

ни зможуть зменшити енергоспоживання на 40%, виробляючи конкурентну продукцію. Сільськогосподарські агрегати стали надскладними механічними системами, що сприяло інтенсивному розвитку високо-продуктивних технологічних процесів, підвищенню швидкісних режимів виконання запланованих робіт. Для виконання агротехнічних операцій мобільні енергетичні машини повинні мати достатньо високий ресурс довговічності, міцності, надійності та забезпечувати якісне виконання технологічних процесів, не звертаючи уваги на зовнішні впливи, які постійно змінюються. В процесі роботи мобільних сільськогосподарських агрегатів відбувається постійний шкідливий вплив на зовнішнє середовище. Вирощування сільськогосподарської продукції за традиційними підходами інтенсифікації виробництва має протиріччя, які складно або неможливо вирішити в наявних умовах агропромислового комплексу. Насамперед через шкідливий вплив машин і механізмів на оброблювані земельні угіддя.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Сучасні біологічні дослідження взаємодії організмів у природних біоценозах доводять складні і неоднозначні відносини різних за систематичним положенням організмів: зелених вищих рослин, грибів, бактерій водоростей та інших форм життя [1]. Вплив рушіїв мобільних сільськогосподарських агрегатів на ґрунт, знищення на полях диких зелених рослин при перетворенні в орні землі призводить до відмирання комплексів живих організмів, що мали з ними трофічні зв'язки та здійснювали біохімічні трансформації органічних сполук у ґрунті.

Інтенсивне використання сільськогосподарських угідь і не завжди виправдане застосування машинних агрегатів за призначенням призводить до погіршення екологічного стану, зниження родючості ґрунтів і поширення деградацій-

них процесів, які завдають значної шкоди земельним ресурсам, негативно впливають на якісні характеристики ґрунтів. Такий підхід до виробництва в аграрному секторі знижує врожайність сільськогосподарських культур.

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. Кушнарєва, В.В. Медведєва, В.Т. Надикто та ін. Між тим недостатньо дослідженими залишаються питання впливу рушіїв мобільних сільськогосподарських агрегатів на біоорганізми в родючому шарі ґрунту.

**Мета.** Провести дослідження механіки процесу стискання ґрунту під дією рушіїв мобільних сільськогосподарських агрегатів. Для цього необхідно проаналізувати напрямки дії сил і розповсюдження «межі стиснення» від руху рушія агрегату.

**Результати досліджень.** За останні 20-30 років в кілька разів зросла маса тракторів, комбайнів, транспортних засобів та іншої техніки. Аналогічна тенденція 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. Довгий час провідні наукові установи проводили широкі дослідження проблем системи рушіїв - ґрунт, в результаті яких були розроблені стандарти щодо норм і методів оцінки впливу рушіїв на ґрунт (ГОСТ 26955 - 86, 26953 - 86, 26954 - 86) [2-4]. У нашій країні використовуються ці ГОСТи, але в 2006 році видано новий ДСТУ - 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

Відомі дві схеми, які використовуються для математичного опису взаємодії колеса з опорною поверхнею. У першій схемі розглядається зафіксований момент колеса, що котиться по опірній поверхні. У другій схемі розглядається стиснення циліндричного тіла циліндричною поверхнею.

Відповідно до першої схеми і відповідними перетвореннями отримані залежності для розрахунку розподілу контактних тисків, що діють в зонах навантаження і розвантаження [6].

$$s = \frac{C_1 \times K_1'}{C_1 + K_1'} \times \frac{a_1^2}{e^{2r_{ce}}} - \frac{x^2}{2r_{ce}} \ddot{\phi} \quad (1)$$

$$s = \frac{C_2 \times K_2'}{C_2 + K_2'} \times \frac{a_2^2}{e^{2r_{ce}}} - \frac{x^2}{2r_{ce}} \ddot{\phi} \quad (2)$$

де  $r_{ce}$  – радіус ненавантаженого колеса;  
 $a_1$  і  $a_2$  – проекції ліній контакту в зонах навантаження і розвантаження на площину паралельну недеформованій опірній поверхні;

$x$  – горизонтальна координата контактної поверхні колеса відносно вертикальної осі, яка проходить через центр колеса;

$C_1, C_2^e$  і  $K_1^e, K_2^e$  – постійні ґрунту і шини.

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 [7, 8].

Зазвичай, для спрощення, активний шар ґрунту представляють двоелементною реологічною моделлю Кельвіна. Для опису напружено-деформованого стану ґрунту від діючих вертикальних вібродинамічних навантажень пневматичних колісних рушіїв використовуємо модель Кельвіна, загальний вигляд якої представлений на рис. 1.

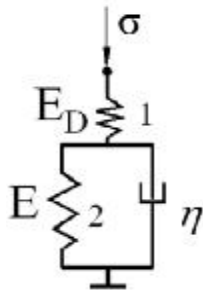


Рис. 1. Реологічна модель Кельвіна

Стиснення пружини 1, модуль пружності якої  $E_D$  (Па), фізично висловлює деформацію, пов'язану зі стисненням цементуючих плівок солей і водних плівок, розміщеними між окремими частинками ґрунту. Процес стиснення пружини 1 оборотний. Деформація пружини 2 (модуль пружності  $E$ , Па), і демпфера (коефіцієнт в'язкості  $\eta$ , Па·с) показує зміщення частинок ґрунту, їх перепаккування.

Основну увагу необхідно приділити шару ґрунту, який відображається деформацією пружини 2, тому що під дією рушіїв відбувається хвилеподібне стиснення, зміщення часток відносно друг друга, а також зміна середньої відстані між ними. 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.

Найбільш повно реальні процеси взаємодії рушія з ґрунтом відображає функціональна залежність, запропонована В.В. Кацігіним [9]

$$s = s_0 \left(1 - \frac{k}{s_0} h\right), \quad (3)$$

де  $s_0$  – межа міцності ґрунту на одновісне стискання, при якому деформація ґрунту починає зростати без подальшого збільшення діючого на опорну площадку вертикального навантаження, Па;

$k$  – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, рівний тангенсу кута  $\alpha$  нахилу дотичної до кривої на початку координат,  $H / m^3$ .

Залежність нормальних напружень від деформації ґрунту представлена на рис. 2. На кривій умовно можна виділити три ділянки, що характеризують особливості взаємодії між зовнішніми навантаженнями і опором ґрунту стисненню [10].

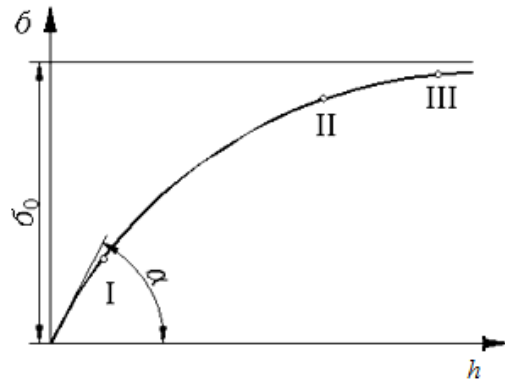


Рис. 2. Залежність нормальних напружень від деформацій ґрунту [10]

Після зняття навантаження частки ґрунту не повертаються в початкове положення. Це пояснюється тим, що повітря, замкнене в порах, стискається лише на кілька відсотків і не в змозі при знятті навантаження подолати сили тертя між частками та повернути ґрунт до початкового об'єму. Зв'язок між напругою і деформацією в ґрунті має вигляд

$$m \dot{\epsilon} + \epsilon = \frac{s}{E_D} + \frac{m s}{E_C}, \quad (4)$$

де  $\dot{\epsilon}$  – швидкість поширення деформації ґрунту,  $c^{-1}$ ;

$s, \dot{s}$  – нормальна напруга і швидкість її поширення, Па, Па/с;

$E_D$  – динамічний модуль пружності ґрунту, який пов'язаний зі статичним  $E_C$  виразом

$$\frac{1}{E_D} + \frac{1}{E} = \frac{1}{E_C}, \quad \text{Па}, \quad (5)$$

$m = \frac{E_D \times E_C}{(E_D - E_C) \eta}$  – параметр в'язкості ґрунту,  $c^{-1}$ .

Із запропонованих виразів видно, що вплив на ґрунт відбувається поступово і плавно, але дія колісних рушіїв носить зовсім інший характер. ґрунт як об'єкт механічного впливу, приймається нами у вигляді двох моделей: модернізованого суцільного середовища і дискретного середови-

ща. В процесі руху сільськогосподарського агрегату ведучі колісні рушії в тяговому режимі здійснюють коливальні і ударні навантаження, що дає можливість стверджувати, що напруження і деформація ґрунту на початковому етапі будуть мати трохи інший характер. Нормальне навантаження викликає окружний стиск елементів шини, в результаті чого довжина її окружності зменшується у порівнянні з довжиною окружності вільного колеса. При передачі тягового моменту  $M_k$  в елементах шини рушії, що підходять до контакту, виникають додаткові окружні стиски, тим більші, чим більше  $M_k$ . У результаті цього  $r_{cb}$  зменшується в порівнянні з радіусом кочення веденого колеса, і тим більше, чим більше мо-

мент  $M_k$  (рис.3).

Визначимо додаткове навантаження, яке прикладене в плямі контакту в результаті дії крутного моменту [11].

$$Q_A = 0,5 \left( \frac{M_k}{r_{cb}} \times \sin \frac{a}{2} + m \times R_{Zk} \times g \frac{a}{2} \right); \quad (6)$$

$$Q_B = 0,5 \left( \frac{M_k}{r_{cb}} \times \sin \frac{a}{2} - m \times R_{Zk} \times g \frac{a}{2} \right). \quad (7)$$

$m$  - коефіцієнт тертя між шиною и опорною основою.

Ці навантаження спричиняють напруження ґрунту (1), (2) на початку і при кінці плями контакту.

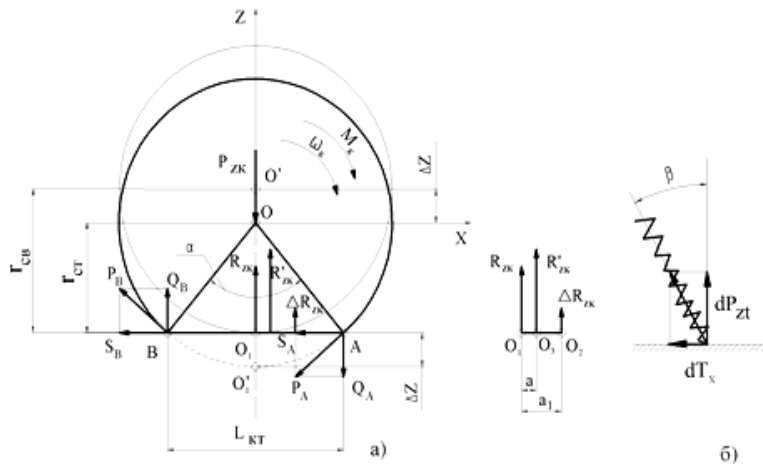


Рис.3 – Кочення колеса в тяговому режимі а) – схема діючих сил; б) – схема сил елементарної площадки контакту.

Додаткове вертикальне навантаження в зоні контакту, викликане дією сили  $Q_A$ .

$$\Delta R_{Zk} = Q_A - Q_B = m \times R_{Zk} \times g \frac{a}{2}. \quad (8)$$

На рис.3б. показано схематично пружність діючих сил, що викликають хвильові навантаження на ґрунт. Теорія, виникнення пружних хвиль, базується на законі Гука. В початковий момент впливу колеса на ґрунт відбувається ударне стискання і стан ґрунту з обох сторін межі стискання, тиск  $p$ , щільність  $\rho$ , швидкість руху відносно межі стискання  $u$  і питома внутрішня енергія переміщення  $\epsilon$ , пов'язані співвідношенням Ренкіна-Гюгоніо [12]

$$\begin{aligned} \gamma_2 u_2 &= \gamma_1 u_1, \quad p_2 + \gamma_2 u_2^2 = p_1 + \gamma_1 u_1^2 \\ e_2 + \frac{p_2}{\gamma_2} + \frac{u_2^2}{2} &= e_1 + \frac{p_1}{\gamma_1} + \frac{u_1^2}{2}, \end{aligned} \quad (9)$$

які виражають закони збереження маси, імпульсу і енергії. Індeksi 1 і 2 належать відповідно величинам перед межею стискання і за нею. Між тим, величини  $p, \gamma, i, e$  пов'язані рівняннями стану. Таким чином при заданих параметрах ґрунту перед межею стискання  $p_1, \gamma_1$  інші величини  $D, p_2, \gamma_2, e_2, u_1, u_2$  об'єднані п'ятьма рівняннями, тобто межа стискання з цими відомими характе-

ризується одним незалежним параметром, наприклад  $D$  або  $p_2$ , через які можуть бути виражені всі інші величини.

Інтенсивність межі стискання характеризують відносним стрибком тиску  $\frac{p_2 - p_1}{p_1}$ .

Під дією додаткових навантажень, що виникають під час контакту шини з ґрунтом, відбувається стрибкоподібне зростання тиску і утворюється межа стискання швидкості руху яких по глибині відображено на рис.4.

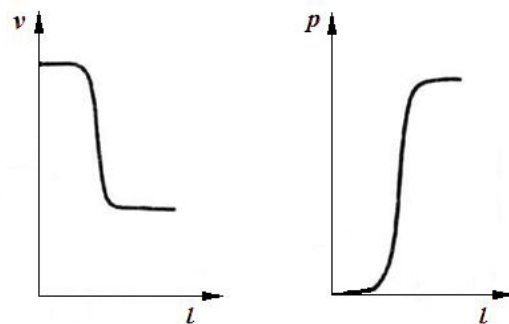


Рис. 4. Графіки зміни швидкості межі стиску і збільшення тиску по глибині шару ґрунту

Таке зростання тиску призводить до інтен-

сивного руйнування родючого слою ґрунту, забелі та відмирання біологічних комплексів живих організмів.

**Висновок.** В результаті проведеного аналізу і розрахунків можна стверджувати, що на-

пруження і деформація ґрунту на початковому етапі дії стохастичного навантаження, колісні рушії в тяговому режимі створюють межу стискання та це призводить до стрибкоподібного зростання тиску в шарі ґрунту.

#### **Список використаної літератури:**

1. Бейкер С.Д. Преимущества и недостатки нулевой технологии / С.Д. Бейкер, К.Е. Сакстон, В.Р. Ритчи // *Агрономия*. – 2011. - № 1. – С.15 – 16.
2. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву : ГОСТ 26953-86. – [Введен в действие 1986-07-05]. – М.: Госкомстандарт СССР, 1986. – 10 с. – (Государственный стандарт СССР).
3. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву : ГОСТ 26955-86. – [Введен в действие 1986-07-05]. – М.: Госкомстандарт СССР, 1986. – 7 с. – (Государственный стандарт СССР).
4. 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).
5. 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.
6. Золотаревская Д.И. Расчет показателей взаимодействия движителей с почвой / Д.И. Золотаревская // *Тракторы и сельхозмашины*. – 2001. – № 3. – С. 18-22.
7. Водяник И.И. Уплотнение почвы движителями сельскохозяйственных машин / И.И. Водяник // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. – 1983. – №5. – С. 19-22.
8. 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.
9. Кацыгин В.В. Перспективные мобильные энергетические средства (МЭС) для сельскохозяйственного производства / В.В. Кацыгин, Г.С. Горин. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 272 с.
10. Золотаревская Д.И. Зависимость между сжимающими напряжениями и осадкой почвы / Д.И. Золотаревская // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. – 1980. – № 2. – С. 30-32.
11. Абдулгасис У.А. Динамика колеса и устойчивость движения автомобиля. / У.А. Абдулгасис, А.У. Абдулгасис, Д.М. Клец, М.А. Подригало. – Симферополь. 2010. – 206с.
12. Електронний ресурс: [http://www.krugosvet.ru/enc/nauka\\_i\\_tehnika/fizika/](http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/)

#### **Артьомов М.П. К методике расчета влияния колесного движителя на почву**

*В статье рассмотрены проблемы взаимодействия колесных движителей с почвой в процессе выполнения мобильными сельскохозяйственными агрегатами технологических операций. Постоянная смена нагрузок на ведущие колеса в тяговом режиме осуществляют стохастическое колебательное давление, это дает возможность утверждать, что напряжение и деформация почвы на начальном этапе их действия будут иметь иной характер.*

**Ключевые слова:** почва, колесный движитель, давление,

#### **Artemov M.P. Methods of calculating of the influence wheel propulsion device on the soil**

*The article deals with the problem of interaction of wheel propulsion with the ground during the execution of mobile agricultural units manufacturing operations. The constant change of loads to the drive wheels is carried out stochastic oscillating pressure in the traction mode, this makes it possible to assert that the voltage and ground deformation at the initial stage of their actions will have a different character.*

**Keywords:** soil, wheel propulsion device, pressure,

Стаття надійшла в редакцію: 07.10.2016

Рецензент: д.ф.-м.н., проф. Кузема О.С.