

Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский, Т. А. Варфоломеева, А. С. Новик

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: zanemanoff@mail.ru

ОЦЕНКА УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЧВУ ПРИ СДВАИВАНИИ КОЛЕС ТРАКТОРА

Аннотация. В статье приведена методика для определения показателей взаимодействия шин с жестким и деформируемым опорным основанием, представлены экспериментальные данные. Представлен сравнительный анализ уровня воздействия одинарных и сдвоенных шин на почву.

Ключевые слова: трактор, шина, колесо, почва, давления, напряжения, влажность почвы.

G. I. Gedroit, S. U. Zaniamonski, T. A. Varfolomeyeva, A. S. Novik

EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: zanemanoff@mail.ru

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF IMPACT ON THE SOIL WHEN DOUBLING TRACTOR WHEELS

Abstract. The article presents a methodology for determining the indicators of interaction of tires with a rigid and deformable support base, and experimental data. A comparative analysis of the level of impact of single and dual tires on the soil is presented.

Keywords: tractor, tire, wheel, soil, pressure, voltage, soil moisture.

Введение

Проблема воздействия ходовых систем на почву сельскохозяйственной техники возникла одновременно с появлением ее на полях. Первые тракторы имели большую удельную массу, выпускались на металлических колесах сравнительно небольшого размера. Фермеры обратили внимание на то, что они сильно уплотняют почву.

Негативное воздействие ходовых систем на почву проявляется в изменении ее физических, механических, биологических свойств [1, 2]. По обобщенным данным, от воздействия колес и гусениц современной техники теряется 5–30 % урожайности сельскохозяйственных культур [3].

При решении задач оптимизации ходовых систем, определении размеров шин, соответствующих допустимым нормам воздействия на почву, важным является получение и обобщение экспериментальных данных по определенным группам шин.

Основная часть

В качестве нормируемых показателей при выборе ходовых систем для современной сельскохозяйственной техники согласно ГОСТ 26955–86 [4] приняты максимальные давления на почву и нормальные напряжения в почве на глубине 0,5 м в зависимости от сезона и влажности почвы, выраженной в долях наименьшей влагоемкости почвы (НВ). При расчете максимального давления на почву ходовых систем агрегатов по ГОСТ 26953–86 [5] вводятся поправки, зависящие от типа почвы (I_1), нагрузки на единичный движитель (I_2), режима работы движителя (I_3), количества движителей, перемещающихся по одному следу (I_4), высоты протектора (I_5). В итоге окончательная норма по максимальному давлению q_n на почву рассчитывается для каждого движителя по формуле [4, 6]:

$$q_n = q_n + q_n(I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5), \quad (1)$$

где q_n – нормируемое максимальное давление на почву, кПа.

Для одиночного колесного движителя максимальное давление на почву [6]:

$$q_k = q_{кр} K_2, \quad (2)$$

где $q_{кр}$ – среднее давление колесного движителя на почву, кПа; K_2 – коэффициент продольной неравномерности распределения давления по площади контакта шины ($K_2 = 1,5$).

Среднее давление колесного движителя на почву находим из выражения:

$$q_{кр} = \frac{G_k}{10^3 F_{кп}}, \quad (3)$$

где G_k – статическая нагрузка на почву единичным колесным движителем, Н; $F_{кп}$ – площадь контакта шины с почвой, м².

Площадь контакта шины колеса с почвой, приведенная к условиям работы на почвенном основании, равняется:

$$F_{кп} = F_k K_1, \quad (4)$$

где F_k – контурная площадь контакта протектора шины на жестком основании, м²; K_1 – коэффициент, зависящий от наружного диаметра колеса [5].

Максимальные нормальные напряжения в почве $\sigma_{0,5}$ (кПа) на глубине $h = 0,5$ м вычисляли по формуле:

$$\sigma_{0,5} = 0,637 q_{кр} \left[\arctg \frac{ab}{h\sqrt{a^2 + b^2 + h^2}} + \frac{hab(a^2 + b^2 + 2h^2)}{(a^2 + h^2)(b^2 + h^2)(\sqrt{a^2 + b^2 + h^2})} \right], \quad (5)$$

где a и $b - \frac{1}{2}$ длины и ширины площади контакта, м.

Видим, что за основу для расчета нормируемых показателей по формулам 1–5 взяты контурная площадь протектора и размеры пятна контакта на жестком основании. Для тракторов «Беларус» большую проблему представляют колеса задних мостов [6]. При этом для повышения проходимости часто используют сдвигание колес этих мостов [3, 6].

Нами выполнены экспериментальные исследования по определению размеров и площади пятна контакта сдвоенных шин ведущих колес трактора «Беларус-2022.5» (рисунок 1).

В ходе испытаний трактор был установлен на ровную площадку, положение колес соответствовало прямолинейному движению трактора. На грунтозацепы шин нанесено красящее вещество (моторное масло). Отпечаток контурной площади шин получен при многократном опускании



Рисунок 1 – Трактор «Беларус-2022.5»: а – вид спереди; б – вид сзади



Рисунок 2 – Определение контурной площади пятна контакта шин трактора «Беларус-2022.5» на жестком основании: 1 – домкрат; 2 – основное внутреннее колесо; 3 – дополнительное наружное колесо; 4 – красящее вещество на грунтозацепях протектора; 5 – миллиметровая бумага; 6 – отпечаток пятна контакта

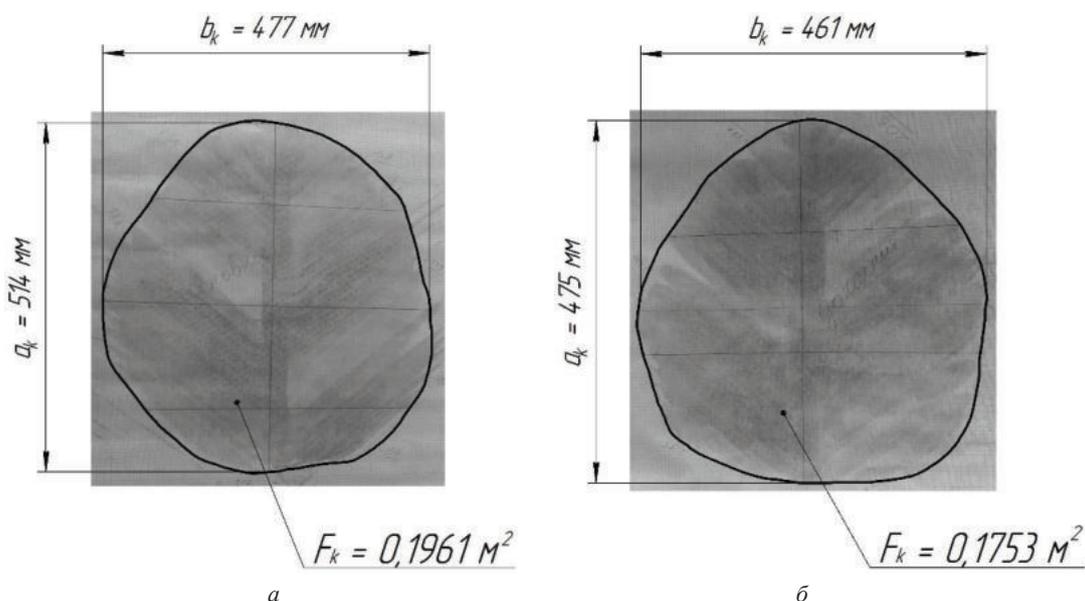


Рисунок 3 – Площадь пятна контакта основного внутреннего колеса составляет $F_k = 0,1961 \text{ м}^2$ (а); дополнительного наружного колеса – $F_k = 0,1753 \text{ м}^2$ (б)

колес (до полного заполнения отпечатка) с помощью домкрата и отсутствии смещения трактора в горизонтальной плоскости в опущенном положении (рисунок 2). При этом после каждого опускания колесо поворачивали на угол, соответствующий ширине грунтозацепов протектора. Также снимались отпечатки по выступам протектора.

Получен четкий отпечаток без подтеков. Контурную площадь пятна контакта определяли очерчиванием отпечатка плавной кривой (рисунок 3).

Нагрузку на движители определяли с помощью секционных весов.

Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры трактора «Беларус-2022.5» и пятна контакта шин на жестком основании

| Характеристика | «Беларус-2022.5» |
|---|------------------|
| Комплектация трактора и условия проведения испытаний | |
| Эксплуатационная масса трактора на сдвоенных колесах с корзиной, кг | 9990 |
| Модель двигателя | Д-260 |
| Номинальная мощность двигателя, кВт | 156 |

| | |
|--|---|
| Типоразмер шин: – переднего ведущего моста – заднего ведущего моста | 420/70R24 (мод. Бел-90) 580/70R42 (мод. Бел-126) |
| Давление воздуха в шинах, МПа: – передние колеса – задние внутренние основные колеса – задние наружные дополнительные колеса | 0,14 0,11 0,10 |
| Передний балласт, кг | 450 |
| Результаты испытаний | |
| Основное внутреннее колесо: – контурная площадь пятна контакта, м ² – длина отпечатка пятна контакта, мм – ширина отпечатка пятна контакта, мм – площадь отпечатка по выступам рисунка протектора, м ² | 0,1961 514 477 0,048 |
| Дополнительное наружное колесо: – контурная площадь пятна контакта, м ² – длина отпечатка пятна контакта, мм – ширина отпечатка пятна контакта, мм – площадь отпечатка по выступам рисунка протектора, м ² | 0,1753 475 461 0,045 |

Отметим, что для идеализированной шины используют формулы Хедекеля [7, 8]. Принимается, что среднее давление в контакте равняется давлению воздуха в шине, площадь и размеры пятна контакта определяются по формулам для эллипса. В действительности из-за жесткости каркаса шин, отличия формы шины от тора, реальные параметры контакта отличаются от идеализированных. Так, для автомобильных шин длина пятна контакта составляет 0,75–0,85 длины пятна контакта идеализированной шины [8].

Для шин сельскохозяйственной техники на основании экспериментов предложены формулы [7]:

$$a_k = 2k_L \sqrt{2R\lambda - \lambda^2} \approx 2k_L \sqrt{2R\lambda}, \quad (6)$$

$$b_k = 2k_B \sqrt{2r\lambda - \lambda^2} \approx 2k_B \sqrt{2r\lambda}, \quad (7)$$

$$F_k = \frac{\pi}{4} \varepsilon a_k b_k \approx 2\pi k_L k_B \lambda \varepsilon \sqrt{Rr}, \quad (8)$$

где a_k, b_k – соответственно длина и ширина пятна контакта на жестком основании; ε – коэффициент эллипсовидности пятна контакта, показывает во сколько раз контурная площадь пятна контакта отличается от расчетной по формуле для эллипса; k_L – коэффициент длины пятна контакта; k_B – коэффициент ширины пятна контакта; λ – деформация шины под действием нормальной нагрузки; R, r – соответственно радиусы шины и беговой дорожки протектора.

Средние значения k_L, k_B, ε составляют 0,78; 0,81; 1,07 соответственно.

На рисунке 3 видим, что в нашем случае реальные отпечатки отличаются от эллипса. При значениях размеров контакта согласно таблице 1 для внутреннего и наружного колеса расчетные значения контурных площадей контакта по формулам для эллипса составляют 0,1925 м² и 0,1719 м², т. е. реальные площади выше названных расчетных в 1,02 раза.

Значение коэффициента насыщенности контакта [9] согласно данным таблицы 1 – 24,5 % для внутреннего колеса и 25,7 % для наружного колеса.

На основе приведенных выше формул (1–5) определены нормируемые показатели воздействия на почву трактора «Беларус-2022.5» со сдвоенными и одинарными задними колесами (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели воздействия движителей трактора «Беларус-2022.5» с шинами 580/70R42 на почву

| Задние колеса трактора | G_k , кН | F_k , м ² | $F_{кн}$, м ² | $q_{ксп}$, кПа | q_k , кПа | $\sigma_{0,5}$, кПа |
|------------------------------------|------------|------------------------|---------------------------|-----------------|-------------|----------------------|
| Сдвоенные | 39,94 | 0,3694 | 0,4063 | 98,3 | 147,5 | 38,5 |
| Одинарные | 33,42 | 0,2120 | 0,2330 | 143,2 | 215,0 | 45,7 |
| Сдвоенные (по выступам протектора) | 39,94 | 0,0930 | 0,1023 | 390,4 | 585,6 | – |

Для одинарных колес результаты получены расчетным путем по методике при давлении воздуха в шинах 120 кПа [7].

Видим, что максимальные давления на почву трактора «Беларус-2022.5» на сдвоенных шинах ниже, чем у трактора на одинарных шинах в 1,5 раза, а напряжения в почве соответственно в 1,2 раза. Следовательно, эффект от сдваивания колес проявляется в основном в пахотном слое почвы. Абсолютные значения указанных параметров высокие.

Сравним полученные результаты с допустимыми нормами по максимальному давлению движителей тракторов на почву, рассчитанные с учетом формулы (1) [6] (таблица 3).

Таблица 3 – Нормы максимальных давлений на почву для тракторов 4×4 (кПа)

| Влажность почвы | Суглинистая почва | | | Супесчаная почва | | |
|---------------------------|-------------------------------------|----------|------|------------------|----------|------|
| | Нагрузка на единичный движитель, кН | | | | | |
| | ≤ 8 | > 8 ≤ 16 | > 16 | ≤ 8 | > 8 ≤ 16 | > 16 |
| Весенний период | | | | | | |
| Св. 0,9 НВ | 80 | 80 | 80 | 96 | 96 | 96 |
| Св. 0,7 НВ до 0,9 НВ вкл. | 125 | 115 | 100 | 150 | 138 | 120 |
| Св. 0,6 НВ до 0,7 НВ вкл. | 150 | 138 | 120 | 180 | 165,6 | 144 |
| Св. 0,5 НВ до 0,6 НВ вкл. | 188 | 173 | 150 | 225 | 207 | 180 |
| 0,5 НВ и менее | 225 | 207 | 180 | 270 | 248,4 | 216 |
| Летне-осенний период | | | | | | |
| Св. 0,9 НВ | 100 | 100 | 100 | 120 | 120 | 120 |
| Св. 0,7 НВ до 0,9 НВ вкл. | 150 | 138 | 120 | 180 | 166 | 144 |
| Св. 0,6 НВ до 0,7 НВ вкл. | 175 | 161 | 140 | 210 | 193 | 168 |
| Св. 0,5 НВ до 0,6 НВ вкл. | 225 | 207 | 180 | 270 | 248 | 216 |
| 0,5 НВ и менее | 263 | 242 | 210 | 315 | 290 | 252 |

Трактор «Беларус-2022.5» на сдвоенных колесах обеспечивает допустимое максимальное давление на почву на супесчаной почве в весенний период при влажности почвы 0,5 НВ и менее, в летне-осенний период на суглинистой почве влажностью 0,5–0,6 НВ и на супесчаной – 0,6–0,7 НВ. На одинарных шинах допустимое максимальное давление обеспечивается только на супесчаной почве влажностью 0,5 НВ и менее в весенний период и до 0,6 НВ в летне-осенний период.

Сравнение результатов с допустимыми напряжениями на глубине 0,5 м [4] показывает, что трактор соответствует нормам при работе на сдвоенных шинах только в летне-осенний период на почвах влажностью до 0,6 НВ включительно, при работе на одинарных шинах – 0,5 НВ и менее.

Отметим, что под сдвоенными колесами более чем в два раза увеличивается прикатываемая площадь поля. Комплексная оценка эффективности сдваивания колес может быть дана с учетом данных по изменению урожайности сельскохозяйственных культур, повышения проходимости трактора.

Максимальные давления под протектором рассчитаны по методике [5]. В действительности ГОСТ не предусматривает такой расчет. Однако видим, что их значения превосходят давления, рассчитанные по контурной площади, почти в четыре раза и еще больше превышают допустимые. Это указывает на целесообразность увеличения коэффициента насыщенности протектора и ограничение его высоты для снижения уровня воздействия на почву.

Заключение

Сдваивание колес трактора «Беларус-2022.5» позволяет снизить максимальные давления на почву в 1,5 раза и напряжения в почве на глубине 0,5 м – в 1,2 раза. И соответственно больше способствует снижению деформаций пахотного слоя почвы. Расширяется диапазон допустимой эксплуатации трактора по влажности почвы. При этом определяющим параметром являются напряжения в почве на глубине 0,5 м. Допустимый уровень обеспечивается только в летне-осенний период на почвах влажностью до 0,6 НВ включительно для трактора на сдвоенных шинах и до 0,5 НВ включительно на одинарных шинах.

С учетом увеличения прикатываемой ходовой системой трактора площади поля сдваивание колес следует рассматривать как способ повышения проходимости тракторов, но не обеспечения допустимого уровня воздействия на почву.

Список использованных источников

1. Гедроить, Г. И. Уплотнение почв ходовыми системами сельскохозяйственных машин / Г. И. Гедроить // Агропанорама. – 2010. – № 6. – С. 8–12.
2. Гедроить, Г. И. Взаимодействие с почвой многоколесных ходовых систем / Г. И. Гедроить, А. Г. Гедроить, А. Д. Четкин // Агропанорама. – 2012. – № 5. – С. 2–7.
3. Скотников, В. А. Проходимость машин / В. А. Скотников, А. В. Пономарев, А. В. Климанов. – Минск : Наука и техника, 1982. – 328 с.
4. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву : ГОСТ 26955–86 ; введ. 01.01.1987. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2018. – 7 с.
5. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву : ГОСТ 26953–86 ; введ. 01.01.1987. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2018. – 11 с.
6. Гедроить, Г. И. Допустимый уровень воздействия ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву / Г. И. Гедроить, Ю. И. Томкунас, А. Д. Четкин // Агропанорама. – 2013. – № 5. – С. 10–15.
7. Гедроить, Г. И. Опорные свойства шин для сельскохозяйственной техники / Г. И. Гедроить // Агропанорама. – 2009. – № 4. – С. 23–27.
8. Агейкин, Я. С. Проходимость автомобилей / Я. С. Агейкин. – М. : Машиностроение, 1981. – 242 с.
9. Автомобили. Качение колеса. Термины и определения : ГОСТ 17697–72 ; введ. 01.01.1973. – М. : Издательство стандартов, 1972. – 24 с.