnik Yuliana) – Державний біотехнологічний університет, аспірант кафедри тракторів і автомобілів, м. Харків, Україна, ORCID: 0000-0002-9915-2455; e-mail: julianakolesnik26@gmail.com