

ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ВЕРТИКАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА КОЛЕСА ТРАКТОРА

Теоретично обґрунтовано розподіл вертикальних навантажень між осями трактора залежно від розмірів і деформаційних властивостей шини для забезпечення мінімального ущільнення ґрунту в результаті послідовного проходу коліс по одному сліду.

Вступ. Одержання гарантованих врожаїв сільськогосподарських культур сьогодні можливе на основі впровадження передових технологій, що передбачають використання високопродуктивних тракторних агрегатів. Однак при інтенсифікації землеробства все гострішою і актуальнішою стає проблема зменшення ущільнення ґрунтів рушіями мобільної сільськогосподарської техніки, яка є реальною перешкодою для подальшого збільшення врожайності культур в різних ґрунтово-кліматичних зонах. Особливо загрозливими в цьому плані є колісні універсально-просапні трактори.

Відомо, що при роботі трактора з ґрунтообробними знаряддями останні проявляють на нього силовий вплив, який виражається в перерозподілі нормальних навантажень на колеса агрегата. Під дією тягового опору і вертикальних складових силової дії знарядь нормальні навантаження на колеса, за винятком рідкісних випадків, перерозподілюються так, що навантаження передньої осі зменшується, а задньої збільшується. Водночас розподіл вертикальних навантажень по осях колісних машин істотно впливає на показники взаємодії коліс з ґрунтом і його вивчення має практичний інтерес.

Огляд предметної області. Дослідження силової дії навісних машин на трактор з метою підвищення його якісних, тягово-зчіпних і економічних показників знайшли відображення в роботах [1, 2, 3]. При цьому дослідники прийшли до висновку, що ефективність використання агрегатів з навісними знаряддями залежить від правильного розподілу нормальних реакцій ґрунту по осях їх коліс, тобто від положення центра ваги ходової системи. Характерним є і той факт, що при переміщенні багатовісної ходової системи глибина колії практично стабілізується після першого колеса, а прохід наступних коліс вносить незначні зміни в ущільнення.

Зв'язок розподілу навантажень на осі ходових систем з характеристиками взаємодії коліс з ґрунтом глибоко проаналізовано в роботі [4]. При цьому в якості основних показників взаємодії вибрані глибина колії і ущільнення ґрунту, а також показано, що обидва ці показники мають подібний характер зміни і досягають мінімуму при рівномірному розподілі навантажень. Основою одержаних висновків є формули, достовірність яких підтверджена експериментально, що дозволяють визначати глибину колії в залежності від тиску на ґрунт і кількості повторних навантажень.

Досліджуючи умови мінімізації глибини колії при послідовних проходах коліс, В.Г.Шевцов [5] приходить до висновку, що із збільшенням глибини попередньо утвореної колії деформування ґрунту починається тільки при досягненні контактним тиском деякого все зростаючого рівня і інтенсивність росту деформування зменшується.

Вказані особливості враховує емпірична формула [5]:

$$h_n = 0,0033(119 - h_{n-1})\sigma_n - 4,63h_{n-1}^{1/3},$$

де h_n – деформація ґрунту при n -проході, м;

h_{n-1} – глибина колії після $(n-1)$ -проходу, м;

σ_n – тиск колеса на ґрунт при n -проході, кПа.

Аналізуючи взаємодію коліс з ґрунтом за розробленою ним теорією, В.Г. Шевцов також стверджує, що оптимальний розподіл навантажень по осях може бути як рівномірним ($K_{Qopt}=1,0$), так і відмінним від рівномірного ($K_{Qopt}=0,852$) і ($K_{Qopt}=1,128$). Тут K_Q – відношення нормального навантаження на задню вісь до нормального навантаження на передню вісь.

Однак для наведених формул, на наш погляд, властиві певні недоліки, так як в дослідженнях закономірності збільшення деформації при повторних діях різного за значенням навантаження було прийнято припущення про постійність площі контакту колеса з ґрунтом [4], що при широкому діапазоні зміни навантажень на колеса, тиску повітря в шинах і характеристик опорної поверхні, що деформується, в реальних умовах може бути нездійсненним.

Важливим є і той факт, що наведені результати досліджень дають аналіз ходових систем з колесами однакових розмірів, а рушії, наприклад, універсально-просапних тракторів, можуть мати колеса різних розмірів, як за діаметром так і за шириною, що вносить свої корективи в аналіз їх взаємодії з ґрунтом.

З врахуванням зазначених особливостей деформування ґрунту колесами тракторів, І.І.Водяником знайдено таке співвідношення між максимальними контактними тисками послідовно ідучих коліс на ґрунт ($\beta = \sigma_{m2} / \sigma_{m1}$), при якому його деформація ходовою системою буде мінімальною. В роботі [6] автором наведені формули апроксимації, що дозволяють визначати способи змін максимальних контактних тисків для того, щоб співвідношення між ними було оптимальним.

Використовуючи формулу апроксимації максимального контактного тиску:

$$\sigma_m = c \frac{Q^{0,65}}{r_0^{0,39} B_{\Pi}^{0,62}} \left(1 - e^{-nE_2 / E_1}\right),$$

де Q – нормальне навантаження на колесо;

r_0 – вільний радіус шини;

B_{Π} – ширина профілю шини;

E_2, E_1 – модулі деформації відповідно ґрунту і шини;

c, n – коефіцієнти апроксимації,

оптимальні параметри колісної ходової системи І.І.Водяник пропонує підбирати з наступної системи рівнянь [6]:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_1^{0,65} \frac{c_1 (1 - e^{-nE_2 / E_{11}})}{r_{01}^{0,39} B_{\Pi 1}^{0,62}} = \frac{1 + 0,15k}{1 - 0,15k} (Q_2')^{0,65} \frac{c_2}{r_{02}^{0,39} B_{\Pi 1}^{0,62}}; \\ Q_1^{0,65} \frac{c_1 (1 - e^{-nE_2 / E_{11}})}{r_{01}^{0,39} B_{\Pi 1}^{0,62}} = \frac{1 + 0,15k}{1 - 0,15k} (Q_2'')^{0,65} \frac{c_2 (1 - e^{-nE_2 / E_{12}})}{r_{02}^{0,39} (B_{\Pi 2} - B_{\Pi 1})^{0,62}}; \\ Q_0 = Q_1 + Q_2; \\ Q_2 = Q_2' + Q_2''. \end{array} \right. \quad (1)$$

Тут k – коефіцієнт накопичення залишкової деформації; Q_0 – навантаження на колеса одного борту трактора; індекси 1 стосуються передніх коліс, а індекси 2 – задніх.

Результати досліджень. Основні положення роботи [6] взяті нами за основу для теоретичного обґрунтування оптимального розподілу вертикальних навантажень на колеса трактора і зменшення ущільнення ґрунту, а також розробки рекомендацій с.г. виробництву, направлених на покращення використання машинно-тракторних агрегатів і удосконалення їх ходових систем.

Шляхом математичних перетворень і вирішення системи рівнянь (1) нами одержана формула, що дозволяє визначати оптимальне, з точки зору зменшення

деформації ґрунту, співвідношення навантажень на колеса, що котяться по одному сліду:

$$K_Q = \frac{Q_2}{Q_1} = \left[\frac{1 - 0,15k}{1 + 0,15k} \left(1 - e^{-nE_2/E_{11}} \right) \frac{c_1}{c_2} \right]^{1,54} \left(\frac{r_{02}}{r_{01}} \right)^{0,6} \left[1 + \frac{(B_{П2}/B_{П1} - 1)^{0,95}}{(1 - e^{-nE_2/E_{12}})^{1,54}} \right]. \quad (2)$$

Практична цінність залежності (2) полягає в тому, що її застосування вже може дати більш повну відповідь на основне питання оптимізації колісної ходової системи, яке формулюється так: як повинні розподілятися нормальні навантаження між осями трактора і шини яких розмірів і з якими деформаційними властивостями необхідно використовувати для того, щоб ґрунт піддавався мінімальній деформації в результаті послідовних проходів коліс?

Очевидно, що при оснащенні трактора передніми колесами з шинами, ширина профілю яких дорівнює ширині профілю задніх ($B_{П1} = B_{П2}$), значення оптимального співвідношення Q_2/Q_1 зменшується, що свідчить про підвищення ролі переднього моста в передачі вертикальних навантажень.

Слід відзначити, що для випадків визначення оптимального розподілу вертикальних навантажень на колеса агрегату на базі трактора з рівноширокими шинами при розрахунках підставляються значення, що задовольняють нерівність $B_{П1} < B_{П2}$ при такій малій різниці $B_{П2} - B_{П1}$, якою можна знехтувати.

Висновки. Огляд літературних джерел показує, що теоретичні і експериментальні дослідження процесів взаємодії коліс тракторів з ґрунтом проводяться в декількох напрямках. Однак одержані на сьогодні залежності між конструктивними і експлуатаційними параметрами еластичного колеса і фізико-механічними властивостями ґрунту можуть бути використані лише з тими чи іншими припущеннями і поки що не можуть з достатньою достовірністю прогнозувати процес взаємодії ходового апарату з ґрунтом в дійсності. Тобто дані, що одержані за ними, не завжди співпадають з дослідними даними на різних ґрунтах в широких межах зміни параметрів цієї системи.

Все ж, не дивлячись на вимушені спрощення розрахункових схем, дослідження, що проводяться, підводять теоретичну основу для конструювання нових пневматичних шин і призначення оптимальних режимів їх використання.

The distribution of vertical forces between axes of a tractor is theoretically proved depending on the sizes and the deformation properties of the tires for maintenance of the minimal deformation of ground as a result of consecutive pass of wheels on one trace.

Література

1. Кацыгин В.В., Котлобай А.Я. О характере распределения нормальных реакций ґрунта по опорам трехосной ходовой системы // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Сборник научн. трудов. – Мн.: ЦНИИМЭСХ, 1980. – С.42-55.
2. Водяник И.И., Фирман П.И. Снижение деформации почвы колесами тракторов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 10. – С. 59-60.
3. Водяник И.И. Процессы взаимодействия тракторных ходовых систем с почвой. Учебное пособие // Кишинев: КСХИ, 1986. – 110 с.
4. Кацыгин В.В., Горин Г.С., Зенькович А.А. и др. Перспективные мобильные энергетические средства (МЭС) для сельскохозяйственного производства. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 272 с.
5. Шевцов В.Г. О распределении вертикальных нагрузок по осям колесных машин из условия минимизации глубины колеи // Исследование системы движитель – почва. Сборн. научн. трудов ВИМ. – Т.102. – М.: ВИМ, 1984. – С. 75-80.
6. Водяник И.И. Использование максимального контактного давления при оптимизации ходовой системы // Тракторы и сельхозмашины. – 1986. – № 4. – С.19-20.

Одержано 07.07.2004 р.