

УДК 629.114.2

Ю. А. Ким, канд. техн. наук, доц., П. В. Зеленый, канд. техн. наук, доц.,
И. В. Франкевич

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВОГРУНТА И ТЯГОВЫЕ КАЧЕСТВА ТРАКТОРА

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

Географическое и экономическое положение нашего государства способствует интенсивному развитию сельского хозяйства. Наличие значительных по отношению к общей площади страны пространств, пригодных для выращивания сельскохозяйственных культур, дает нам возможность не только обеспечивать себя продукцией, но и экспортировать ее. При этом высокая урожайность зависит не только от почвенно-климатических условий, но и от применения современной высокотехнологичной сельскохозяйственной техники и, в частности, тракторов.

Совершенствование конструкций, появление новых подходов к проектированию и новых высококачественных материалов позволяет создавать все более энергонасыщенные тракторы, обладающие большей производительностью за счет увеличения силы тяги и возможности использования нескольких орудий одновременно с выполнением нескольких операций за один проход.

Наличие разветвленной сети дорог с усовершенствованным покрытием и преобладание полей малой площади делает экономически малоэффективным использование гусеничных тракторов, не способных двигаться по дорогам общего пользования без повреждения покрытия и с достаточной скоростью. Необходимость частого перемещения между полями, а также возможности использования трактора для транспортной работы делают необходи-

мым производство высокоскоростных универсальных колесных тракторов.

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, такие как увеличение сцепного веса (балласт), использование веса сельхозмашин и орудий (догружатель) и веса полуприцепов в качестве сцепного, 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]. При выборе того или иного способа необходимо учитывать свойства агрофона, для которого применение того или иного способа может давать различный эффект. Так, например, на почве, подготовленной под посев, тяговая мощность и тяговое усилие снижаются по сравнению со стерней.

Уплотняющее воздействие ходо-

вых систем сельскохозяйственных машин и тракторов давно стало серьезной проблемой. По данным института им. 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]. Опыт зарубежных стран показал эффективность использования мощных высокопроизводительных самоходных машин, оказывающих невысокое уплотняющее воздействие на почву.

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

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. Этому уплотнению несколько противодействуют такие естественные процессы, как

попеременное промерзание и оттаивание, увлажнение и высыхание, влияние корневой системы растений. Однако с увеличением глубины влияние этих факторов снижается.

Влиянием воздействия движителей машин на свойства почвы и ее урожайность занималось множество исследователей. Структура почвы зависит от ее плотности, а плотность – от параметров движителей. К сельхозмашинам предъявляются требования, в основном, высокой производительности и низкой сминаемости почвы. 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, а). 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. 1, б).

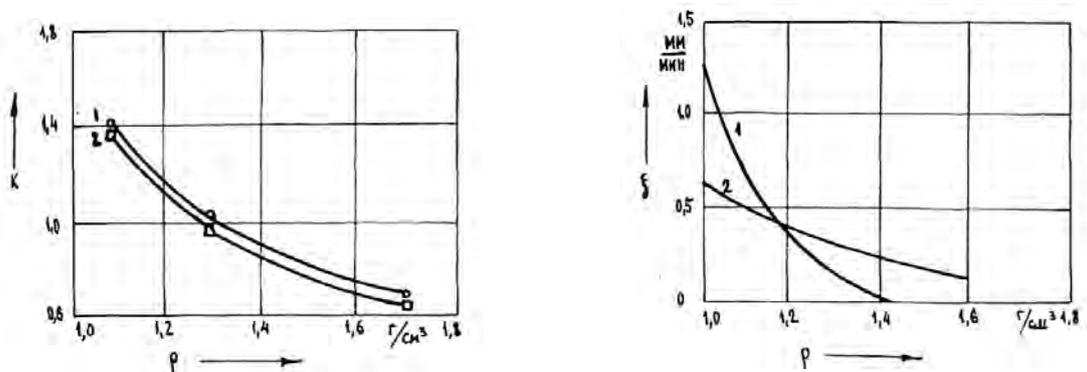


Рис. 1. Свойства почвы в зависимости от плотности: а – изменение коэффициента пористости; б – водопроницаемость почв; 1 – дерново-подзолистая суглинистая почва; 2 – дерново-подзолистая супесчаная почва

В этом случае за 1 ч 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. 2). Значения оптимальной плотности почв приведены в табл. 1.

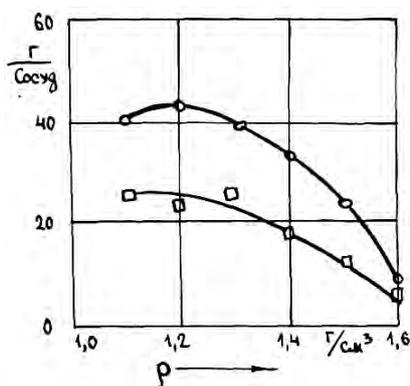


Рис. 2. Зависимость урожая ячменя от плотности дерново-подзолистой глееватой легкосуглинистой почвы

Табл. 1. Значения оптимальной плотности почв

Почва и ее механический состав	Плотность, кг/м ³		
	Равновесная	Оптимальная для культур	
		зерновых	пропашных
Дерново-подзолистая:			
– песчаная связная	$1,5 \cdot 10^3 - 1,6 \cdot 10^3$	–	$1,4 \cdot 10^3 - 1,5 \cdot 10^3$
– супесчаная	$1,3 \cdot 10^3 - 1,4 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3 - 1,35 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3 - 1,45 \cdot 10^3$
– суглинистая	$1,35 \cdot 10^3 - 1,5 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3 - 1,3 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3 - 1,2 \cdot 10^3$
Дерново-карбонатная суглинистая	$1,4 \cdot 10^3 - 1,5 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3 - 1,25 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3 - 1,2 \cdot 10^3$
Дерново-глеевая суглинистая	$1,4 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3 - 1,4 \cdot 10^3$	–
Луговая пойменная суглинистая	$1,15 \cdot 10^3 - 1,2 \cdot 10^3$	–	$1,0 \cdot 10^3 - 1,2 \cdot 10^3$
Болотная (степень разложения торфа 35–40 %)	$0,17 \cdot 10^3 - 0,18 \cdot 10^3$	–	$0,23 \cdot 10^3 - 0,25 \cdot 10^3$
Серая лесная тяжелосуглинистая	$1,4 \cdot 10^3$	$1,15 \cdot 10^3 - 1,25 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3 - 1,2 \cdot 10^3$
Чернозем суглинистый	$1,0 \cdot 10^3 - 1,3 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3 - 1,3 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3 - 1,3 \cdot 10^3$
Каштановая суглинистая	$1,2 \cdot 10^3 - 1,45 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3 - 1,3 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^3 - 1,3 \cdot 10^3$
Серозем суглинистый	$1,5 \cdot 10^3 - 1,6 \cdot 10^3$	–	$1,2 \cdot 10^3 - 1,4 \cdot 10^3$

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 значи-

тельно снижается. Происходит непроизводительная трата энергии сначала на переуплотнение, а затем на перепахивание уплотненной почвы, увеличивается сила сопротивления качению, повреждаемость растительности, усиливается поверхностный сток.

Впервые понятие «агротехническая проходимость» для оценки ходовой системы трактора с позиций уплотняющего воздействия на почву, ее плодородия и урожайности было введено профессором А. М. Кононовым [5]. При этом было установлено влияние ходовых систем на уплотнение почвы и в конечном итоге на урожайность. Чрезмерное уплотнение почвы приводит к изменению структуры почвы. Происходит образование глыб, ухудшение водного и воздушного балансов почвы, что отрицательно влияет на рост и развитие растений. 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 4 года количество сорняков при двукратном воздействии трактором ДТ-75 увеличилось в 2 раза, а при четырех- и шестикратном воздействии – в 2,5 и в 3,1 раза соответственно. 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.

Отрицательный эффект уплотняющего воздействия на почву движителей отмечается и зарубежными исследователями. Так, например, в условиях Республики Ку-

ба плотность почвы в слое 0–0,2 м после прохода по ней сельскохозяйственной техники существенно превосходит критическую плотность для нормального развития корней растений сахарного тростника.

Таким образом, проблема переуплотнения почвы ходовыми системами стала реальным препятствием на пути к получению высоких урожаев в различных почвенно-климатических условиях.

Для оценки уплотняющего воздействия ходовых систем на почву используется три показателя. Наиболее распространенным является среднее давление $q_{\text{ср}}$. Величину $q_{\text{ср}}$ просто определить, и этот показатель используется для оценки допустимого воздействия ходовых систем. Также для оценки уплотняющего воздействия рекомендуется максимальное (фактическое) давление движителей на почву q_{max} . Величина q_{max} определяется либо экспериментально, либо расчетным путем. 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 %) $q_{\text{max}} \leq 0,075$ МПа; на спелой (влажность 17–20 %) $q_{\text{max}} \leq 0,125$ МПа; на сухой почве (влажность 8–12 %) $q_{\text{max}} \leq 0,15$ МПа. Такие же значения q_{max} рекомендует ВИМ [7].

На основании анализа влияния $q_{\text{ср}}$ 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

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

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 «двигатель–почва» является условие $U \leq [U] = 75$ кН/м, которое определяет зону допустимого воздействия движителей сельскохозяйственных тракторов на почву.

В ОАО «НАМИ–Сервис» была разработана методика оценки разрушающего воздействия на грунт полноприводного автомобиля [9]. Согласно этой методике, воздействие на грунт оценивается безразмерным показателем $K_{пчв}$, изменяющимся в пределах от 0 до 1, причем меньшее значение соответствует меньшему разрушающему воздействию. Коэффициент зависит от размеров шины, параметров грунта и глубины колеи. Методика была апробирована на макетном образце автомобиля-самосвала на основе шасси БАЗ-6909 полной массой 38,8 т.

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 арочных или широкопрофильных шин низкого давления;
- рациональный подбор типоразмера шин;
- увеличение размеров шин;
- применение пневмогусениц;

- уменьшение высоты почвозацепов;
- уменьшение числа слоев шины;
- применение тандем-колес;
- сдваивание 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 пневмокотков 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 пневмокотки имеют высокую стоимость и меньший ресурс, особенно при движении по дорогам с усовершенствованным покрытием, что снижает универсальность трактора и увеличивает эксплуатационные расходы.

Рациональный подбор типоразмера шин – эффективный способ повышения тягово-сцепных свойств трактора, однако его возможности ограничены необходимостью вписываться в междурядья пропашных культур. Необходимость обеспечения достаточных защитных зон налагает ограничение на размеры шин. Возрастает необходи-

мость 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, причем возникающие при этом напряжения распространяются на значительную глубину подпахотного слоя. К тому же 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 сдваивание 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 $P_w = 80$ кПа по стерне суглинка нормальной влажности при нормальной нагрузке $G = 12000$ Н при глубине колеи уменьшается с 0,072 до 0,051 м по сравнению с одиночным, т. е. на 41 %, сопротивление движению с 1750 до 1320 Н, т. е. на 37 %. Уменьшение давления на грунт положительно влияет на изменение физико-механических свойств почвы. Однако значительного прироста максимальной тяговой мощности при этом не происходит. Отмечается ее прирост на низких скоростях и падение на высоких. В области высоких скоростей с незначительным буксованием из-за повышения потерь на перекачивание происходит снижение тяговой мощности. 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 применении сдвоенных колес также по иному происходит их взаимодействие с почвой по сравнению с одинарными. Между ними образуется клин почвы за счет выдавливания и возникают дополнительные силы трения боковин шин о грунт. Согласно [10] оптимальное расстояние между боковинами:

$$b_0 = \frac{2q\varepsilon_p hf}{\varphi}, \quad (2)$$

где ε_p – коэффициент бокового распора; f – коэффициент трения резины о почву; φ – коэффициент сцепления.

Таким образом, оптимальное расстояние между шинами должно меняться в зависимости от свойств грунта.

При сдваивании шин имеется также и ряд других негативных явлений, в

частности, повышенное сопротивление повороту. Рассмотренная проблема маневренности трактора приобретает особенное значение при увеличении мощности и габаритов, поскольку неминуемо увеличивается минимально возможный радиус поворота и, соответственно, площадь зоны, необходимой для разворота. При небольших площадях полей, характерных для Беларуси, велика доля времени, затрачиваемого на выполнение вспомогательных операций (например, разворот в конце гона). На них уходит до 40 % всего рабочего времени. К тому же 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. Превышение величины контактного давления по отношению к давлению воздуха в шине объясняется влиянием жесткости оболочки. 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. Поддержание оптимальной деформации шины независимо от нагрузки на колесо способствует более равномерному распределению давления на почву, снижает величину максимального давления, а следовательно, и глубину погружения колеса в почву. 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. Установка системы ЦНШ незначительно увеличивает вес машины и ее стоимость. Значительная радиальная эластичность шин и большой объем воздуха позволяет отказаться от упругих элементов подвески.

Описание процесса взаимодействия движителя с опорной поверхностью

Решение вопроса усовершенствования трактора с учетом обеспечения допустимого воздействия на почву связано с исследованием процесса взаимодействия движителя с опорной поверхностью. Взаимодействию колеса с опорной поверхностью посвящены работы отечественных и зарубежных авторов. При решении вопросов взаимодействия пневматического колеса с деформируемой опорной поверхностью необходимо проведение глубокого исследования ее напряженно-деформированного состояния.

В [11, 12] почва рассматривается как среда, при взаимодействии с которой реализуется сила тяги движителем. А. М. Кононов и другие авторы указывают, что при проектировании сельскохозяйственных машин необходимо учитывать и агробиологию. Кроме того, тяговые испытания дают только конечный результат, между тем раскрытие механизма внутренних процессов, происходящих в деформируемом массиве, имеет большое значение.

В экспериментально-теоретических исследованиях взаимодействия эластичных колес с деформирующимися 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. Для описания распределения нагрузки в остальных зонах контакта применяют известные математические выражения, дающие результаты, достаточно близкие к экспериментальным. С использованием этих выражений составляют уравнения равновесия реакции грунта и сил, приложенных к оси колеса. Такой подход позволяет упростить

методы расчета, но снижает возможности для проведения глубокого анализа.

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, оказывающих низкое давление на почву, возможно применение методов теории упругости в точной постановке.

2. Существующие теории взаимодействия пневматических движителей с деформирующейся опорной поверхностью являются частными случаями, применимыми для отдельных типов движителей каждая. 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 вышеназванные 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 глубину 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ким, Ю. А.** Повышение эксплуатационных качеств самоходных машин для внесения удобрений путем регулирования давления в шинах колес (на примере МВУ-30) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – 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 // Тр. Почвенного ин-та 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. дис. ... д-ра техн. наук. – 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. **Ксеневиц, И. П.** Проектирование универсально-пропашных тракторов / И. П. Ксеневиц, 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. дис. ... канд. техн. наук. – Минск : 1972. – 21 с.

Белорусский национальный технический университет
Материал поступил 05.03.2008

Yu. A. Kim, P. V. Zelyony, I. V. Franskevitch
The influence of wheeled mover design factors
on the change of physical and mechanical properties
of soil and tractor propulsion qualities

This paper is devoted to the effect of wheeled tractor running systems on soil and the algorithm describing the process of interaction of the mover with the supporting surface. The influence of the sealing effect of running systems and the ways of its lowering are described in the paper.