

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ОПОРУ ПЕРЕСУВАННЮ І ПОВОРОТУ ГУСЕНИЧНОГО ТЯГАЧА НА ЗАГАЛЬНИЙ ОПІР РУХУ ПРИЧІПНОГО КАТКА ТА ГЛИБИНИ ПРОСІДАННЯ МАЛООПОРНОЇ ГУСЕНИЦІ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ТА РЕМОНТІ КОЛІЇ

Значення опору пересуванню і повороту гусеничного рушія тягача ґрунтоущільнюючої машини, підраховані за запропонованою методикою, менші приблизно удвічі за ті, що отримані з використанням довідкових рекомендацій, оскільки використовуються уточнені дані.

Значения сопротивления передвижению и поворота гусеничного движителя тягача ґрунтоуплотняющей машины, подсчитанные по предложенной методике, меньше примерно вдвое от полученных с использованием справочных рекомендаций, поскольку используются уточненные данные.

Values of resistance to the movement and turn of tractor on the caterpillar motion of making more compact machine, calculated on the offered method, less approximately twice from got with the use of help recommendations, as refined data are used.

Постановка проблеми. При розрахунку ґрунтоущільнюючих машин у складі гусеничного тягача і причіпного змінного робочого обладнання, зокрема, каткового типу, загальний опір руху машини складатиметься з двох частин. При цьому, тягач може деформувати ґрунт на рівні з робочим обладнанням, особливо на початковій стадії ущільнення насипного ґрунту. Таким чином, доцільно знати розподіл опору руху між частинами ґрунтоущільнюючої машини для аналізу і прийняття рішень щодо конструктивного виконання як ходового обладнання тягача, так і виду робочого органу. Крім того, гусеничний рушій сам по собі може використовуватись як ґрунтоущільнюючий робочий орган, оскільки ним оснащені землерийні і землерийно-транспортні машини, що готують ґрунт до ущільнення.

Аналіз останніх досліджень. Відомі дослідження опору руху як гусеничних, так і пневмоколісних рушіїв, спрямовані на визначення енергії, що витрачається на деформацію ґрунту [1]. Але при розрахунку опору коченню, як правило, не враховуються: параметри рушія і ґрунту, які суттєво впливають на кінцевий результат, зокрема, ширина гусениці чи коліі; величини коефіцієнтів опору зминанню ґрунту і його пружної деформації та співвідношення між ними; а також ряд величин, що беруться з довідкових даних і мають досить приблизні значення, округлені, як правило, в більшу сторону, оскільки вони отримані експериментальним шляхом і носять емпіричний характер. В

результаті розрахунку, виконані за запропонованими і довідковими формулами, відрізняються майже в два рази, що суттєво, оскільки при цьому можна значно уточнити потужність силового агрегату, що потрібний для конкретної машини в залежності від її конструктивного виконання і комплектації певними видами робочих органів.

Мета статті. Визначення опору пересуванню і повороту гусеничного тягача та глибини просідання малоопорної гусениці з використанням раніше отриманих залежностей для визначення коефіцієнтів опору руху, що припадають на пружну і пластичну деформацію ґрунту, дозволить значно уточнити відомі методики, засновані на використанні довідкових даних і правильно розподілити потужність базового чи запропонованого силового агрегату.

Основний матеріал. Знайдемо величину коефіцієнта опору руху гусеничного рушія трактора масою G , розміром гусениць $L \times B$ (рис. 1, а). Вважаючи розподіл тиску рівномірним, отримаємо:

$$q = \frac{Gg}{2BL}. \quad (1)$$

Глибина вмикання гусениць

$$y = q/k_2. \quad (2)$$

Робота, виконана силою тяжіння трактора при зануренні гусениць на глибину y і об'єм зім'ятого матеріалу:

$$A_q = Ggy; \quad (3)$$

$$V_q = 2BLy. \quad (4)$$

Відносна робота змінання:

$$A_{от} = \frac{A_q}{V_q} = \frac{Gq}{2BL}. \quad (5)$$

При переміщенні трактора на відстань L_n об'єм зім'ятого ґрунту:

$$V_{см} = 2ByL_n. \quad (6)$$

Робота, витрачена на змінання ґрунту на довжині L_n :

$$A_1 = A_{от}V_{см} = Ggyg_n / L. \quad (7)$$

Робота, необхідна для пересування трактора на відстань L_n при умовному коефіцієнті опору руху $w_{см}$:

$$A_{п} = w_{см}GgL_n. \quad (8)$$

Прирівнявши вирази (7) і (8), отримаємо складову опору перекочуванню гусеничного рушія, що припадає на змінання ґрунту:

$$w_{см} = \frac{y}{L} = \frac{q}{k_2L}. \quad (9)$$

Залежність $w_{см}$ від коефіцієнта k_2 показана на рис. 1, б. Відзначимо, що рекомендований коефіцієнт опору перекочуванню для гусеничного ходу при ґрунтовій дорозі складає величину $w = 0,05 \dots 0,1$ [2]. В цьому випадку опір перекочуванню від змінання ґрунту складає від часток відсотка при «відмінному ґрунті» [3; 4] до половини від того, що рекомендується при дуже рихлому. Дані отримані для трактора масою $G = 5250$ кг з розмірами гусениці $B \times L = 0,5 \times 2,7$ м; $q = 27$ кПа.

Відзначимо, що формула (9) справедлива і для абсолютно жорсткої пластини (плити) прямокутного контуру при будь-якій схемі навантаження; величина L при цьому визначається стороною, паралельною напрямку руху.

Для гусеничного ходу максимальну величину опору повороту навколо загальмованої гусениці рекомендується визначати з виразу [5]

$$W_{кр} = 0,5f_{кр} \frac{GgL}{B}, \quad (10)$$

де $f_{кр}$ – коефіцієнт тертя ковзання гусениці по ґрунтовій основі, що приймається рівним кое-

фіцієнту зчеплення.

При повороті машини на гусеничному ході щодо центру однієї з гусениць, наприклад, на кут $\pi/2$, об'єм зім'ятого ґрунтової основи:

$$W_{см} = \frac{L^2}{8} \left[1 + \frac{1}{\sin^2 \alpha} - \frac{(2B_k - B)^2}{L^2} \right] \frac{\pi y}{2}, \quad (11)$$

де $\alpha = \arctg \frac{L}{2B_k + B}$; B_k – колія гусениць.

Аналогічно (7) знайдемо роботу на змінання ґрунту:

$$A_1 = A_{от}V_{см} = \frac{Gg\pi L \left[1 + \frac{1}{\sin \alpha} - \frac{(2B_k - B)^2}{L^2} \right]}{32B} y. \quad (12)$$

Робота, необхідна для повороту гусениць на кут $\pi/2$ при умовному коефіцієнті опору $w_{см}$:

$$\begin{aligned} A_{п} &= \frac{Gg}{2} \left(B_k \varphi + \frac{2L \sin \varphi}{3\varphi} \right) w_{см} = \\ &= \frac{Gg}{2} \left(\frac{\pi B_k}{2} + \frac{4L}{3\pi} \right) w_{см}. \quad (13) \end{aligned}$$

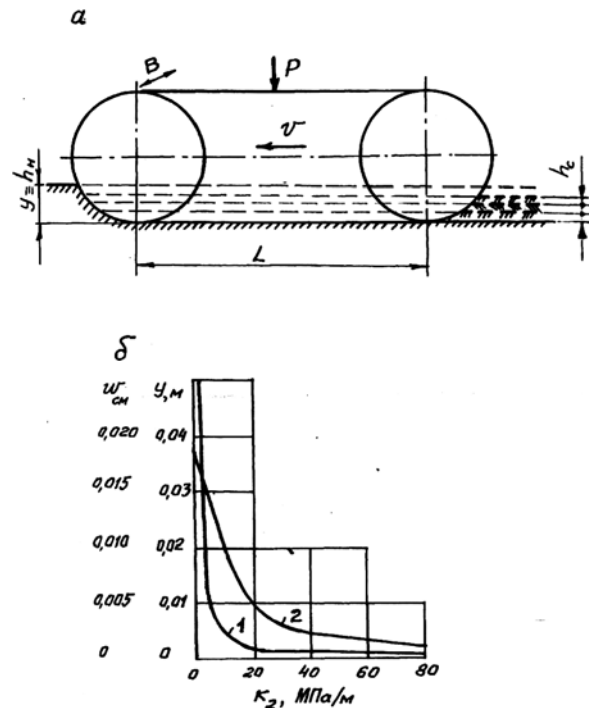


Рис. 1. Розрахункова схема гусеничного рушія (а) і залежність глибини вмінання ґрунту (1) і опору перекочуванню, що припадає на змінання ґрунтової основи (2) від коефіцієнта змінання k_2 – (б)

Ця формула отримана як добуток навантаження, що припадає на одну гусеницю, на шлях, пройдений центром прикладення наван-

таження однієї і іншої гусениць при її повороті на кут φ .

Прирівнявши два останні вирази, отримаємо:

$$w_{cm} = \frac{\pi L \left[1 + \frac{1}{\sin^2 \alpha} - \frac{(2B_k - B)^2}{L^2} \right] q}{16B_k \left(\frac{\pi B_k}{2} + \frac{4L}{3\pi} \right)}. \quad (14)$$

Істотною відмінністю отриманої формули від довідкової є присутність в ній величини B_k – колії, вплив якої на зусилля повороту очевидний. Другою істотною відмінністю є наявність коефіцієнта опору змінанню k_2 , вплив якого на опір повороту також очевидний. Наявність в довідковій формулі тільки коефіцієнта тертя ковзання не завжди враховує властивість ґрунтової основи повністю. Наприклад, розворот на ґрунтовій основі з малим значенням k_2 , але покритим снігом може привести до абсолютно різних результатів, отриманих за запропонованою і довідковою формулах.

При $B_k = 1,6$ м і даних, наведених вище, отримаємо $w_{cm} = 0,005 \dots 0,120$ залежно від k_2 . Якщо прийняти коефіцієнт тертя між ґрунтовою основою і гусеницями $w_{тр} = 0,4$, то за нашою методикою $W_{пов} = (w_{тр} + w_{cm})Gg = 29 \dots 37$ кН, а з довідкової формули $W_{пов} = 77$ кН.

Доцільно також врахувати вплив глибини просідання малоопорної гусениці, оскільки, у цьому випадку, тиск на ґрунт передається нерівномірно, і максимальна величина просідання під катками буде більшою, ніж аналогічне значення для багатоопорної гусениці. Отже, будуть великими об'єм зім'ятого матеріалу при пересуванні гусеничного тягача на задану довжину і опір пересуванню від змінання матеріалу ґрунтової основи.

Формулою (2) можна користуватися при визначенні просідання багато опорних гусениць. В мало опорних гусеницях тиск на ґрунт передається нерівномірно, тому максимальна величина просідання під катками буде більше, ніж значення для багато опорної гусениці. Отже, будуть великими об'єм зім'ятого матеріалу при пересуванні, наприклад, екскаватора на довжину L (6) і опір пересуванню від змінання матеріалу ґрунтової основи.

Представимо розрахункову схему гусениці між двома опорними катками у вигляді, показаному на рис. 2. Для вирішення задачі щодо визначення максимальної величини просідання

гусениці a скористаємося наступним наближеним способом послідовних наближень. Рішення такої задачі в точній постановці навряд чи можливе: величина a – просідання під катком і f – прогинання гусениці в середині прольоту і в самому прольоті взаємно залежні.

Величину a для першого наближення визначимо як для жорсткої пластини або багато опорної гусениці з формули (2):

$$a_1 = q/k_2.$$

Просідання гусениці в другому наближенні знайдемо при наступних припущеннях: вважаємо, що гусениця прогинається по синусоїді, тобто

$$y(x) = a - f \sin \frac{\pi x}{l}; \quad (15)$$

тоді, наприклад, при $x = l/2$ $y(x) = a - f$, а при $x = 0$ або $x = l$ $y(x) = a$.

Тепер з рівності об'ємів деформованого матеріалу для першого і другого випадків (це коректно, оскільки залежність між a і q лінійна) отримаємо:

$$a = a_1 + 2f/\pi = q/k_2 + 2f/\pi. \quad (16)$$

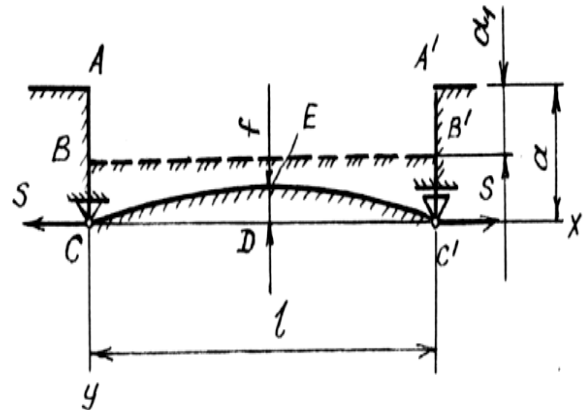


Рис. 2. Розрахункова схема гусениці в прольоті між катками

З формули (16) видно, що в ній в явному вигляді відсутнє натягнення гусениці S . Для його визначення спроєкуємо сили, діючі на гусеницю в прольоті від реакції ґрунтової основи, і саму силу S на вісь X . Після елементарних перетворень отримаємо:

$$S = \frac{Bk_2 l^2}{2\pi f} (a - 2f/\pi). \quad (17)$$

Задавши f в частках a $f = an^*$, де ($n^* < 1$), отримаємо замість (17):

$$S = \frac{Bk_2 l^2}{2\pi n^*} (1 - 2n^* / \pi). \quad (18)$$

Залежність між S і n^* показана на рис. 3. Тут же представлена крива залежності інтенсивності зростання S від n^* – dS/dn^* . Неважко помітити, що особливо інтенсивно повинне зростати натягнення гусениці при $n^* < 0,5$. З погляду натягнення очевидно, що величину n^* брати менше 0,5 недоцільно.

Таким чином, за відомими величинами B , k_2 , l , задавши n^* , можна визначити S за (18) або a по формулі:

$$a = \pi q / k_2 (\pi - 2n^*). \quad (19)$$

Значення a залежно від n^* при різних величинах k_2 показані на тому ж рис. 3.

В наведених вище формулах передбачалося, що радіус катка $R_k = D/2$ набагато менший прольоту l між ними. З урахуванням катка приведений проліт між їх центрами:

$$l_{пр} = l - D_k \varphi_k, \quad (20)$$

де $\varphi_k = 2 \arcsin(2\sqrt{a(D_k - a)}) / D_k$.

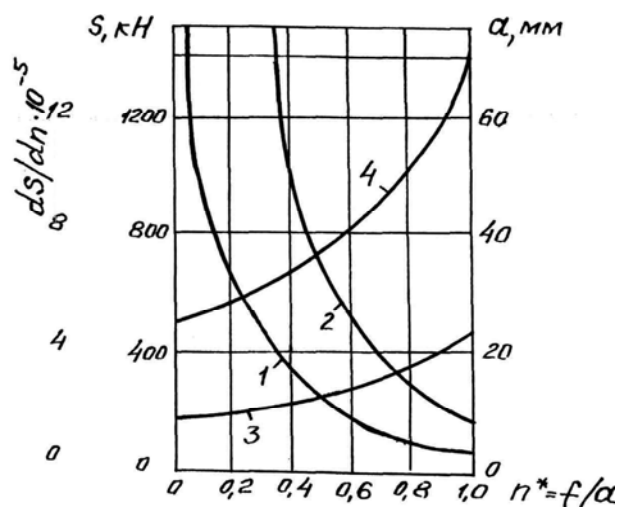


Рис.3. Залежність від співвідношення прогинання гусениці до заглиблення катка:
1 – натягнення гусениці; 2 – інтенсивності наростання натягнення; 3 – заглиблення катка б при $k_2 = 6$ МПа
і $k_2 = 3$ МПа

При визначенні опору на змінання матеріалу ґрунтової основи у разі переміщення мало

опорної гусениці на відстань L_n , об'єм зім'ятого матеріалу можна знайти аналогічно (6):

$$V_{см} = 2BaL_n \quad (21)$$

виконавши подальші викладення аналогічно вищенаведеної методиці.

Величина S у формулі (18) може бути проконтрольована по верхній частині гусениці: якщо відоме її прогинання f_x у середині прольоту, то:

$$S = \frac{m_{гус} g l^2}{8 f_x}, \quad (22)$$

де $m_{гус}$ – лінійна щільність гусениці.

Висновки і перспективи досліджень. Значення опору пересуванню і повороту гусеничного рушія тягача ґрунтоущільнюючої машини, підраховані за запропонованою методикою і з використанням довідкових рекомендацій відрізняються більше, ніж у два рази, тобто, при розрахунку за запропонованою методикою маємо менший результат, оскільки користуємося уточненими даними. Завдяки цьому можна ефективніше використати енергоресурси та удосконалити параметри, зокрема, ґрунтоущільнюючих машин каткового типу.

Подальші дослідження спрямовані на систематизацію отриманих результатів і їх методичне представлення у зручному для користувача вигляді.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ульянов Н. А. Теория самоходных колесных землеройно-транспортных машин. М.: – Машиностроение, 1969. – 520 с.
2. Экспериментальное определение коэффициента сопротивления перекатыванию гусеничного движителя / Варшавский А. М., Бондаренко В. Д., Бондаренко Л. Н. // Изв. вузов. Машиностроение, 1992. № 1–3. С. 84 – 86.
3. Тимошенко С.П., Войноровский-Кригер С. Пластинки и оболочки. – М.: Наука, 1966. – 635 с.
4. Тимошенко С.П. Курс теории упругости. Киев: Наукова думка, 1972. – 501 с.
5. Александров М. П. и др. Справочник по кранам: В 2 томах. Т. 2 – Л.: Машиностроение, 1988. – 559 с.

Надійшла до редколегії 15.03.07.