

УДК 631.45

## Вплив зміни вертикальних прискорень машинно-тракторних агрегатів на ущільнення ґрунту при виконанні агротехнічних операцій

М.П. Артьомов

*Харківський національний технічний університет сільського господарства  
ім. П.Василенка (м.Харків, Україна)*

Розглядається питання впливу коливань вертикальних прискорень на ущільнення ґрунтів, як процесу зміни складання ґрунту під впливом високих механічних навантажень, а саме під впливом важкої сільськогосподарської техніки. Розглянуто вплив коливання вертикальних прискорень на швидкість зміни напружень в оброблюваному шарі ґрунту в процесі виконання агротехнічних операцій.

Через використання в сільському господарстві України потужних енергонасичених тракторів зарубіжних фірм виникла необхідність вирішення цих завдань, що є особливо актуальним для ринкових відносин.

Основною метою дослідження є вивчення зміни тиску в родючому шарі і розробка рекомендацій до зменшення ущільнення ґрунту від інтенсивності вертикальних прискорень в процесі руху агрегату.

Прагнення підвищити універсальність тракторів для роботи зі шлейфом сільськогосподарських машин призначених для сусідніх тягових класів пов'язане з гострою необхідністю оцінки їх тягово-енергетичних параметрів і впливу на ґрунт при випробуваннях і експлуатації.

Вологість ґрунту в момент впливу на неї техніки є найважливішим чинником, що визначає ступінь ущільнення при одному і тому ж навантаженні. Глибина деформації, що визначається вище названими факторами, а також одиночною масою техніки, тиском на вісь і напругою на глибині нижче оброблюваного шару ґрунту.

**Ключові слова:** вертикальні прискорення, переущільнення сільськогосподарська техніка, ґрунт.

**Постановка проблеми та її актуальність.** В умовах інтенсивного ведення сільськогосподарського виробництва значно посилюється вплив ходових систем сільськогосподарських агрегатів на ґрунт. Надмірне ущільнення ґрунту, відбувається під інтенсивним впливом ходових систем потужних тракторів, важких сільськогосподарських машин і транспортно-технічних засобів. Це стало серйозною загрозою родючості ґрунту, призводить до її руйнування і є однією з причин розвитку ерозійних процесів. Незмінним супутником зростання енергонасиченості машин є значне збільшення їх маси. Так, експлуатаційна маса трактора John Deere-8370 становить 16,5 т, а посівного агрегату з новою широкозахватною сівалкою John Deere-1830, завантаженої насінням більше 27 т.

При разових проходах тракторів по полю щільність ґрунту (чорнозем типовий глибокий) може перевищити 1,3-1,35 г/см<sup>3</sup> (верхня межа оптимального ущільнення для більшості сільськогосподарських культур), твердість – досягти допустимого значення (20 кг / см<sup>2</sup>), вміст повітря в орному шарі – знизитися нижче критичного рівня (15%), а водопроникність ґрунту – зменшиться до 40 - 30 мм / год і нижче.

За період від підготовки ґрунту до збирання врожаю різноманітні машини проходять по полю 5 -15 разів.

### **Аналіз останніх досягнень і публікацій.**

Проблемами вивчення та захисту земель від деградаційних процесів, розвитку ощадливих технологій і землекористування на екологічних засадах присвячені роботи Д.С. Добряка, Д.І. Золотаревської, О.П. Канаша, А.С. Кушнар'єва, В.В. Медведєва, В.Т. Надикто [1 - 3] та ін. Між тим недостатньо дослідженими залишаються питання впливу рушіїв мобільних сільськогосподарських агрегатів на процес ущільнення в родючому шарі ґрунту.

Через використання в сільському господарстві України потужних тракторів закордонних фірм виникла необхідність вирішення цих завдань [4], що є особливо актуальним для ринкових відносин. Прагнення підвищити універсальність тракторів для роботи зі шлейфом сільськогосподарських машин призначених для сусідніх тягових класів пов'язане з гострою необхідністю оцінки їх тягово-енергетичних параметрів та впливу на ґрунт при випробуваннях і в експлуатації.

Тенденція щодо збільшення маси машин і агрегатів спостерігається і за кордоном. У США з 1990 по 2005 г. маса колісних тракторів збільшилася в 1,9 рази, гусеничних (потужністю понад 50 к.с.) в 1,5 рази, що призводить до підвищення тиску рушіїв на ґрунт. При взаємодії ґрунтів з ходовими системами мобільної техніки (тракторів як базових машин) ґрунт деформується. Ступінь цієї деформації залежить від його вихідного стану: щільності і вологості під час проходження техніки, величини контактного тиску на ґрунт і кратності впливу.

Довгий час провідні наукові установи проводили широкі дослідження проблем системи рушій – ґрунт, в результаті яких були розроблені стандарти щодо норм і методів оцінки впливу рушіїв на ґрунт (ГОСТ 26955 - 86, 26953 - 86, 26954 - 86). У нашій країні використовуються ці ГОСТи, але в 2006 році видано новий ДСТУ 4521:2006 – Норми допустимого максимального тиску ходових систем на ґрунт. Деякі величини допустимого тиску наведені в табл. 1 [5].

**Таблиця 1.** Норми граничного максимального тиску ходових систем на ґрунт [5]

Вологість ґрунту в шарі 0-30 см	Граничний максимальний тиск на ґрунт ходових систем, кПа, не більше			
	навесні		влітку та восени	
	При пухкому складанні шару 0–10 см (<0,9 г/см <sup>3</sup> )	При помірно ущільненому складанні шару 0–10 см (0,9–1,0 г/см <sup>3</sup> )	При ущільненому складанні шару 0–10 см (1,1–1,2 г/см <sup>3</sup> )	При рівноважному стані шару 0–10 см (1,2–1,3 г/см <sup>3</sup> )
>0,9 НВ	40	50	60	80
0,7–0,9 НВ	50	60	80	100
0,6–0,7 НВ	60	100	120	140
0,5–0,6 НВ	80	120	140	180
0,4–0,5 НВ	120	160	180	210

#### Постановка задачі дослідження

В процесі виконання агротехнічних операцій при постійній зміні зовнішніх навантажень, забезпечення зниження його динамічного впливу на ущільнення ґрунту і підвищення стабільності, ефективного використання, є однією з проблем їх експлуатації.

Основною метою дослідження є вивчення зміни тиску в родючому шарі та розробка рекомендацій до зменшення ущільнення ґрунту від інтенсивності вертикальних прискорень в процесі руху агрегату.

#### Основний матеріал дослідження.

Для забезпечення руху і виконання роботи агрегату необхідно прикласти до нього різні сили. Як відомо, згідно основних законів механіки, рух відбувається під дією зовнішніх сил, тому що внутрішні сили, що діють на агрегат, взаємно врівноважуються і не можуть викликати його переміщення. Згідно законів і принципів механіки в теоретичних дослідженнях необхідно розглядати вплив мобільного сільськогосподарського агрегату на ґрунт як механічну систему [6].

Ступінь деформації також залежить від пори року: встановлено, що в зимовий час щільність ґрунту під колесами трактора збільшується незначно, а значить, використання важкої техніки відносно безпечно в цей період. Розглядаючи ґрунт як трифазну систему, цей факт можна пояснити тим, що рідка фаза – вода, яка, перебуваючи в рідкому стані, обволікає поверхню твердих частинок ґрунту зразок мастила, знижує тертя частинок ґрунту між собою, при збільшенні навантаження сприяє ущільненню.

Переущільнення ґрунту найбільш небезпечно восени і навесні, коли ґрунт буває сильно насичений водою. Влітку ступінь переущільнення залежить від кількості опадів, що випали (посушливе або дощове літо).

Вологість ґрунту в момент впливу на неї техніки є найважливішим чинником, який визначає ступінь ущільнення при одному і тому ж навантаженні. Глибина деформації, що визначається вище названими факторами, а також одиничною масою техніки, тиском на вісь і напругою на глибині 50 см, варіює від 20 - 30 до 50 - 60 см. Наслідком цього є зниження врожайності зернових і просяних культур на 15 - 30% (контроль – ділянки з оптимальним ущільненням).

Щільність ґрунту підвищується під впливом техніки від 0,05 до 0,4 г/см<sup>3</sup>, тобто величина приросту щільності змінюється від 3 - 4% до 35 - 40%, складаючи в середньому 15 - 20%. При середньому ступені ущільнення зниження врожаю при інших рівних умовах досягає 20 - 30% на всіх типах орних ґрунтів. При сильному ступені ущільнення втрати врожаю можуть досягати 50 - 60%.

Деформації ґрунтів, що перебувають у природному стані, являють собою деформації, властиві тільки полідисперсним системам за умови, що сили відштовхування наближаються до значень сил зчеплення. Тому навіть при лінійній залежності між напругою і деформацією (малі навантаження) після зняття навантаження мають місце великі залишкові деформації [1, 2, 7]. Деформації опорної основи є або пружними, або пружно-пластичними, з ростом яких до певних меж опорна основа зміцнюється.

Для встановлення функції розподілу тиску, який діє в межах контактної поверхні колеса та опорної основи, необхідно мати залежності між тиском і деформаціями опорної основи та пневматичної шини, якщо її прогин під дією заданого навантаження є істотним, що і відрізняє її від жорсткого колеса. Зміна тиску шини на ґрунт в залежності від тиску в шині і площі контакту відображена на рис. 1.

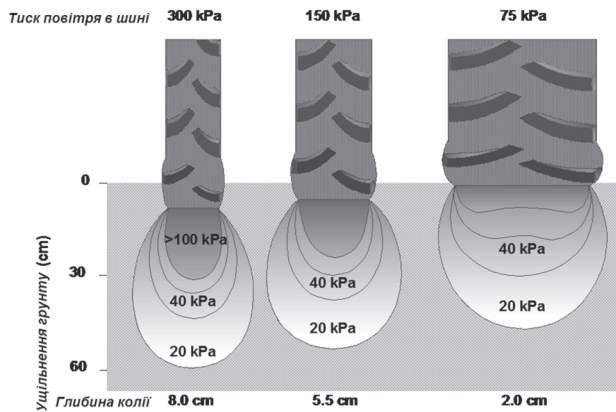


Рис. 1. Деформація ґрунту під дією рушія трактора

Щоб встановити необхідні залежності були проведені дослідження з використанням вимірювально-реєстраційного комплексу і основну увагу приділено зміні прискорень у вертикальній площині. Зміна прискорень під час роботи трактора показана на рис. 2.

Для знаходження вертикальних переміщень остова трактора складемо рівняння проєкцій сил на вертикальну вісь Z [8].

$$\sum F_z = F_p - F_{ам1} + F_{ш2} - F_{амш2} - N_{сц} \cdot \cos \varphi - F_{ин} - G + P_{кр} \cdot \sin \varphi - m_2 \cdot g = 0, \quad (1)$$

де  $G$  – сила тяжіння, Н;  $F_{ин}$  – сила інерції остова трактора, Н;  $F_p$  – сила пружного елемента підвіски передньої осі, Н;  $F_{ам1}$  – сила, створена амортизатором підвіски передньої осі, Н;  $F_{ш2}$  – сила, створена пружністю шини заднього мосту, Н;  $F_{амш2}$  – сила, яка враховує амортизаційні властивості шини заднього мосту, Н;  $N_{сц}$  – вертикальна складова тягової сили, Н;  $P_{кр}$  – горизонтальна складова тягової сили, Н;  $m_2$  – маса заднього мосту трактора, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $m/c^2$ .

Аналіз графіка вертикальних прискорень тракторного агрегату показує, що коливання прискорень знаходяться в межах від 0,05 до 3,2  $m/c^2$  в пікових значеннях. Тобто відбуваються зміни в навантаженні на ґрунт і це призводить до виникнення напруження в ньому.

Визначимо напруження в плямі контакту заднього колеса з ґрунтом  $\sigma_2$  за наступною залежністю

$$\sigma_2 = \frac{F_{ш2} - F_{амш2}}{F_k \cdot (y_2(t, \varepsilon_1, \varepsilon_2) - z - b \cdot \phi)}, \quad (2)$$

де  $F_k = \frac{\pi}{4} \cdot a_k \cdot b_k$  – контурна площа контакту колеса з ґрунтом,  $m^2$ ;  $a_k \cdot b_k$  – довжина і ширина плями площі контакту, м.

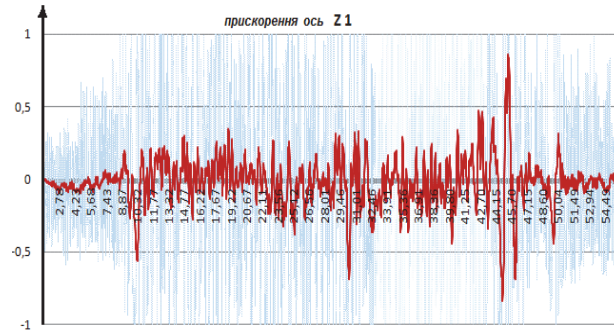


Рис. 2. Графік зміни вертикальних прискорень трактора (після фільтрації)

Статична деформація задніх шин визначається за формулою

$$f_{ст.ш2} = \frac{G \frac{a}{a+b} + m_2 \cdot g}{C_{ш2}}. \quad (3)$$

Тоді

$$F_{ш2} = G \cdot \frac{a}{a+b} + m_2 \cdot g - C_{ш2} \cdot z - C_{ш2} \cdot b \cdot \phi + C_{ш2} \cdot y_2.$$

Сила, яка враховує амортизаційні властивості шини

$$F_{ам.ш2} = k_{ш2} (V_z - \dot{y}_2 + b \cdot \dot{\phi}) = k_{ш2} \cdot V_z - k_{ш2} \cdot \dot{y}_2 + k_{ш2} \cdot b \cdot \dot{\phi}, \quad (4)$$

де  $\dot{y}_2$  – швидкість зміни висоти профілю дороги під задніми колесами,  $m/c$ .

Складемо рівняння для сили інерції трактора:

$$F_{ин} = (M + m_2) \cdot \dot{V}_z, \quad (5)$$

де  $\dot{V}_z$  – прискорення переміщення остова трактора в вертикальному напрямку;  $m_2$  – маса заднього мосту трактора.

З отриманого рівняння (1) визначимо величину динамічного навантаження, що приходить на колеса заднього мосту

$$G_{k2} = F_{ам1} + F_{амш2} + m_2 \cdot \ddot{\xi}_2 + N_{сц} \cdot \cos \varphi - P_{кр} \cdot \sin \varphi - F_p. \quad (6)$$

Після проведення перетворень запишемо

$$G \cdot \frac{b}{a+b} - C_p \cdot z + C_p \cdot a \cdot \varphi + C_p \cdot \xi_1 - \dot{x} = \dot{\varepsilon} + \frac{\dot{\sigma}}{E_D} \quad (13)$$

$$-k_p \cdot V_Z + k_p \cdot \dot{\xi}_1 + k_p \cdot a \cdot \dot{\varphi} + G \cdot \frac{a}{a+b} + m_2 \cdot g - C_{ш2} \cdot z - C_{ш2} \cdot b \cdot \varphi + C_{ш2} \cdot y_2 - k_{ш2} \cdot V_Z + k_{ш2} \cdot \dot{y}_2 - k_{ш2} \cdot b \cdot \dot{\varphi} - N_{цц} \cdot \cos \varphi - (M + m_2) \cdot \dot{V}_Z - G + P_{кр} \cdot \sin \varphi - m_2 \cdot g = 0;$$

$$-(M + m_2) \cdot \dot{V}_Z - (k_p + k_{ш2}) \cdot V_Z - (C_p + C_{ш2}) \cdot z + (k_p \cdot a - k_{ш2} \cdot b) \cdot \dot{\varphi} + (C_p \cdot a - C_{ш2} \cdot b) \cdot \varphi - N_{цц} \cdot \cos \varphi + P_{кр} \cdot \sin \varphi + k_p \cdot \dot{\xi}_1 + C_p \cdot \xi_1 = -k_{ш2} \cdot \dot{y}_2 - C_{ш2} \cdot y_2 \quad (8)$$

Розділимо отримане рівняння (8) на  $-(M+m_2)$  тоді маємо

$$\dot{V}_Z + \frac{k_p + k_{ш2}}{M + m_2} \cdot V_Z + \frac{C_p + C_{ш2}}{M + m_2} \cdot z - \frac{k_p \cdot a - k_{ш2} \cdot b}{M + m_2} \cdot \dot{\varphi} - \frac{C_p \cdot a - C_{ш2} \cdot b}{M + m_2} \cdot \varphi - \frac{N_{цц} \cdot \cos \varphi}{M + m_2} + \frac{P_{кр} \cdot \sin \varphi}{M + m_2} - \frac{k_p}{M + m_2} \cdot \dot{\xi}_1 - \frac{C_p}{M + m_2} \cdot \xi_1 = \frac{k_{ш2}}{M + m_2} \cdot \dot{y}_2 + \frac{C_{ш2}}{M + m_2} \cdot y_2 \quad (9)$$

Експериментально визначені вертикальні прискорення трактора  $\dot{V}_Z$  входять до складу рівняння (9), інші складові є відомими, або розрахованими величинами. Виходячи із зазначеного можна провести розрахунок сил, що діють на ґрунт.

Для моделювання деформації опорної поверхні ґрунту приймаємо модель, що враховує як пружні, так і в'язкі його властивості. Для подальших розрахунків складемо рівняння впливів.

$$E_D \cdot x - E_D \cdot \varepsilon - \sigma = 0, \quad (10)$$

де  $E_D$  – динамічний модуль пружності ґрунту, Па;  $\sigma$  – механічне напруження ґрунту, Па;  $\varepsilon$  – відносна деформація ґрунту.

Складемо рівняння зв'язків, яке матиме наступний вигляд

$$-E \cdot x - E_D \cdot (x - \varepsilon) - \eta \cdot \dot{x} = 0, \quad (11)$$

де  $E$  – модуль пружності, Па;  $\eta$  – коефіцієнт в'язкості, Па·с.

Виразимо з попередніх рівнянь [9]

$$x = \varepsilon + \frac{\sigma}{E_D}; \quad (12)$$

Підставляємо отримані результати до рівняння (10) і запишемо

$$E \cdot (\varepsilon + \frac{\sigma}{E_D}) + E_D \cdot (\varepsilon + \frac{\sigma}{E_D} - \varepsilon) + \eta \cdot (\dot{\varepsilon} + \frac{\dot{\sigma}}{E_D}) = 0; \quad (14)$$

$$E \cdot \varepsilon + E \cdot \frac{\sigma}{E_D} + \sigma + \eta \cdot \dot{\varepsilon} + \eta \cdot \frac{\dot{\sigma}}{E_D} = 0; \quad (15)$$

$$-\eta \cdot \dot{\varepsilon} - E \cdot \varepsilon = \eta \cdot \frac{\dot{\sigma}}{E_D} + \sigma + E \cdot \frac{\sigma}{E_D}; \quad (16)$$

$$\dot{\varepsilon} + \frac{E}{\eta} \cdot \varepsilon = \eta \cdot \frac{1}{E_D} \cdot \dot{\sigma} + \frac{1 + \frac{E}{E_D}}{\eta} \cdot \sigma; \quad (17)$$

Максимальне механічне напруження в плямі контакту коліс переднього і заднього мостів з ґрунтом розраховуються за формулою

$$\sigma_{m1} = \frac{G_{k1}}{F_{k1}}; \dot{\sigma}_{m1} = \frac{\dot{G}_{k1}}{F_{k1}}; \sigma_{m2} = \frac{G_{k2}}{F_{k2}}; \dot{\sigma}_{m2} = \frac{\dot{G}_{k2}}{F_{k2}} \quad (18)$$

Зв'язок між деформацією ґрунту і механічним напруженням від колеса, з урахуванням властивостей ґрунту представимо залежністю

$$\begin{cases} \dot{\varepsilon}_1 + \mu_1 \cdot \varepsilon_1 = \frac{\dot{\sigma}_1}{E_{D1}} + \frac{\mu_1 \cdot \sigma_1}{E_{C1}}, \\ \dot{\varepsilon}_2 + \mu_2 \cdot \varepsilon_2 = \frac{\dot{\sigma}_2}{E_{D2}} + \frac{\mu_2 \cdot \sigma_2}{E_{C2}}. \end{cases} \quad (19)$$

Деформації ґрунтів, що перебувають у природному стані, являють собою деформації, властиві тільки полідисперсним системам за умови, що сили відштовхування наближаються до значень сил зчеплення. Тому навіть при лінійній залежності між напругою і деформацією (малі навантаження) після зняття навантаження мають місце великі залишкові деформації [10].

Деякими дослідниками [2, 7, 9] запропоновано методику визначення впливу ходових систем на ґрунт, але динаміку зміни щільності ґрунту в процесі руху тракторних агрегатів можливо розрахувати за обґрунтуванням наведеним у залежності (19).

Під дією додаткових механічних напружень, що виникають в процесі контакту шини з ґрунтом, відбувається стрибкоподібне зростання тиску і утворюється межа стискання швидкість руху яких по глибині необхідно додатково дослідити.

### Висновки

За результатами проведеного дослідження запропоновано розрахунково-експериментальний метод визначення динаміки деформації ґрунту і механічного напруження від колеса, з урахуванням властивостей ґрунту та величини вертикальних компонент прискорень. Величини цих

параметрів можуть бути показником зміни ущільнення від стохастичних навантажень тракторного агрегату в процесі його руху.

Врахування саме стохастичних режимів дозволить найбільш повно оцінити процес розповсюдження зони стискання і деформації ґрунту під дією сил, що виникають від зміни параметрів прискорень.

### Література

1. Надикто В.Т. Визначення максимального буксування колісних рушіїв з урахуванням обмеження їх тиску на ґрунт. / В.Т. Надикто // Техніка і технології АПК. – 2014. – № 7. – С. 34 - 38.
2. Золотаревская Д.И. Расчет показателей взаимодействия движителей с почвой / Д.И. Золотаревская // Тракторы и сельхозмашины. – 2001. – № 3. – С. 18 - 22.
3. Кушнарев А.С. Механико-технологические основы обработки почвы / А.С. Кушнарев, В.И. Кочев. – К.: Урожай, 1989. – 144 с.
4. Лебедев А.Т., Артьомов М.П. Обґрунтування ефективності використання ґрунтообробних машинно-тракторних агрегатів моделюванням парціальних прискорень / А.Т. Лебедев, М.П. Артьомов // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук.пр. / ДНУ Укр-

НДІПВТ ім.Л.Погорілого – Дослідницьке, 2013. – Вип. 17(31),кн..2. – С.280 - 293.

5. Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунти : ДСТУ 4521:2006. – [Чинний від 2006-08-02]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 18 с. – (Національний стандарт України).

6. Василенко П.М. Методика построения расчетных моделей функционирования механических систем (машин и машинных систем) / П.М. Василенко, В.П. Василенко. – К.: Колос, 1980. – 135с.

7. Продан М. О теоретической основе уплотнения почв ходовыми системами машин / М. Продан – М.: учебник для ВУЗов, 2003г. – 258 с.

8. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 720 с.

9. Болдовский В.Н. Оценка влияния движителей колесных тягово-транспортных средств на почву. дисс. ... канд. техн. наук: спец. – 05.22.02 "Автомобілі та трактори" Болдовский Владимир Николаевич – Харьков, 2011 – 171 с.

10. Медведев В.В. Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты) / Медведев В.В., Лындина Т.Е., Лактионова Т.Н. – Харьков: 13 типография, 2004. – 244 с. Бюл. № 20.

### Аннотація

## Влияние изменения вертикальных ускорений машинно-тракторных агрегатов на уплотнение почвы при выполнении агротехнических операций

Н.П. Артёмов

В статье рассмотрены вопросы влияния колебаний вертикальных ускорений на уплотнение почв, как процесса изменения сложения почвы под воздействием высоких механических нагрузок, а именно под воздействием тяжелой сельскохозяйственной техники. Предложен расчетно-экспериментальный метод определения деформации почвы и механического напряжения от колеса, с учетом свойств ґрунта и величины вертикальных компонент ускорений.

Из-за использования в сельском хозяйстве Украины мощных энергонасыщенных тракторов зарубежных фирм возникла необходимость решения этих задач, что является особенно актуальным для рыночных отношений.

Основной целью исследования является изучение изменения давления в плодородном слое и разработка рекомендаций к уменьшению уплотнения почвы от интенсивности вертикальных ускорений в процессе движения агрегата.

Стремление повысить универсальность тракторов для работы со шлейфом сельскохозяйственных машин, предназначенных для соседних тяговых классов связано с острой необходимостью оценки их тягово-энергетических параметров и воздействия на почву при испытаниях и в эксплуатации.

Влажность почвы в момент воздействия на нее техники является важнейшим фактором, определяющим степень уплотнения при одной и той же нагрузке. Глубина деформации, определяемая выше названными факторами, а также единичной массой техники, давлением на ось и напряжением на глубине ниже обрабатываемого слоя почвы.

**Ключевые слова:** вертикальные ускорения, уплотнение, механические нагрузки, динамика

**Abstract**

**The influence of changes in vertical acceleration  
of trook-traction appliances on soil consolidation during field operations**

**N.P. Artiomov**

The article deals with the influence of vertical accelerations on soil consolidation as a process of change in soil composition under the influence of great mechanical loads namely under the impact of heavy farm machines. A calculation experimental method of determining and mechanical tension from the wheel has been proposed taking into account the soil properties and the value of the vertical acceleration components.

The use of powerful high-energy tractors of foreign production in Ukraine's agriculture makes it necessary to solve these problems, which is especially relevant in market economy.

The main object of this research is to investigate the pressure change in the fertile layer and to devise recommendations for the reduction of soil consolidation resulting from intensive vertical accelerations during the movement of a field machine.

The desire to enhance the tractors multipurposiness to enable them to work with the chain of farm machines designed for neighbouring drawbar-pull categories leads to an active need to access their drawbar-pull efficiency parameters and influence on the soil during tests and in operation.

The humidity of the soil at the moment of the machines influence is the most important factor determining the consolidation extent under the same working load. The deformation depth is determined by all those factors, as well as by the single mass of machines, by the pressure on the axis and the strain at the depth under the cultivated soil layer.

**Keywords:** *vertical acceleration, seals, mechanical loads, dynamics*

---

**Представлено від редакції: А.Т. Лебедєв / Presented on editorial: A.T. Lebedjev**

**Рецензент: В.Ф. Пашенко / Reviewer: V.F. Pashhenko**

*Подано до редакції / Received: 26.05.2017*