

УДК 629.114.2

УПЛОТНЯЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ХОДОВЫХ СИСТЕМ НА ПОЧВУ И ПУТИ ЕГО СНИЖЕНИЯ

Ким Ю.А., Зеленый П.В., Франкевич И.В. (БНТУ)

Статья посвящена воздействию на почву ходовых систем колесных тракторов и алгоритму описания процесса взаимодействия движителя с опорной поверхностью. Рассмотрено влияние уплотняющего воздействия ходовых систем на почву и пути его снижения.

Введение

Республика Беларусь является крупным поставщиком сельскохозяйственной техники как на внешний так и на внутренний рынок. Для успешной конкуренции с зарубежными производителями требуется создавать все более энергонасыщенные тракторы, обладающие большой производительностью.

Рост мощности устанавливаемых двигателей требует соответствующего увеличения сцепного веса и других мер для реализации тягового усилия. При этом конструктивные меры, направленные на повышение технико-экономических качеств тяговых средств нередко не учитывают отрицательного воздействия ходовой системы на почву. В частности, существует проблема переуплотнения почвы движителями тяговых средств, снижением которого озабочены ведущие мировые производители тракторов. Большинство же способов повышения тягово-сцепных свойств связаны с увеличением веса машинно-тракторного агрегата и, соответственно, с увеличением давления на почву. Тяговые показатели зависят не только от конструкции и технического состояния, но и от типа и состояния почвы [2]. Уплотняющее воздействие ходовых систем сельскохозяйственных машин и тракторов давно вызывает тревогу агротехников и почвоведов. По данным Института имени В.В. Докучаева [3] и других исследовательских организаций, от переуплотнения почвы теряется 15-30% урожая зерновых и корнеклубневых культур по стране. Высокая плотность почвы стала основным фактором, снижающим впитываемость влаги [4].

Цель проводимых исследований – найти способ повышения технико-экономических свойств трактора с учетом обеспечения рекомендуемых пределов давления на почву.

1. Уплотняющее воздействие на почву машин и пути его снижения

Повышение массы сельскохозяйственных машин вызывает в почве эффект накопления напряжений. Профессор А.М. Кононов [5] указывает, что уплотняющее действие колес тракторов распространяется на глубину до 0,7 м. Таким образом, ниже пахотного обрабатываемого слоя из года в год происходит постепенное, возрастающее уплотнение почвы.

Структура почвы зависит от ее плотности, а плотность – от параметров движителей. Степень уплотнения почвы зависит от возникающих в ней напряжений. Плотность является важной характеристикой почвы, в зависимости от которой находится водный, воздушный, тепловой режимы и в целом биологическая активность. Под плотностью почвы понимают массу абсолютно сухой почвы в единице объема. Уплотнение почвы приводит к изменению соотношений пор и твердой фазы в единице объема. Коэффициент пористости уменьшается при увеличении плотности почвы (рис. 1). При уплотнении суглинистой почвы до 1400 кг/м^3 ($1,4 \text{ г/см}^3$) водопроницаемость падает практически до нуля. Скорость фильтрации супесчаной почвы при уплотнении изменяется не настолько и при плотности 1600 кг/м^3 ($1,6 \text{ г/см}^3$) составляет $833 \cdot 10^{-9} \text{ м/с}$ ($0,05 \text{ мм/мин}$) (рис. 2).

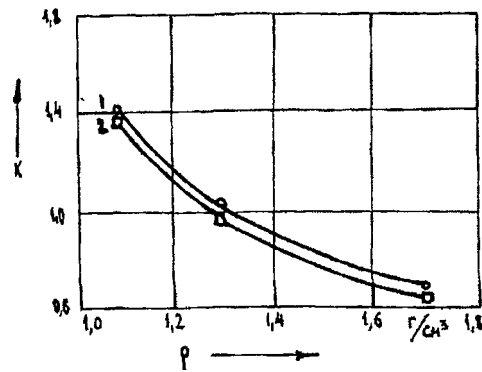


Рисунок 1. Изменение коэффициента пористости почв:
1- дерново-подзолистая суглинистая почва;
2- дерново-подзолистая супесчаная почва.

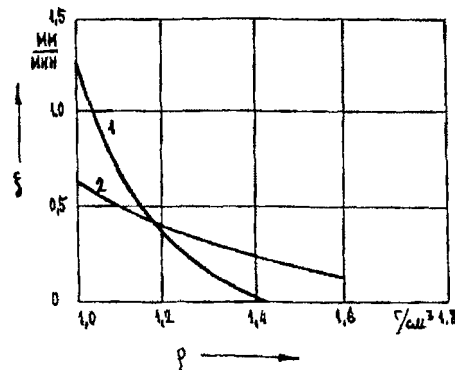


Рисунок 2. Изменение водопроницаемости почв:
1- дерново-подзолистая суглинистая почва;
2- дерново-подзолистая супесчаная почва.

В этом случае за час фильтруется до 0,003 м, что соответствует осадкам средней интенсивности. Водопроницаемостью обуславливается величина оптимальной по произрастанию растений плотности почвы. Так, например, наибольшая урожайность сельскохозяйственных культур наблюдается при плотности суглинистой почвы 1100-1200 кг/м³, а для супесчаной — 1250-1350 кг/м³. В некоторых случаях для супесчаных почв значения оптимальной плотности возрастают до 1400 кг/м³ (рис. 3).

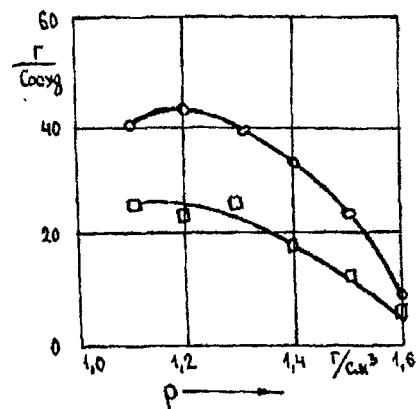


Рисунок 3. Зависимость урожая ячменя от плотности дерново-подзоистой глееватой легкосуглинистой почвы

Воздействие на почву большинства современных ходовых систем приводит к увеличению плотности, значительно выше оптимальной, необходимой для развития и высокой продуктивности сельскохозяйственных культур. Урожай сельскохозяйственных культур на уплотненных ходовыми системами участках значительно снижается. Происходит непроизводительная трата энергии сначала на переуплотнение, а затем на перепахивание уплотненной почвы, увеличивается сила сопротивления качению, повреждаемость растительности, усиливается поверхностный сток.

Снижение урожая происходит не только вследствие ухудшения физического строения пахотного слоя, но и в результате повреждения всходов зерновых при проходе машинно-тракторного агрегата. Уплотнение почвы приводит к увеличению засоренности посева сорняками. Так, за четыре года количество сорняков при двукратном воздействии трактором ДТ-75 увеличилось в 2 раза, а при четырех- и шестикратном воздействии соответственно в 2,5 и в 3,1 раза. При многократных проходах тяжелыми тракторами количество сорняков возрастает в 2-3 раза. Установлено также, что чем больше проходов, тем хуже рост яровой пшеницы. Согласно исследованиям [6] наибольшее уплотняющее воздействие на почву оказывает трактор К-700. В переуплотненных почвах возникает явление пространственной "тесноты", что приводит к ухудшению развития растений. Для поддержания высокого уровня плодородия многих типов почв не следует допускать их переуплотнения, то есть плотность почвы должна быть в пределах 1250...1350 кг/м³.

Для оценки уплотняющего воздействия ходовых систем на почву используется три показателя. Наиболее распространенным является $q_{ср}$ – среднее давление. Величину $q_{ср}$ просто определить, и этот показатель используется для оценки допустимого воздействия ходовых систем. Также для оценки уплотняющего воздействия рекомендуется q_{max} – максимальное (фактическое) давление движителей на почву. Профессор А.М. Кононов [5] предлагает ограничить максимальное давление движителей на увлажненно-суглинистой почве, подготовленной под посев, следующими пределами: на почве повышенной влажности (при абсолютной влажности 25-30%) $q_{max} \leq 0,075 \text{ МПа}$; на спелой (влажность 17-20%) $q_{max} \leq 0,125 \text{ МПа}$; на сухой почве (влажность 8-12%) $q_{max} \leq 0,15 \text{ МПа}$.

На основании анализа влияния $q_{ср}$ и q_{max} на уплотнение почвы и урожайность, а также в результате экспериментально-теоретических исследований М.И. Ляско [8] для оценки уплотняющего воздействия ввел показатель U (кН/м). В качестве выходного параметра при этом принимается плотность почвы, которая является одной из основных агрофизических характеристик почвы, определяющих ее плодородие. Использование показателя U для оценки уплотняющего воздействия позволяет учесть форму и размеры деформатора. Применимость показателя U в качестве критерия оценки уплотняющего воздействия ходовых систем на почву подтверждена рядом исследователей.

Значения U определяются по формуле:

$$U = \omega b q_{max} (1 + \chi \lg N) \quad (1.1)$$

где ω – коэффициент, зависящий от размера и формы опорной поверхности движителя;

b – ширина движителя;

χ – коэффициент интенсивности накопления необратимой деформации почвы при повторных нагружениях;

$\lg N$ – десятичный логарифм числа повторных проходов движителя по одному следу.

Ограничительным условием оптимального функционирования системы движитель-почва является условие $U \leq [U] = 75 \text{ кН/м}$, которое определяет зону допустимого воздействия движителей сельскохозяйственных тракторов на почву.

2. Пути снижения давления на почву

В настоящее время существует ряд способов, позволяющих повысить тягово-сцепные свойства и снизить величину давления, оказываемого движителем на опорную поверхность: применение гусеничных тракторов; применение арокных или широкопрофильных шин низко-

го давления; рациональный подбор типоразмера шин; увеличение размеров шин; применение пневмогусениц; уменьшение высоты почвозацепов; уменьшение числа слоев шины; применение тандем-колес; сдвигание колес; регулирование давления воздуха в шинах; оборудование сельскохозяйственных машин металлическими гусеницами и ряд других способов.

По сравнению с колесными гусеничные тракторы развивают большую силу тяги и создают меньшее среднее давление на почву, что снижает уплотняющее воздействие и позволяет использовать их на полях на одну – две недели дольше, увеличивая период роста растений. Однако возможность использования гусеничной техники на транспортных работах ограничена. К тому же велики затраты на эксплуатацию и ремонт ввиду малого ресурса и высокой стоимости гусеничного движителя.

Применение широкопрофильных шин и пневмоклатков во многом решает проблему переуплотнения почвы, однако такие движители имеют ряд недостатков, поскольку их конструкция в большинстве случаев не обеспечивает транспортному средству необходимые тяговые качества. Они имеют довольно высокую тангенциальную податливость и в процессе движения подвергаются значительному скручиванию. Кроме того, широкопрофильные шины и пневмоклатки имеют высокую стоимость и меньший ресурс.

Рациональный подбор типоразмера шин — эффективный способ повышения тягово-сцепных свойств трактора, однако его возможности ограничены необходимостью вписываться в междурядья пропашных культур. Возрастает необходимость наличия в комплекте нескольких типоразмеров колес, что увеличивает стоимость машинно-тракторного агрегата. К тому же исследования, проведенные в разных странах, показали, что увеличение размеров шины не всегда благоприятно влияет на снижение величины давлений в контакте.

Уменьшение высоты почвозацепов позволяет уменьшить максимальную глубину колеи и снизить максимальное давление, но сильно снижает тяговые качества, поскольку доля силы тяги от среза и сдвига почвы почвозацепами является преобладающей.

Уменьшение числа слоев шины снижает ее радиальную жесткость и увеличивает площадь пятна контакта, однако при этом значительно снижается срок службы шины и увеличивается сопротивление качению. Данное направление перспективно в случае применения новых материалов, позволяющих компенсировать эти недостатки при незначительном изменении конструкции.

При применении тандем-колес многократно повторяющиеся воздействия колес на почву за счет последовательного прохода передних и задних по одному и тому же следу приводят к дополнительному уплотнению. Почвозацепы заднего колеса не всегда попадают в следы почвозацепов переднего, и сопротивление его качения увеличивается за счет разрушения и уплотнения следов заднего. К тому же сильно усложняется конструкция трактора за счет наличия механизмов привода дополнительных колес или изменения числа ведущих мостов.

Одним из простых и эффективных способов улучшения тягово-сцепных свойств колесных универсально-пропашных тракторов является сдвигание колес. Этот способ не требует существенных изменений конструкции, отпадает необходимость наличия нескольких комплектов колес разных типоразмеров, монтаж-демонтаж производится с помощью стандартного комплекта инструментов. При применении сдвоенных колес уменьшается глубина колеи. Так, например, согласно [10] для сдвоенного колеса 12-38" с давлением в шине $P_w = 80 \text{ кПа}$ по стерне суглинка нормальной влажности при нормальной нагрузке $G = 12000 \text{ Н}$ глубина колеи уменьшается с 0,072 до 0,051 м по сравнению с одиночным, т.е. на 41%, сопротивление движению с 1750 Н до 1320 Н, т.е. на 37 %. Однако значительного прироста максимальной тяговой мощности при этом не происходит. Отмечается ее прирост на низких скоростях и падение на высоких. В зоне низких скоростей, т.е. повышенного буксования при обычной комплектации трактора, отмечается прирост как тягового усилия, так и тяговой мощности, хотя общего увеличения тяговой мощности в зоне максимального тягового КПД не происходит [2].

При сдвигании шин имеется также и ряд других негативных явлений, в частности, повышенное сопротивление повороту. Проблема маневренности трактора приобретает особен-

ное значение при увеличении мощности и габаритов, поскольку неминуемо увеличивается минимально возможный радиус поворота и, соответственно, площадь зоны, необходимой для разворота. В зоне разворота уплотняется почва за счет многократных проходов, тем самым снижается урожайность.

Величина давления в контакте пневматической шины с деформирующейся опорной поверхностью, в основном, зависит от величины давления воздуха в шине и составляет приблизительно 125% от нее. Таким образом, одним из наиболее эффективных и доступных средств снижения величины давления на почву является автоматическое регулирование давления воздуха в шинах на ходу в пределах их допустимой деформации. Установка системы центральной накачки шин (ЦНШ) особенно эффективна на машины, оснащенные крупногабаритными шинами, площадь контакта которых, в значительной степени зависит от давления воздуха в них.

3. Описание процесса взаимодействия движителя с опорной поверхностью

В экспериментально-теоретических исследованиях взаимодействия эластичных колес с деформируемыми опорными поверхностями можно выделить следующие направления: определение эпюр напряжений в контакте, их интегрирование и приравнивание силам, приложенным к оси колеса. Второй подход основан на рассмотрении характерных зон поверхности контакта, параметры которых аналитически выражаются через деформацию шины и грунта. Анализ имеющихся литературных источников указывает на чрезвычайно сложный характер явлений при взаимодействии движителей с почвогрунтами и позволяет сделать следующие выводы:

1. При кратковременном приложении небольших по величине нагрузок к почвогрунту, упругие свойства его проявляются ярче, чем при длительном действии высоких нагрузок. Поэтому, при исследовании процессов взаимодействия крупногабаритных пневматических движителей быстроходных сельскохозяйственных машин возможно применение методов теории упругости в точной постановке.

2. Существующие теории взаимодействия пневматических движителей с деформирующейся опорной поверхностью являются частными случаями. В связи с этим важной задачей является разработка общей теории, позволяющей рассматривать процесс взаимодействия пневматического движителя любой конструкции, в том числе сдвоенного колеса.

3. Принятие формы поверхности контакта пневматического колеса грунтом, а также законов распределения напряжения и другие допущения, позволяют значительно упростить решение задачи взаимодействия, однако при этом снижается точность. Поэтому вышеуказанные параметры следует получать расчетным путем исходя из условий взаимодействия.

4. Представление почвогрунтовой залежи в виде нескольких слоев в предположении постоянства модуля упругости первого рода для каждого из них, позволяет более точно учесть естественное сложение почвогрунтового основания.

Заключение

С учетом климатических, агротехнических, экономических и других условий эксплуатации самым рациональным из рассмотренных методов представляется применение колесных тракторов со сдвоенными колесами. Сдваивание колес не снижает универсальности техники и мало усложняет конструкцию, поскольку требует лишь дополнение трактора устройством крепления колес. В связи с этим удорожание конструкции происходит в основном за счет дополнительного комплекта колес. Возможность монтажа-демонтажа дополнительных колес обеспечивает приспособляемость к условиям движения и требованиям агротехнической проходимости. Снижается давление на почву и глубина колеи, появляется возможность увеличения сцепного веса и использования мощности двигателя. Однако для успешного применения метода необходимо преодоление свойственных ему недостатков. Требуется обосновать выбор и применение шин определенного типоразмера, расстояния между ними с учетом воздействия на почву, маневренности, тягово-сцепных показателей. Вопрос повышения эксплуатационных

качеств сельскохозяйственных машин связан в первую очередь с исследованием процесса взаимодействия движителя с опорной поверхностью, влиянием его размеров, давления воздуха в шинах и нагрузок на характер распределения давления, сопротивление движению и глубину колеи.

Литература

1. Ким, Ю.А. Повышение эксплуатационных качеств самоходных машин для внесения удобрений путем регулирования давления в шинах колес (на примере МВУ-30): автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Ю.А. Ким; Белорусский политехнический институт. – Минск, 1986. – 16 с.
2. Тяговые характеристики сельскохозяйственных тракторов. Альбом-справочник / А.П. Антонов [и др.]. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 240 с.
3. Кравченко, В.И. Некоторые вопросы прогнозирования уплотнения почв машинами. / В.И. Кравченко // Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. Влияние сельскохозяйственной техники на почву. – М., 1981, – С.10-13.
4. Кравченко, В.И. Методы определения степени уплотнения почвы машинами. / В.И. Кравченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1977. – №5. – С.26 – 28.
5. Кононов, А.М. Исследование реализации тягово-сцепных качеств и агротехнической проходимости колесных тракторов на суглинистых почвах Белоруссии: автореф. дисс. ... докт. техн. наук: / А.М. Кононов; БСХА. – Горки, 1974. – 41 с.
6. Деформация дерново-подзолистой почвы ходовыми системами тракторов и урожай / А.И. Пупонин [и др.] // Земледелие. – 1981. – №3. – С.22 – 24.
7. Воздействие движителей тракторов на почву и ее плодородие / В.А. Русанов [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1983. – №5. – С.3 – 8.
8. Ляско, М.И. Уплотняющее воздействие сельскохозяйственных тракторов и машин на почву и методы его оценки / М.И. Ляско // Тракторы и сельхозмашины. – 1982. – №10. – С.7 – 11.
9. Шухман, С.Б. Гидрообъемный привод большегрузных полноприводных автомобилей для эксплуатации на грунтах с низкой несущей способностью / С.Б. Шухман, А.В. Лепешкин, Р.Х. Курмаев // Приводная техника. – 2007. – №6. – С.36 – 42.
10. Ксенович, И.П. Проектирование универсально-пропашных тракторов / И.П. Ксенович, А.С. Солонский, С.М. Войчинский. – Минск: Наука и техника, 1980. – 320 с.
11. Кнороз, В.И. Работа автомобильных шин / В.И. Кнороз. – М.: Агропромиздат, 1957. – 191 с.
12. Кункевич, П.А. Изыскание и исследование путей повышения эксплуатационных показателей колесных тракторных агрегатов при использовании их на старопашотных торфяных почвах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: / П.А. Кункевич. – Минск, – 1972. – 21 с.

УДК 630.377.4:629.038

ОЦЕНКА ТЯГОВО-СЦЕПНЫХ СВОЙСТВ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН С КОМБИНИРОВАННЫМ ТИПОМ ДВИЖИТЕЛЯ

Гороновский А.Р., Пищов С.Н., Асмоловский М.К. (БГТУ)

Представлены результаты теоретических исследований влияния конструкции и параметров шасси погрузочно-транспортных машин 6К6 на тягово-сцепные свойства при эксплуатации в различных почвенно-грунтовых условиях