

Заключение

Республика Беларусь характеризуется достаточно высокими показателями продуктивности аграрной отрасли. Создана устойчивая база ее дальнейшего развития. Основа этого процесса – инновационные технологии, реализуемые посредством высокоэффективных технических средств.

Материальные ресурсы, научные разработки и аграрная политика государства позволяют белорусскому агропромышленному комплексу в ближайшей перспективе выйти на уровень развитых европейских

стран с учетом индекса потенциала отечественных природных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кукреш, Л.В. Об использовании зарубежного опыта в АПК Беларуси/ Л.В. Кукреш// Белорусское сельское хозяйство, 2010. – №9. – С. 4-8.
2. Государственная программа возрождения и развития села на 2005- 2010 гг. – Минск: "Беларусь", 2005. – 96 с.

УДК 631.3.012

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 27.10.2010

УПЛОТНЕНИЕ ПОЧВ ХОДОВЫМИ СИСТЕМАМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Г.И. Гедроить, канд. техн. наук (БГАТУ)

Аннотация

В статье приведены результаты полевых исследований воздействия на почву агрегатов с машинами большой грузоподъемности. Проанализировано влияние максимального давления шин на почву при изменении давления в широком диапазоне.

The article cites the results of field research studying the effects of aggregates with heavy payload machines on the soil. The influence of maximum tire pressure on the soil while changing the pressure in a wide range is analyzed.

Введение

Использование тракторов и сельскохозяйственных машин на полевых работах по современным технологиям связано с проблемой отрицательного воздействия их ходовых систем на почву. Для количественной оценки результата названного воздействия наиболее распространены в различных сочетаниях такие показатели как плотность, твердость, пористость, структурный состав почвы, сопротивление почвы обработке, глубина следа, качество выполнения последующих операций, урожайность сельскохозяйственных культур. Последняя является комплексным показателем. По обобщенным данным, из-за переуплотнения почв ходовыми системами сельскохозяйственных тракторов и машин теряется 5-30% урожайности сельскохозяйственных культур [1-3].

Чаще других в полевых опытах для оценки воздействия ходовых систем используется плотность почвы. По мнению И.Б. Ревута, плотность следует рассматривать как первичный элемент всей физики почв и жизни растений [4]. Именно от плотности почв зависит водный, воздушный, а часто и температурный режим последней и связанные с ним условия развития микробиологической деятельности и образования, доступных для растений питательных веществ в почве. При наличии данных по плотности почв, несложно определить другую важную характеристику – пористость почвы [2].

Плотность почвы изменяется во времени. Процесс самоуплотнения почвы зависит от структуры почвы, количества осадков, типа обработки и качества ее выполнения. При достижении определенной плотности процесс самоуплотнения практически прекращается. Эта плотность называется равновесной. Наиболее высокой равновесной плотности достигают дерново-подзолистые почвы и сероземы. Естественное уплотнение таких почв может происходить до 1500...1600 кг/м³, черноземов до 1300 кг/м³. В то же время диапазон оптимальных значений плотности почвы для разных культур и условий ограничен пределами 1000...1400 кг/м³ [1, 3]. Следовательно, в большинстве случаев для оптимального развития сельскохозяйственных культур необходимо снижать равновесную плотность, что достигается путем рыхления. А так как ходовые системы уплотняют почву дополнительно, то, по мнению профессора В.А. Скотникова [1], уже этот факт свидетельствует об отрицательном воздействии ходовых систем на почву.

Основная часть

Исследования по изучению воздействия на почву ходовых систем выполнены преимущественно применительно к тракторам, интенсивно использовавшимся в сельском хозяйстве в семидесятые – девяностые годы прошлого столетия. Отмечается большее негативное влияние ходовых систем колесных тракторов Т-150К, К-701. В меньшей степени влияют ко-

лесные тракторы типа МТЗ-80, гусеничные. Давление воздуха в шинах указанных тракторов в зависимости от условий эксплуатации и нормальной нагрузки на колеса изменяется преимущественно в пределах 100...170 кПа. В то же время в сельском хозяйстве эксплуатируется ряд машин, оснащенных шинами с давлением воздуха 250... 370 кПа. Это прицепы, машины для внесения органических и минеральных удобрений, транспортировщики рулонов, картофелеуборочная техника, комбинированные почвообрабатывающие агрегаты и другие.

Давление воздуха в шине является важным ее параметром. Для каждой шины существует ряд нормальных нагрузок и соответствующих им давлений воздуха. Косвенно, по значению давления воздуха в шине можно судить о стандартных показателях воздействия ходовых систем на почву. Чем ниже допускается давление воздуха в шинах, тем ниже будут эти показатели при прочих равных условиях.

В настоящее время в качестве стандартных нормируемых показателей уровня воздействия ходовых систем на почву приняты максимальные давления движителя на почву и нормальные напряжения в почве на глубине 0,5 м [5]. Основой для расчета указанных показателей являются нормальная нагрузка на колесо и параметры пятна контакта шины на жестком основании. Среднее условное давление шин на жесткое основание обычно несколько выше давления воздуха в шинах. Однако для некоторых широкопрофильных и арочных шин оно может быть ниже давления воздуха в шине [6], а для передних колес тракторов «Беларус», в отдельных случаях, в два и более раз превышать это давление [7]. Такие отклонения связаны с особенностями конструкции протекторной части шины, характером ее деформирования, жесткостью каркаса и принятой методикой определения параметров контакта шины с жестким основанием.

Длительное время для сельскохозяйственных машин с большими нормальными нагрузками на хо-

довую систему применяется шина 16,5/70-18 мод. КФ-97. Максимальная нагрузка на шину 32 кН при давлении воздуха в шине 370 кПа. В настоящее время она применяется на машинах для внесения органических удобрений ПРТ-7А, МЖТ-Ф-8, МЖТ-Ф-11, прицепах ПСТБ-12, ПСТБ-17, картофелеуборочной технике и др. В то же время создан ряд машин с шинами пониженного давления на почву. Это машины для внесения органических удобрений МТУ-20, МТУ-15, МЖУ-16, машина для внесения минеральных удобрений РУ-7000, прицеп ППТС-40. Такие машины, аналогичные им зарубежные образцы и другие машины большой массы и грузоподъемности экспонируются в последние годы на выставке «Белагро». Машины оснащаются в основном шинами с давлением воздуха 200...240 кПа. Из отечественных – это шины 22,0/70-20 мод. Ф-118, 24,0/50-22,5 мод. Бел-91.

Одновременно со снижением давления на почву увеличивается масса и грузоподъемность машин. Это оправдано для снижения приведенных затрат и загрузки агрегируемого трактора, т.к. по исследованиям автора, коэффициент сопротивления качению машин на таких шинах в полевых условиях в 1,05...1,85 раза ниже, чем машин на шинах мод. КФ-97.

Для оценки воздействия на почву ходовых систем агрегатов с машинами большой грузоподъемности выполнены полевые исследования (табл.1). Образцы для исследований были созданы на базе машин для внесения органических удобрений. Машины РЖТ-16, МЖТ-10 оснащены шинами 16,5/70-18 мод. КФ-97 (далее – стандартные машины), машины МЖТ-13, МЖТ-19 – шинами 22,0/70-20 мод. Ф-118, машины МЖТ-13А, МЖТ-8А соответственно, арочными шинами 1140х700 мод. Я-170А и 1140х600 мод. Я-404 (далее – машины с пониженным давлением). Все машины, агрегируемые трактором К-701, шестиколесные (балансирная и подкатная тележки), трактором Т-150К – четырехколесные (балансирная тележка). Другие параметры исследованных агрегатов приведены в табл.1, а характеристики шин в источни-

Таблица 1. Воздействие на почву ходовых систем машинно-тракторных агрегатов

Вариант	Масса машины, кг	Нагрузка на ходовую систему, кН	Давление воздуха в шинах, кПа	Максимальное давление на почву, кПа	Плотность почвы по слоям, кг/м ³			Глубина следа, мм
					0...100, мм	100...200, мм	200...300, мм	
Зябрь, средний суглинок, влажность 15,7% (участок №1)								
Контроль					1335	1371	1418	
К-701+РЖТ-16	22200	205,0	370	453	1618	1580	1565	130
К-701+РЖТ-16А	22650	211,5	250	266	1593	1541	1568	110
Т-150К+МЖТ-13	18500	167,0	200	268	1574	1549	1561	100
Т-150К+МЖТ-13А	18500	167,0	200	256	1572	1539	1573	105
Т-150К	8150	99,5	110	165	1491	1503	1549	70
К-701	13500	150,0	110	168	1498	1508	1560	72
НСР ₀₅					24	28	27	7
Прокультивированная зябрь, связанная супесь, влажность 12,9% (участок №2)								
Контроль					1300	1442	1565	
Т-150К+МЖТ-10	14570	128,2	370	448	1693	1675	1623	115

Продолжение таблицы 1.

Вариант	Масса машины, кг	Нагрузка на ходовую систему, кН	Давление воздуха в шинах, кПа	Максимальное давление на почву, кПа	Плотность почвы по слоям, кг/м ³			Глубина следа, мм
					0...100, мм	100...200, мм	200...300, мм	
Т-150К+МЖТ-13	18730	169,0	210	277	1648	1642	1612	99
Т-150К+МЖТ-8А	12330	108,4	150	190	1620	1626	1591	95
Т-150К	8060	95,5	120	174	1522	1582	1588	81
НСР ₀₅					44	32	49	7
Прокультивированная зябь, рыхлая супесь, влажность 7% (участок №3)								
Контроль					1300	1470		
Т-150К+РЖТ-16	21600	199,5	370	451	1573	1549		119
Т-150К+МЖТ-19	26540	249,2	210	277	1556	1519		89
К-701	13200	148,2	120	173	1524	1507		78
НСР ₀₅					30	46		6

ке [6]. Максимальное давление ходовых систем на почву определялось по методике [8].

Снижение давления ходовых систем машин позволило уменьшить плотность почвы в следах агрегатов. Так, на участке №1 значение плотности почвы в слое 0...100 мм по следу машин с пониженным давлением снизилось на 25...46 кг/м³, а на участке №2 по следу агрегата Т-150К+МЖТ-13 – на 45 кг/м³ и по следу агрегата Т-150К+МЖТ-8А на 73 кг/м³. В последнем варианте были обеспечены наиболее низкие максимальное давление в контакте и нагрузка на ходовую систему. Аналогичные данные получены на участках № 1, 2 и в слое почвы 100...200мм, хотя прирост плотности почвы меньше. На рыхлой супеси (участок №3) прирост плотности почвы в пахотном слое после агрегата К-701+МЖТ-19 ниже, чем по следу агрегата К-701+РЖТ-16 на 17...30 кг/м³.

В слое почвы 200...300 мм снижение давления на почву ходовых систем не дало ожидаемого эффекта. По отношению к контролю на участке №1 плотность почвы увеличилась в разных вариантах на 143...155 кг/м³, на участке №2 – на 47...58 кг/м³. Между вариантами различия статистически незначимы.

Сравнение агрегатов с машинами МЖТ-13 и МЖТ-13А (участок №1) показывает, что разница значений плотности почвы и глубины следа между ними статистически незначима. Незначительно отличаются и значения давлений на почву. При этом диаметр и ширина профиля шин у первой машины составляют соответственно 1320 мм и 560 мм, а у второй – 1160 мм и 710 мм. Естественно, что в последнем случае ширина следов больше и это говорит в пользу снижения давления на почву путем увеличения диаметра шин. Однако для исследованных машин и других прицепов увеличение этого параметра ограничено из-за повышения их центра тяжести.

Обобщение результатов эксперимента показывает, что снижение максимального давления ходовых систем большегрузных машин на почву с 450 кПа до 190...270 кПа позволяет снизить прирост плотности в пахотном слое (0...200 мм) на 12...22%. В более глу-

боких слоях достоверные результаты снижения уплотнения не получены.

После проходов агрегатов с машинами пониженного давления на почву отмечено значительное уменьшение глубины следов по сравнению со стандартными агрегатами. На среднем суглинке (участок №1) глубина следов уменьшилась в 1,18...1,30 раз, на прокультивированной супеси (участок №2) – в 1,16 раз, на рыхлой супеси (участок №3) – в 1,34 раза.

Отметим высокие абсолютные значения плотности почвы в следах, которые составляют для стандартных агрегатов 1549...1693 кг/м³, а для агрегатов с пониженным давлением на почву – 1519...1648 кг/м³. Во всех вариантах влияние агрегатов на почву больше, чем агрегируемых тракторов.

Небольшая разница плотности почвы между вариантами при снижении давления ходовых систем машин на почву в 1,6...2,3 раза объясняется в первую очередь нелинейностью зависимости давление – деформация (рис.1, 2).

При увеличении давления p , действующего на образец супесчаной почвы из слоя 0...100 мм от 0 до 150 кПа, относительная деформация ε этого образца составила 0,15, а при дальнейшем увеличении давления от 150 до 300 кПа увеличилась только на 0,03 (рис.1). Аналогичные закономерности получены и для других слоев почвы. Уменьшение интенсивности роста деформации рыхлой супеси от давления выражено в большей степени (рис.2).

Приведенные графики построены по результатам компрессионных испытаний образцов почвы в приборе одноосного сжатия. При качении колеса условия деформации почвы в массиве будут другими. Существенное влияние при этом может оказывать боковое и продольное смещение почвы. Можно предположить, что результаты исследований на рыхлой супеси связаны, в основном, с влиянием этого фактора (табл.1). Получено, что глубина следа после агрегата К-701+МЖТ-19 значительно меньше глубины следа после агрегата К-701+РЖТ-16 (на 30 мм), однако значения плотности почвы в слое 0...200 мм различаются

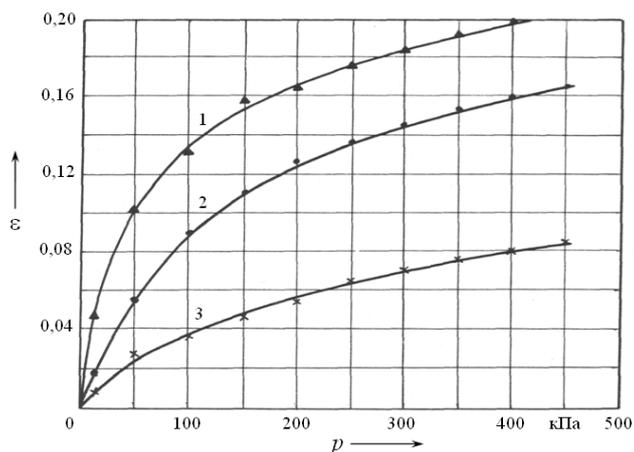


Рисунок 1. Изменения относительной деформации связанной супеси (участок № 2) при одноосном сжатии:
1 – слой 0...100 мм; 2 – слой 100...200 мм;
3 – слой 200...300 мм

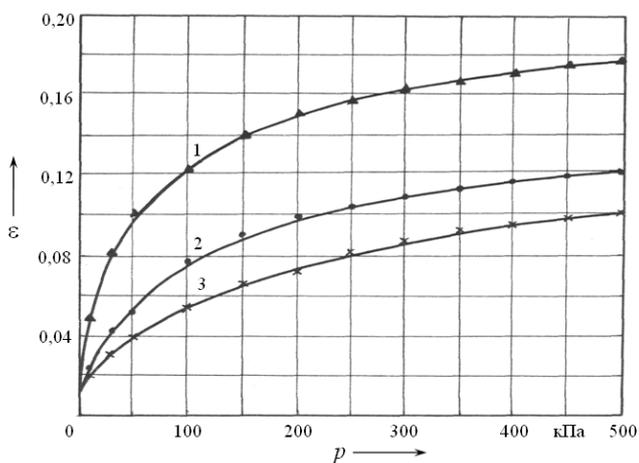


Рисунок 2. Изменения относительной деформации рыхлой супеси (участок № 3) при одноосном сжатии:
1 – слой 0...100 мм; 2 – слой 100...200 мм;
3 – слой 200...300 мм

ся только на $0,23 \text{ кг/м}^3$. Причем разница по слоям статистически незначима. Следовательно, отмеченное различие глубины следа возможно только из-за больших боковых сдвигов почвы под шинами 16,5/70-18 мод. КФ-97, имеющими, примерно, в два раза меньшую площадь пятна контакта, чем шины 22,0/70-20 мод. Ф-118.

В связи с тем, что снижение максимальных давлений ходовых систем на почву до уровня 190 кПа не решает проблему уплотнения почвы, проведены исследования воздействия на почву шин с более низким давлением. Опыты выполнялись на установке с единственным колесным узлом. В качестве объекта исследований принята шина 22,0/70-20, мод. Ф-118. Реализована матрица ортогонального центрального композиционного плана 2^3 .

Изменяли максимальное давление шины на почву (q_k) и количество проходов колеса по одному следу (n). Верхний уровень максимального давления на почву принят исходя из достигнутого на исследованных машинах, нижний – исходя из обеспечения допустимого давления на почву [5]. Количество проходов колеса изменялось от одного до пяти.

Исследования проведены по зяби на легкосуглинистой дерново-подзолистой почве влажностью 21% и плотностью 1301 кг/м^3 , 1339 кг/м^3 , 1431 кг/м^3 соответственно, в слоях 0...100 мм, 100...200 мм, 200...300 мм (табл.2).

Таблица 2. Влияние на почву максимального давления шин и количества проходов колеса

Опыт	Факторы		Плотность почвы в слое 0...200 мм, кг/м^3	Глубина следа, мм
	q_k , МПа	n		
1	0,09	5	1417	46
2	0,15	5	1507	65
3	0,21	5	1547	98
4	0,09	3	1404	42
5	0,15	3	1489	63
6	0,21	3	1537	93
7	0,09	1	1381	37
8	0,15	1	1470	58
9	0,21	1	1503	84

Уравнения регрессии для определения плотности почвы в пахотном слое (Y_1) и глубины следа (Y_2) в зависимости от максимального давления на почву (X_1) и количества проходов колеса (X_2) имеют вид:

$$Y_1 = 1493 + 64,2X_1 + 19,5X_2 - 23,8X_1^2 - 5,8X_2^2 + 2X_1X_2;$$

$$Y_2 = 62,9 + 25X_1 + 5X_2 + 4,67X_1^2 - 1,33X_2^2 + 1,25X_1X_2.$$

После оценки значимости коэффициентов регрессии и раскодирования получаем

$$\rho = 1154 + 3053q_k + 9,75n - 6610q_k^2;$$

$$h = 22,1 + 27,7q_k + 2,5n - 1297,2q_k^2,$$

где ρ – плотность почвы в слое 0...200 мм, кг/м^3 ;

h – глубина следа, мм.

Графическое изображение изменения плотности почвы и глубины следа в зависимости от максимального давления шин на почву показано соответственно на рис. 3, 4.

Видно, что в области эксперимента нет экстремальных точек. Кривые изменения плотности почвы выпуклые. Кривые изменения глубины следа вогнутые. Это подтверждает высказанные ранее предположения о преимущественном уплотнении почв на первой стадии деформации. В дальнейшем уплотнение почвы замедляется, и в большей степени проявляются сдвиговые деформации. Поэтому, несмотря на увеличение интенсивности роста общей деформации почвы

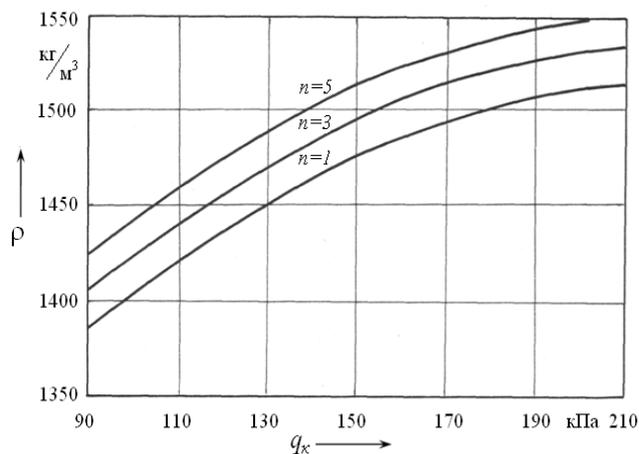


Рисунок 3. Зависимость плотности почвы ρ от максимального давления колес на почву q_k при разном количестве проходов колес по одному следу n

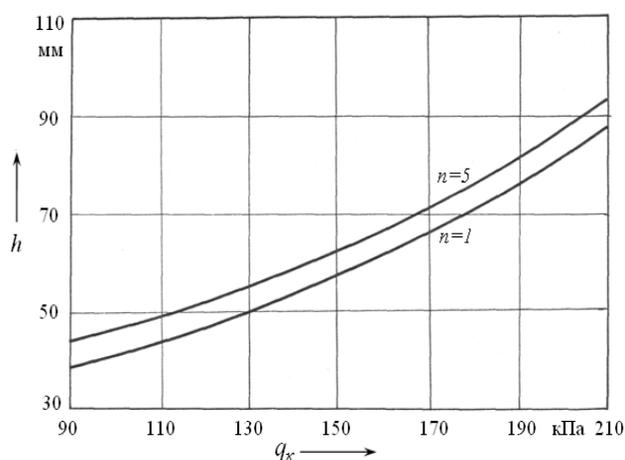


Рисунок 4. Зависимость глубины следа h от максимального давления колес на почву q_k при разном количестве проходов колес по одному следу n

(глубины следа), интенсивность прироста плотности почвы замедляется. Характер графиков при разном количестве проходов колеса идентичен.

Количественная оценка результатов опытов показывает, что при уменьшении максимального давления шин на почву с 210 до 90 кПа плотность почвы снизилась на 122...137 кг/м³, глубина следа на 47...52 мм или в 2,1...2,3 раза. Из сравнения полученных данных и результатов исследования агрегатов (табл.1) видно, что интенсивность уменьшения плотности почвы при снижении максимального давления на почву в интервале 210...90 кПа в среднем в 3,3 раза выше, чем при его изменении в интервале 450...190 кПа. Интенсивность уменьшения глубины следа при этом выше в 2,2 раза. При максимальном давлении на почву 90 кПа, что соответствует нормам для исследуемой шины и почвенных условий [5], значение плотности почвы в следах составляет 1381...1417 кг/м³, глубины следа –

37...46 мм. Это значительно ниже, чем после исследованных агрегатов.

Заключение

Выполненные исследования и проведенный анализ показывают, что применение на тяжелых сельскохозяйственных машинах шин с давлением воздуха 200 кПа вместо шин с давлением воздуха 370 кПа способствует улучшению показателей воздействия ходовых систем на почву, но не решает проблему переуплотнения дерново-подзолистых почв. Прирост плотности почвы в пахотном слое по следам агрегатов в разных почвенных условиях снижается на 12...22%, глубина следов – в 1,16...1,34. Значения плотности почвы остаются высокими и составляют 1519...1648 кг/м³.

Интенсивность уменьшения плотности почвы при снижении максимального давления на почву в интервале 210...90 кПа в среднем в 3,3 раза выше, чем при его изменении в интервале 450...190 кПа. Интенсивность уменьшения глубины следа при этом выше в 2,2 раза. Обеспечение норм допустимого давления ходовых систем на почву для легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы влажностью 21% обеспечивает снижение глубины следов до 37...46 мм и плотности почвы в следах до 1381...1417 кг/м³.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скотников, В.А. Проймимость машин/ В.А. Скотников, А.В. Пономарев, А.В. Климанов. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 328с.
2. Орда, А.Н. Сопротивление почв/ А.Н. Орда. – Мн.: БГАТУ, 2002. – 94 с.
3. Русанов, В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения / В.А. Русанов. – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.
4. Ревут, И.Б. Физика почв/ И.Б. Ревут. – Л.: Колос, 1972. – 368 с.
5. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву: ГОСТ 26955-86. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 7 с.
6. Гедроить, Г.И. Опорные свойства шин для сельскохозяйственной техники / Г.И. Гедроить //Агропанорама. – 2009. – № 4. – С. 23-27.
7. Бойков, В.П. Шины для тракторов и сельскохозяйственных машин/ В.П.Бойков, В.П. Белковский. – М.: Агропромиздат, 1988. – 240 с.
8. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву: ГОСТ 26953-86. – М. Изд-во стандартов, 1986. – 11 с.