

УДК 631.33.002

P. Pristupa, engineer, State Agrarian and Engineering University in Podilya

VZAEODYA CATERPILLAR Z SOIL

Annotation. *Is made analysis factor, which influence upon tractive-coupling quality of the caterpillar machines, reduce the bad influence on ground, allow to use the modernized sought-after systems of the farm machinery.*

It is installed that pull of the caterpillar on different area caterpillar dribble carries the uneven nature, but the general load dribble depends not only from circular effort on leading travell about, but also from correlation of the length free and worker of the branch.

It is determined main share of all expenseses to powers in caterpillar on friction in joint of the caterpillar and between element of the grapping when entering section in grapping, displacement on arc of the girth and output from grapping.

It is installed that resistance to moving the caterpillar tractor takes into account the expenseses on friction in element of the caterpillar (the internal losses) and on deformation of ground under the action of loads, which are sent by supporting plane of the caterpillar.

It is determined that under formed moving the caterpillar tractor on importance of the total expenseses vastly affects the reaction of ground, which appears before the first supporting skating rink, under vertical displacement of ground frontal area caterpillar dribble.

It is installed that pressing of ground brings about reduction of the onward velocity of the tractor that is to say before slippage. The slippage of the caterpillar is a correlation of the offset of ground by one salient of the caterpillar before step section.

The result of the studies is installed that caterpillars will send the pressure on ground actively-supporting area, which are grouped around supporting skating rink. If skating rink are located so often that nearly each section of the caterpillar, which rests upon ground, is found under their direct influence that active is whole surface of the caterpillar.

Keywords: *caterpillar, stubborn part caterpillar, step, corner of the slopping section, resistance to motion, factor of the resistance to motion, tractive load, reactions of ground, equation of the tractive balance, the centre of the pressure, skating rink.*

П.А. Приступа, інженер ПДАТУ

ВЗАЄМОДІЯ ГУСЕНИЦЬ З ГРУНТОМ

Проаналізовані фактори, які впливають на тягово-зчіпні якості гусеничних машин на ґрунті, пов'язані з врожайністю сільськогосподарських культур і родючістю ґрунтів через їх ущільнення гусеничними рушійми.

Ключові слова: гусеничний рушій, опорна ділянка гусеничного обводу, крок ланки, кут нахилу ланки, опір перекочуванню, коефіцієнт опору перекочуванню, буксування, тягове навантаження, реакції ґрунту, рівняння тягового балансу, центр тиску, опорний коток.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Одна з основних проблем, з якими стикаються аграрії, – це надмірне ущільнення ґрунту, викликане різними факторами, одним з яких є його ущільнення ходовими системами сільськогосподарських машин, що погіршує природний водний, повітряний баланс та розвиток кореневих систем вегетуючих рослин сільськогосподарських культур. Тому при ущільненні ґрунту існують наступні агротехнологічні проблеми: виявлення переущільнення ґрунту, визначення глибини його переущільнення і товщини шару переущільнення, величини (твердості) ґрунту і способи зменшення ущільнення шляхом модернізації ходових систем сільськогосподарської техніки та механічного розпушування ґрунтів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Відомі вчені-дослідники досить ґрунтовно опрацювали теоретичні основи переущільнення ґрунту, способи і засоби його розущільнення. Вчені-дослідники Сало В.М., Кропівний В.М., Водяник І.І., Ксєневич І.П., Скотников В.А., Ляско М.И., Скребялис С.А., Казаков Г.И., Камнев А.Л., Маслов В.А., Полонский М.А., Юшин А.А., Семенюк И.М., Благодатный Ю.А., Гермаш Н.П. та інші запропонували методика дослідження переущільнення ґрунту, конструкції машин та їх робочих органів для розущільнення. Проте аналіз науково-технічної літератури засвідчує, що дослідження переущільнення ґрунтів за допомогою приладних методів розкриті в малому об'ємі, а практичні розробки обмежені.

Мета статті: розкрити суть взаємодії гусеничного рушія з ґрунтом, розробити методики дослідження його переущільнення, а також покращити тягово-зчіпні властивості ходових систем сільськогосподарських тракторів та зменшити шкідливу дію ходових систем на ґрунт.

Виклад основного матеріалу дослідження. Зчеплення гусениць з ґрунтом значною мірою залежить від якостей ґрунту; його вологості, фізико-механічного складу, а також від параметрів рушія.

Аналіз факторів, які впливають на тягово-зчіпні якості гусеничних машин, дозволяє зробити висновок, що покращати ці якості можливо зміною тиску рушія на ґрунт і реакції ґрунту на опорну поверхню ґрунтозачепів.

Дія гусениць на ґрунті пов'язана з врожайністю сільськогосподарських культур і родючістю ґрунтів через ущільнення і руйнування скибок та їх стирання.

Як сказано раніше, при ущільненні ґрунту зменшується його пористість, розміри ґрунтових структурних частинок, змінюється відношення капілярів і пор великих розмірів. Це призводить до збільшення щільності і твердості ґрунту, до зміни повітро-, водопровідності, фільтраційних та інших якостей.

При цьому вплив ущільнення на якості ґрунтів може бути двояким. З однієї сторони, дія гусениць на ґрунт призводить до утворення на полях по лініях руху машин ущільнених ґрунтових зон, які можуть стати зонами підвищеного притоку і випаровування ґрунтової вологи. Ця волога з розчиненими в ній поживними речовинами переміщується в зони ущільнення капілярними силами із сусідніх менше ущільнених ділянок чи з глибинних шарів ґрунту. З іншої сторони, ущільнений ґрунт різко зменшує можливість притоку поживних речовин до сільськогосподарських рослин та погіршує розвиток.

Основна частка всіх затрат потужності в рушієві приходиться на додання тертя в шарнірах гусениці і між елементами зачеплення при вході ланки в зачеплення, переміщення по дузі обхвату і виході із зачеплення. Усі інші складові затрат потужності незначні.

Опір перекочуванню гусеничного трактора враховує затрати на тертя в елементах рушія (внутрішні затрати) і на деформацію ґрунту під дією навантажень, які передаються опорною поверхнею гусениць (зовнішні затрати). До внутрішніх відносяться вказані раніше затрати на тертя в підшипниках опорних і підтримуючих котків і напрямних коліс, перекочування опорних котків по бігових

доріжках гусениць, тертя в шарнірах ланок гусениць і на биття гусениць. Ці затрати враховуються коефіцієнтом f_m і компенсуються підведеним до гусениці крутним моментом.

Зовнішні затрати обумовлені місцевою деформацією ґрунту при кутових поворотах ланок опорної вітті і вертикальним пресуванням ґрунту, тобто утворенням колії під дією навантажень, які передаються на гусениці опорними котками. Вони враховуються коефіцієнтом $f_{тр}$ і компенсуються дотичною силою тяги.

Таким чином, коефіцієнт опору кочення гусеничного трактора $f = f_m + f_{тр}$.

При сталому рухові гусеничного трактора на значення загальних втрат значно діє реакція $R_{сп}$ (рис. 1), яка виникає під першим опорним котком при вертикальному пресуванні ґрунту лобовою ділянкою гусеничного обводу (в основному її горизонтальна складова $P_{фр}$ опору перекочування).

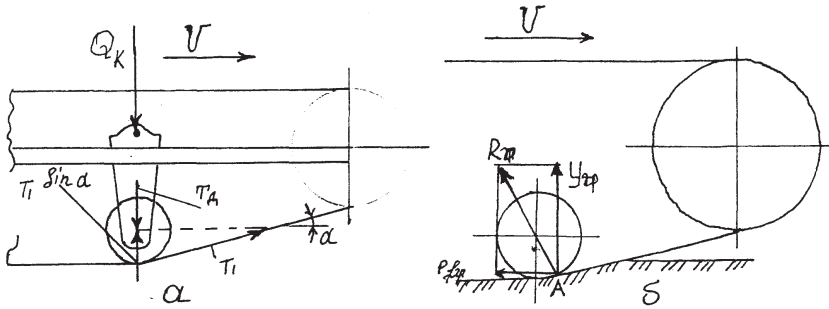


Рис. 1. Схема сил, діючих на опорний коток лобової ділянки гусениці.

а – при зміні кута нахилу і натягу вітті обводу

б – при встановленому рухові на горизонтальній дорозі.

Основними факторами, які значно впливають на силу P_f опору перекочування гусеничного трактора, є глибина заглиблення гусениці в ґрунт кута поворотів ланок.

Однак практично значення сили P_f визначають за формулою, в якій явно не враховано вплив конструкторських і експлуатаційних факторів:

$$P_f = fQ, \quad (4)$$

де Q – нормальне навантаження, яке діє на гусениці трактора.

Коефіцієнт опору кочення $f = Pf/Q$.

Збільшення його на більш пухких ґрунтах викликано ростом коефіцієнтів f_{zp} і f_m .

Збільшення f_m обумовлено попаданням великої кількості абразивних частинок в шарніри гусениць, на бігові доріжки ланок, а також направляючі і ведучі колеса.

Дослідженнями встановлено, що в загальному випадку коефіцієнт \dot{r}_{gp} повинен складатися з чотирьох компонентів:

$$f_{zp} = f_{zp1} + f_{zp2} + f_{zp3} + f_{zp4} \quad (5)$$

Перший компонент \dot{r}_{gp1} враховує затрати на утворення колії глибиною h_0 , другий f_{zp2} (вперше запропонований Ф. А. Олейко) – затрати на повторну деформацію ґрунту в проміжках між опорними котками, третій (f_{zp3}) – втрати на ущільнення ґрунту внаслідок кутових поворотів ланок на кут α ланки і буксування σ гусениць. Четвертий компонент утворений ковзанням ланок при їх кутових поворотах. Значення цього виду втрат залежно від зусилля натягу гусениць і кута α ланки повороту ланок складає 6...30% загальних втрат.

$$f_{zp} = (1,06...1,3) \left[\frac{k_a}{L_{zyc}} \left(h_0 + \frac{\sum \lambda_i p_i}{P_{сер}} \right) + 0,58 \sin \alpha_{лан} \right], \quad (6)$$

де k_a – коефіцієнт, який враховує частину втрат на зминання ґрунту, пов'язаний з кутовими поворотами ланок ($k_a = 1$ при стрічковій гусениці і відношенню шагу котків до шагу ланок гусениць $l_k/l_{лан} = 3,36$);

$\lambda_i p_i$ – глибина осадки ґрунту і середній тиск в i -му проміжку між опорними котками;

$P_{сер}$ – середній тиск під опорною поверхнею гусениць.

Таким чином, основним джерелом опору перекочуванню гусеничних тракторів є гістерезисні деформативні втрати від проковзування гусениць по ґрунті.

Коефіцієнт корисної дії гусеничного рушія

$$\eta_r = \eta_f \eta_o \quad (7)$$

де $\eta_f \eta_o$ – ККД, який враховує втрати відповідно на кочення трактора і буксування гусениць.

Якщо втрати на кочення трактора розділити на складові їх компонентів і окремо характеризувати втрати на тертя в гусеничному рушієві коефіцієнтом η_r , а втрати на вертикальне пресування ґрунту – коефіцієнтом η_{zp} , то попереднє рівняння можна виразити в наступній формі:

$$\eta_z = \eta_r \eta_{zp} \eta_o \quad (8)$$

На мінеральних ґрунтах нормальної вологості до 60...70% всіх затрат складають внутрішні затрати в гусеничному рушієві. Затрати на буксування гусениць відносно невеликі внаслідок високих зчіпних якостей гусеничних рушіїв: на основних робочих режимах трактора вони складають 2...4%. Показники буксування відносно стабільні, так як гусеничні рушії менш чутливі до зміни ґрунтових умов, ніж колісні.

Розглянемо загальний випадок прямолінійного руху, коли гусеничний трактор з причепом рухається прискорено на підйом з кутом β нахилу поверхні до горизонталі. При цьому в повздовж-вертикальній площині на трактор діють наступні зовнішні сили і реакції (рис. 2):

– вага трактора (G ; його складові $G \sin \alpha$ і $G \cos \alpha$ відповідно паралельні і перпендикулярні поверхні шляху, сила інерції P_i поступально рухомої маси трактора;

– тягове зусилля на гаку P_{zak} , приведене в умовну точку причепа, його складові $P_2 \cos \gamma_2 \approx P_2$ і $P_2 \sin \gamma_2$ відповідно паралельні і перпендикулярні поверхні шляху;

– реакції ґрунту, паралельні поверхні шляху: дотична сила тяги P_z і складова P_{fep} опору перекочуванню;

– реакція Y , нормальна до поверхні, – це результуюча всіх нормальних реакцій ґрунту, які діють на окремі ланки гусениць.

В якості опорної поверхні гусениць прийнята площина, в якій діє дотична сила тяги P_2 .

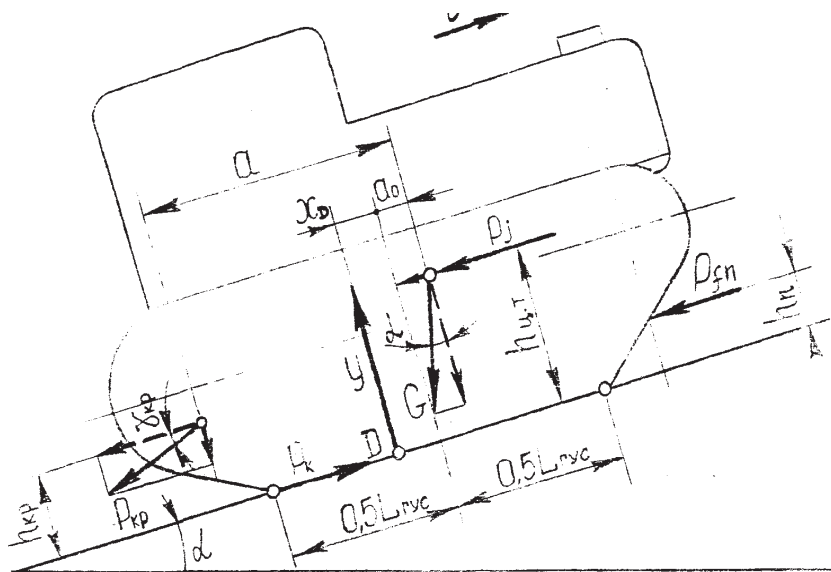


Рис. 2. Схема сил і реакцій, які діють в повздовжній площині на гусеничний трактор в загальному випадку руху на підйом

Рівняння тягового балансу в загальному випадку руху гусеничного трактора по аналогії з рівнянням для колісних машин може бути записаним у такому вигляді:

$$P_2 = f(G \cos \alpha + P_2 \sin \gamma_2) \pm G \sin \alpha \pm \delta_{гр} P_i + P_2 \cos \gamma_2. \quad (9)$$

Назвемо точку прикладання результуючої нормальної реакції ґрунту Y центром D тиску трактора. У загальному випадку центр тиску не співпадає з серединою опорної довжини гусениць. Повздовжня відстань x_d від вказаної середини до центра тиску назвемо зміщенням центра тиску.

Щоб встановити зміщення x_d , запишемо рівняння моментів зовнішніх сил і реакцій, які діють на трактор, відносно центра D тиску:

$$G \cos \alpha (x_d + a_0) - (G \sin \alpha + P_j) h_g - P_2 \cos \gamma_2 h_2 - P_{f_{гр}} h_{кр} - P_2 \sin \gamma_2 (a - a_0 - x_d) = 0, \quad (10)$$

де a – повздовжня координата центра ваги трактора відносно геометричної вісі ведучих коліс гусениць;

a_o – повздовжня координата центра ваги трактора відносно середини опорної довжини гусениць;

$a_o > 0$, якщо центр ваги зміщений вперед і $a_o < 0$, якщо він зміщений назад;

$h_{ue}ih_2$ – відповідно вертикалі координати центра ваги трактора і умовної точки причепа;

h_n – плече складової P_{fep} опору коченню.

При кутах нахилу до опорної поверхні передніх і задньої вітті гусениць, які не перевищують 2...40°, на м'яких ґрунтах, які стискаються, в передачі нормальних реакцій беруть участь ведучі і направляючі колеса гусеничного рушія. Тому при вказаних умовах довжину опорної поверхні гусениць вважають рівною відстані між вісями ведучих і направляючих коліс. На твердих ґрунтах і рухові по вкатаних дорогах за довжину опорної поверхні гусениць доцільніше приймати тільки ту її частину, що створюється сумою ланок, які знаходяться в зоні розташування опорних котків. Цю ж частину гусениці слід вважати опорною при значних кутах нахилу передніх і задніх вітті незалежно від ґрунтових умов.

Для більшості сільськогосподарських тракторів середній тиск на ґрунт $P_{cep} = 0,035...0,06$ МПа, для болотохідних модифікацій, які випускаються на базі звичайних сільськогосподарських тракторів, $P_{cep} = 0,02...0,03$ МПа, для спеціальних болотохідних тракторів $P_{cep} < 0,02$ МПа. Для порівняння скажемо, що для людини в процесі руху, яка опирається на землю однією ногою, P_{cep} не перевищує 0,03 МПа.

Але в дійсності, тиск гусениць на ґрунт часто розподіляється нерівномірно.

Згідно результатів досліджень, гусениці передають тиск на ґрунт окремими активно-опорними ділянками, які групуються навколо опорного котка. Якщо котки розташовані настільки часто, що майже кожна ланка гусениці, яка лежить на землі, знаходиться під їх безпосередньою дією, то активно-опорною поверхнею є вся опорна поверхня гусениці. Згідно дослідних даних, це досягається в тому випадку, якщо відношення шага котків, тобто відстань l_k

(рис. 2) між всіяма суміжних котків, до шагу ланки гусениці $t_{лан}$ не перевищує 1,5...1,7. Такі співвідношення звичайно витримуються у тракторів сільськогосподарського призначення з напівжорсткою підвіскою остова і з великим шагом ланки. У теорії трактора допускається, що епюра тисків (нормальних реакцій) на ґрунт в цих випадках має лінійний характер. Таке припущення є приблизним, так як в дійсності максимальні тиски концентруються в зоні, розташованій навколо центру тиску, і значення їх зменшується в міру наближення до країв опорної поверхні. Математичного опису більшості подібних епюр в функції довжини і ширини плями контакту чи в функції часу контакту до цих пір немає. Тому часто допускається лінійний закон розподілення нормальних тисків під всією площею контакту. У цьому випадку легко визначити максимальний тиск.

Так, наприклад, допустиме до гусениць значення найбільшого і найменшого тисків оцінюється за виразом:

$$P_{max} = p_{сер}(1 + 6\sigma_{Г}) = k_{зрп} P_{сер},$$

$$P_{min} = p_{сер}(1 - 6\sigma_{Г}) = k_{min} P_{сер},$$

де $k_{зрп}$ – розрахунковий коефіцієнт нерівномірності розподілення тисків.

Висновки. Аналіз теоретичних і експериментальних досліджень дає змогу запропонувати методику визначення ущільнення ґрунтів, знайти оптимальну конструкцію с.-г. тракторів, машин та їх робочих органів, які зменшують ущільнення ґрунтів, а також дають змогу їх розущільнення. Проведені дослідження дають можливість запропонувати нові типи ходових систем гусеничних сільськогосподарських тракторів, які значно покращують тягово-зчіпні якості гусеничних машин, що пов'язано з урожайністю сільськогосподарських культур.

Список використаних джерел

1. Дія рушіїв на ґрунти. Збірник наукових праць / ВІМ. – М., 1988. – С. 5.
2. Ксєневич І.П., Скотников В.А., Ляско М.И. Ходовая система-почва-урожай. – М.: Агропромиздат, 1985. – С. 134-135.

3. Скребялис С.А. Влияние движителей тракторов на почву и способы уменьшения неблагоприятных воздействий. Труды УСХА. – К., 1982. – С. 106-109.

4. Казаков Г.И. Влияние проходов тракторов на почву и урожай яровой пшеницы. Труды УСХА. – К., 1982. – С. 77-80.

5. Инкин Л.А. Воздействие ходовой системы тракторов на плотность, порозность дерново-подзолистой суглинистой почвы и урожай сельскохозяйственных культур. Труды УСХА. – К., 1982. – С. 151-155.

6. Камнев А.Л., Маслов В.А., Полонский М.А. Влияние ходовых аппаратов тракторов на плотность почвы и урожайность. – Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 1978. – № 2. – С. 74-78.

7. Вакулин Л.А., Сучак С.П., Луговкина Р.М. и др. Изменения некоторых физических свойств почвы в процессе механического воздействия ходовой части трактора. – Труды Волгоградского СХИ. – 1981. – С. 72-77.

8. Юшин А.А., Семенюк И.М., Благодатный Ю.А., Гермаш Н.П. Проблемы снижения уплотняющего воздействия на почву ходовых систем трактора, мобильной сельскохозяйственной техники и рабочих органов почвообрабатывающих машин. – Труды УСХА. – К., 1982. – С. 114-116.

9. Ляско М.И., Кутин Л.Н., Селезнёв К.Г. и др. Влияние ходовых систем сельскохозяйственных тракторов на уплотнение почвы и урожайность ячменя. // Тракторы и сельхозмашины. – 1979. – № 12. – С. 4-6.

***Аннотация.** Проанализированы факторы, влияющие на тягово-сцепные качества гусеничных машин на почве, что непосредственно связано с урожайностью сельскохозяйственных культур и плодородием почв через уплотнение почв гусеничными движителями.*

***Ключевые слова:** гусеница, упорная часть гусеницы, шаг гусеницы, угол наклона звена, сопротивление движению, коэффициент сопротивления движению, тяговая нагрузка, реакции почвы, уравнение тягового баланса, центр давления, опорный каток.*