

ФОРМИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ТЯГОВЫХ АГРЕГАТОВ СО СНИЖЕННЫМ УРОВНЕМ УПЛОТНЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЧВУ

Н.Н. Романюк,

ректор БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.Н. Орда,

профессор каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В.А. Шкляревич,

ст. преподаватель каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ

Н.Л. Ракова,

доцент каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Ж.И. Пантелеева,

доцент каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ, канд. физ.-мат. наук, доцент

А.С. Воробей,

докторант РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук, доцент

Обоснованы пути формирования машинно-тракторных агрегатов, учитывающих тип и состояние почвенного агрофона. Рассмотрено влияние типа почвенного агрофона на глубину следа, уплотнение почвы и распределение плотности почвы по глубине при воздействии ходовых систем тракторов. Приведены рекомендации по формированию транспортно-тяговых агрегатов при работе на почвах различных агрофонов.

Ключевые слова: почва, плотность, напряжение, ходовая система, колесо, гусеница, агрегат, деформирование.

The ways of forming machine-tractor units that take into account the type and condition of the soil agro-background are substantiated. The influence of the type of soil agro-background on the depth of the track, soil compaction, and the distribution of soil density by depth under the influence of tractor running systems is examined. Recommendations for forming transport and traction units when working on soils of various agro-backgrounds are provided.

Keywords: soil, density, stress, running system, wheel, track, unit, deformation.

Введение

Из-за чрезмерного уплотняющего воздействия ходовых систем машинно-тракторных агрегатов (МТА) на почву снижается урожайность сельскохозяйственных культур. Так, урожайность зерновых в следах тракторов снижается на 10...15 %, а корнеклубнеплодов – на 20...30 % [1-6].

Установлено, что повышение плотности почвы, вызванное воздействием движителей тракторов и сельскохозяйственных машин, приводит к увеличению твердости почвы в 2...3 раза. Удельное сопротивление при обработке пахотного слоя после прохода тракторов повышается на 15...65 %, а транспортных средств и комбайнов – на 60...90 % [7, 8].

Целью работы является обоснование путей улучшения приспособляемости ходовых систем машинно-тракторных агрегатов к различным почвенным агрофонам.

Основная часть

Для решения проблемы уплотнения почвы ходовыми системами известны три основных направления:

- 1) технологическое (совершенствование технологии выращивания сельскохозяйственных культур);
- 2) агрономическое (повышение способности почв противостоять уплотняющим нагрузкам);
- 3) конструкторское (совершенствование конструкций ходовых систем МТА) [8, 9].

Помимо радикальных средств снижения давления на почву, заключающихся в создании принципиально новых типов ходовых систем, значительного эффекта снижения уплотнения почвы можно добиться путем формирования машинно-тракторных агрегатов, учитывающих тип и состояние почвенного агрофона.

Для обоснования зависимости уплотнения почвы в различных режимах нагружения воспользуемся следующими зависимостями между напряжением сжатия и осадкой штампа:

$$\sigma = k \cdot h, \quad (1)$$

$$\sigma = c' \cdot h^{\mu}, \quad (2)$$

$$\sigma = p_0 \left(1 - e^{-h/k'}\right), \quad (3)$$

$$\sigma = p_0 \cdot th \left(\frac{k}{p_0} \cdot h \right), \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{p_0}{1 + c'' \cdot e^{-c_1 p_0 h}}, \quad (5)$$

$$\sigma = p_0 \left[th \frac{E_{\max}}{p_0} (\varepsilon' - \varepsilon_s) + th \frac{E_{\max}}{p_0} \varepsilon_s \right], \quad (6)$$

$$\sigma = \frac{p_0}{1 + 1 / (c'' \cdot h_b)}, \quad (7)$$

где k – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м³;

h – осадка штампа, м;

c' – коэффициент пропорциональности деформируемости почвы, Н/м³;

μ – показатель степени деформируемости почвы;

$\varepsilon = h / D_{\text{ш}}$ – относительная деформация;

$D_{\text{ш}}$ – диаметр штампа, м;

p_0 – предел несущей способности почвы, Па;

k' – константа деформируемости почвы, м;

c_1 – степенной показатель, характеризующий деформируемость почвы, м/Н;

$E_{\max}$ – максимальный модуль деформации почвы, Па;

$\varepsilon' = h / h_{\Sigma}$ – относительная осадка почвы;

h_{Σ} – высота деформируемого слоя почвы, м;

c'' – параметр, характеризующий деформируемость почвы;

ε_s – относительная деформация почвы, соответствующая точке перегиба кривой деформирования.

К недостаткам линейной (1) и степенной (2) функций следует отнести то, что в них не отражена физическая сущность деформации почвы. Линейная зависимость приводит к якобы непрерывному и беспредельному росту сопротивления сжатию с увеличением деформации. Степенная функция имеет, с одной стороны, тот же недостаток, с другой – приводит к маловероятному выводу о бесконечно большой интенсивности нарастания напряжения в начале процесса сжатия [10].

Теоретически более обоснована формула (3), предложенная С.С. Корчуновым, однако ее можно получить из преобразований зависимости (4), предложенной В.В. Кацыгиным [11], которая получена в результате более общего предположения о характере изменения свойств почвы при деформации.

Зависимость (5), предложенная Г.И. Покровским, имеет вид S-образной кривой. Анализ показал, что эта кривая симметрична относительно точки перегиба [10].

Д.И. Золоторевская, проанализировав особенности зависимостей (4) и (5), предложила формулу (6),

основанную на функции гиперболического тангенса. Зависимость (7), предложенная В.В. Кацыгиным и А.Н. Ордой [10], является несимметричной относительно точки перегиба.

При сжатии почвы в жесткой обойме (компрессионном сжатии) зависимость между напряжением и осадкой штампа имеет вогнутый характер. При неограниченном увеличении напряжения деформация почвы имеет определенный предел. Зависимость между напряжением и деформацией при сжатии образца с возможностью бокового выпирания описывается выпуклой кривой. Выпуклый характер кривой деформации почвы подтвержден экспериментально.

При вдавливании штампа в массив почвы одновременно происходят процессы сжатия почвы и сдвига ее в стороны от вертикальной оси. Поэтому кривая вдавливания имеет сложный вогнуто-выпуклый характер (рис. 1) [10].

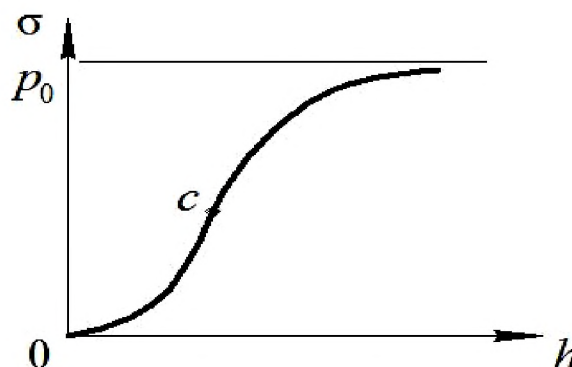


Рисунок 1. Сопротивление почвы при вдавливании штампа в почвенный массив

Зависимости (5) и (6) имеют вогнуто-выпуклый характер и являются симметричными относительно точки перегиба. Зависимость (7) имеет более общий характер, так как является несимметричной относительно точки перегиба.

Частные случаи почвенного массива (стерня, почва, подготовленная под посев) имеют более простой вид: выпуклый или вогнутый характер зависимостей между напряжением и осадкой.

Для рыхлой почвы, подстилаемой прочным основанием (почва, подготовленная под посев), предложена следующая зависимость между сопротивлением и осадкой (рис. 2) [10]:

$$\sigma = \frac{a}{b} \cdot tg(a \cdot b \cdot h), \quad (8)$$

$$\text{где } a = \sqrt{k_0};$$

$$b = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{h_{\text{упл}} \sqrt{k_0}};$$

$$h_{\text{упл}} = H \cdot \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_{\min}}{(1 + \varepsilon_0)[1 - 2 \cdot v(1 + \varepsilon_{\min})]},$$

где $h_{\text{упл}}$ – предельная величина деформации, м;
 H – высота пахотного слоя, м;

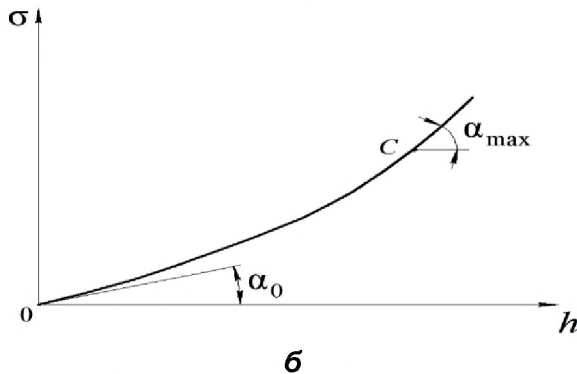
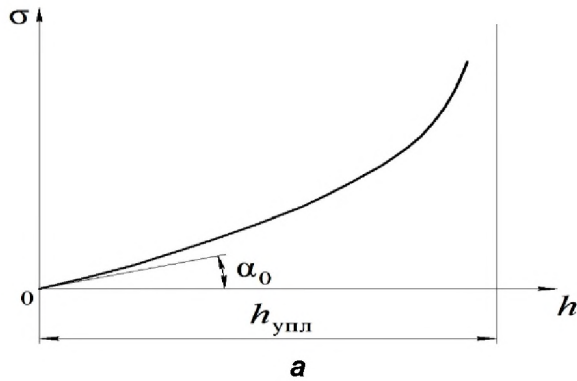


Рисунок 2. Зависимость между сопротивлением и осадкой для почвы, подготовленной под посев:
а – недеформируемое подстилаемое основание;
б – деформируемое подстилаемое основание

ε_0 – коэффициент пористости почвы до нагружения;

$\varepsilon_{\min}$ – минимально возможный коэффициент пористости почвы;

ν – коэффициент бокового расширения почвы для случая деформирования с ограниченной возможностью расширения.

Осадка штампа после n нагружений для почв с плотным подстилаемым основанием имеет вид [12]:

$$h_n = \frac{1}{a \cdot b} \arccos(d \cdot n^{-B_1}), \quad (9)$$

где B_1 – коэффициент накопления повторных осадок для почв с плотным подстилаемым основанием.

Значение коэффициента d найдем из условия, что величина деформации при первом нагружении определяется по зависимости (8).

Зависимость (9) при первом нагружении принимает вид:

$$h_1 = \frac{1}{a \cdot b} \arccos d, \quad (10)$$

Из зависимостей (8) и (10) после преобразования обратных тригонометрических функций получено, что

$$d = \frac{1}{\sqrt{1 + (b^2 / a^2) \cdot \sigma^2}}.$$

С учетом найденного значения коэффициента d зависимость (9) накопления повторных осадок почв с плотным подстилаемым основанием примет вид:

$$h_n = \frac{1}{a \cdot b} \arccos \left(\frac{n^{-B_1}}{\sqrt{1 + (b^2 / a^2) \cdot \sigma^2}} \right). \quad (11)$$

Значение коэффициента b в формулах (8) и (9) определялось на основе предположения о недеформируемости подстилаемого основания.

В случае деформируемости подстилаемого слоя (рис. 2б) следует учитывать осадку подстилаемого основания.

Зависимость между сопротивлением почвы и осадкой примет вид (рис. 3).

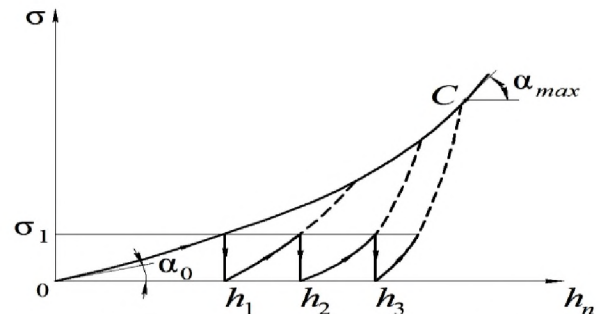


Рисунок 3. Закономерность накопления повторных осадок для слабоупрочняющейся почвы, подготовленной под посев

Величина осадки почвы после n нагружений определится из следующих зависимостей:

$$h_n = \frac{1}{a \cdot b_1} (1 + k_u \cdot \lg n) \cdot \arctg \left(\frac{b_1}{a} \cdot \sigma \right), \quad (12)$$

b_1 определяется по формуле [10]:

$$b_1 = \frac{1}{\sqrt{k_0} \cdot h_{упл}} \cdot \arccos \sqrt{\frac{k_0}{k_{\max}}}.$$

Глубина следа при повторных нагружениях для слабоупрочняющихся почв (рис. 4) подчиняется зависимости [13]:

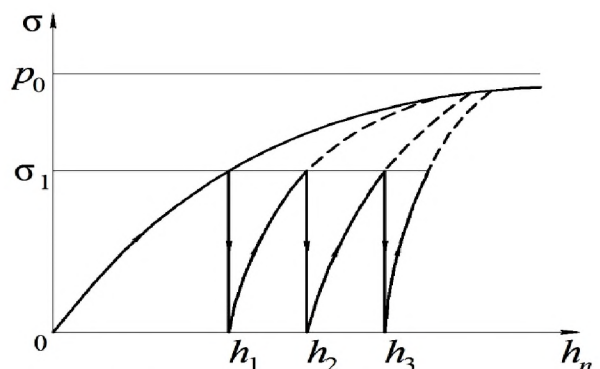


Рисунок 4. Закономерность накопления повторных осадок для слабоупрочняющейся почвы

$$h_n = \frac{P_0}{k} (1 + k_u \cdot \lg n) \cdot \operatorname{arth} \left(\frac{\sigma}{P_0} \right), \quad (13)$$

где k_u – коэффициент интенсивности накопления повторных осадков для слабоупрочняющихся почв;

n – число нагружений, шт.

Зависимость между напряжением и повторными деформациями описывается кусочно-непрерывной функцией. Функция $\sigma = f(h)$ при каждом повторном нагружении подчиняется зависимости гиперболического тангенса. Рассмотрим, чему равны при этом константы p_0 и k . Сопротивление почвы при повторных нагружениях увеличивается по сравнению с первым приложением нагрузки. Коэффициент объемного смятия при этом возрастает.

Увеличение сопротивления в начальный период каждого повторного нагружения будем учитывать изменением коэффициента объемного смятия, который зависит от характера протекания процесса деформации в начальный период. Назовем его условным коэффициентом объемного смятия при n -м нагружении (k_{yn}). Тогда зависимость между напряжением и деформацией при n -м нагружении запишется следующим образом [13]:

$$\sigma_n = p_0 \cdot \operatorname{th} \left(\frac{k_{yn}}{p_0} \Delta h_n \right),$$

где Δh_n – приращение осадки при n -м цикле, м.

Напряжение σ_n в конце каждого цикла нагружения равно напряжению σ_1 , развиваемому в конце первого цикла. Исходя из этого найдем условный коэффициент объемного смятия

$$k_{yn} = \frac{p_0}{\Delta h_n} \operatorname{arth} \left(\frac{\sigma_1}{p_0} \right). \quad (14)$$

Приращение осадки при n -м приложении нагрузки найдем из уравнения (9)

$$\Delta h_n = k_u \cdot \lg \frac{n}{n-1} \cdot \frac{p_0}{k} \operatorname{arth} \left(\frac{\sigma_1}{p_0} \right).$$

Зависимость между напряжением и деформацией при n -м нагружении примет вид:

$$\sigma_n = p_0 \cdot \operatorname{th} \left(\frac{k}{p_0} \cdot \frac{1}{k_u \cdot \lg(n/(n-1))} \cdot \Delta h_n \right).$$

Зависимость накопления повторных осадков для связных почв с одинаковыми по глубине свойствами (рис. 5) имеет вид:

$$h_n = \frac{p_0}{k} \cdot \operatorname{arch} \left(\frac{n^B}{\sqrt{1 - \sigma^2 / p^2}} \right), \quad (15)$$

где B – коэффициент накопления повторных осадков связных почв.

При расчете уплотнения почвы применим энергетический метод, учитывающий влияние поглощенной энергии на изменения плотности почвы. В результате анализа поглощения энергии в почвенном массиве получено следующее уравнение распределения напряжений по глубине [14]:

$$\sigma_x = \sigma_0 \cdot e^{-\beta \cdot x}, \quad (16)$$

где σ_x – напряжение в почве на глубине x , Па;

σ_0 – напряжение в контакте деформатора с почвой, Па;

β – коэффициент распределения напряжений, м^{-1} .

Зависимость распределения плотности почвы по глубине имеет вид [14, 15]:

$$\rho_x = \rho_{\Pi} \left(1 + \frac{\beta}{k} \sigma_0 \cdot e^{-\beta \cdot x} \right), \quad (17)$$

где ρ_x – плотность почвы на глубине x , кг/м^3 ;

ρ_{Π} – исходная плотность почвы, кг/м^3 .

Зависимость (17) получена исходя из предположения, что распределение напряжений и плотности почвы по глубине не зависит от величины давления.

При проходе по одному следу колес с одинаковой нагрузкой происходит дополнительное уплотнение почвы после прохода каждого колеса. Величина уплотнения верхнего слоя связной почвы при повторных нагружениях равна [14, 15]

$$\left(\frac{\rho_0}{\rho_{\Pi}} \right)_n = 1 + \frac{\beta}{k} \cdot p_0 \cdot \left(\operatorname{arch} \frac{n^B}{\sqrt{1 - \sigma_0^2 / p_0^2}} \right), \quad (18)$$

где ρ_0 – плотность почвы в контакте с опорной поверхностью колеса, кг/м^3 ;

B – опытный коэффициент.

Так как на связных почвах с одинаковыми по глубине физико-механическими свойствами уплотнение распространяется на значительную глубину, то уровень воздействия ходовых систем следует оценивать не только уплотнением верхнего слоя, но и высотой уплотняемого слоя.

Высоту уплотняемого слоя почвы находим из зависимостей (17) и (18)

$$x_{hm} = \frac{1}{\beta} \cdot \ln \left[\frac{p_0}{\sigma_h} \cdot \operatorname{th} \left(\operatorname{arch} \frac{n^B}{\sqrt{1 - \sigma_0^2 / p_0^2}} \right) \right], \quad (19)$$

где x_{hm} – высота уплотняемого слоя почвы после n нагружений.

Уплотнение верхнего слоя слабо уплотняющейся

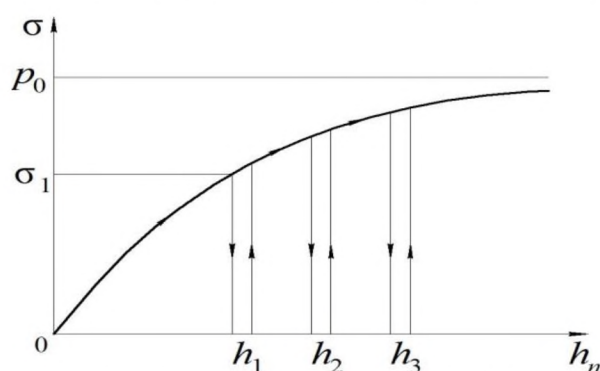


Рисунок 5. Зависимость накопления повторных осадков для связных почв с одинаковыми по глубине свойствами

почвы при повторном нагружении найдем, воспользовавшись тем, что условный коэффициент объемного смятия возрастает от нагружения к нагружению. С учетом значения этого коэффициента при n -м нагружении находим последующее приращение плотности:

$$\delta \left(\frac{\rho_0}{\rho_n} \right) = 1 + \frac{\beta}{k} \cdot k_u \cdot \sigma_0 \cdot \lg \left(\frac{n}{n-1} \right).$$

Уплотнение верхнего слоя почвы после n воздействий:

$$\left(\frac{\rho_0}{\rho_n} \right) = 1 + \frac{\beta}{k} \cdot \sigma_0 \cdot (1 + k_u \cdot \lg n). \quad (20)$$

Из зависимостей (8) и (17) найдем плотность верхнего слоя почвы, подготовленной под посев:

$$\rho_0 = \rho_n \frac{H - 2 \cdot v \cdot h}{H - h} + \frac{k_1 \cdot \sigma_0}{H - h} \times \left[(H - h) + \frac{1}{\beta} (e^{-\beta(H-h)} - 1) \right]. \quad (21)$$

При выполнении различных технологических операций по-разному проявляется уплотняющее воздействие ходовых систем МТА. Отличительной особенностью пахотных машинно-тракторных агрегатов является то, что они работают в почвенных условиях, когда плотность верхнего пахотного слоя незначительно отличается от плотности подпахотного слоя (целина, многолетняя залежь, стерня). В данном случае верхний слой почвы имеет низкую поглощательную способность энергии (малые значения коэффициента распределения напряжений) и поэтому уплотняющее воздействие от ходовых систем в значительной мере передается в нижние необрабатываемые слои почвы. Вспашка почвы требует высоких тяговых усилий со стороны трактора. Поэтому часто для машинно-тракторных пахотных агрегатов используются тяжелые колесные тракторы со сдвоенными колесами. Проанализируем влияние размеров колес на процесс уплотнения почвы. Известно, что осадка различных по размерам деформаторов при сохранении постоянного давления неодинакова [16, 17]. При воздействии на почву колес с большой опорной поверхностью в процесс деформирования вовлекаются более глубокие слои почвы, что ведет к увеличению осадки. В закономерностях деформирования это явление находит отражение в том, что коэффициент объемного смятия почвы зависит от площади опоры и определяется по зависимости:

$$k_2 = k_1 \cdot \sqrt{\frac{D_1 \cdot B_1}{D_2 \cdot B_2}}. \quad (22)$$

где D – диаметр колеса, м;
 B – ширина колеса, м.

Анализ результатов экспериментальных исследований [10] показал, что зависимость коэффициента распределения напряжений от размеров колеса описывается аналогичной зависимостью:

$$\beta_2 = \beta_1 \cdot \sqrt{\frac{D_1 \cdot B_1}{D_2 \cdot B_2}}. \quad (23)$$

Для расчета уплотнения почвы при передвижении МТА по многолетней залежи, целине или стерне применима зависимость (18), полученная в предположении однородности физико-механических свойств почвы по глубине. Анализ этой зависимости с учетом формул (22) и (23) показал, что плотность верхнего слоя почвы не зависит от размеров колес, а полностью определяется величиной давления и физическими свойствами почвы.

Однако на таких почвах размеры колес очень сильно влияют на характер и величину уплотнения почвы по глубине. Из рисунка 6, построенного на основании зависимостей (16), (22) и (23), видно, что

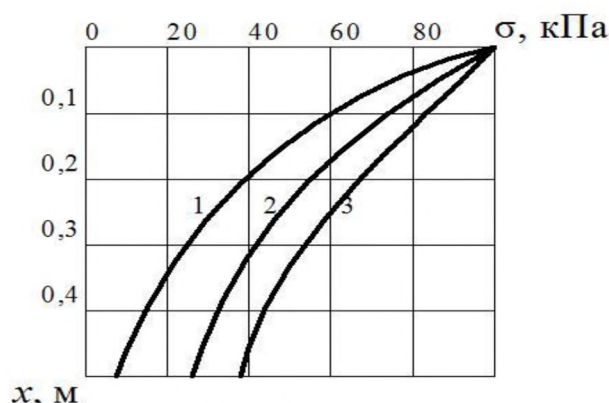


Рисунок 6. Распределение напряжений по глубине:
1 – $B = 0,3$ м; $D = 1$ м; 2 – $B = 0,5$ м; $D = 1,5$ м;
3 – $B = 0,75$ м; $D = 2$ м

на одинаковой глубине под колесами с равным давлением развиваются различные напряжения. Увеличение размеров колес, особенно их ширины, ведет к значительному росту плотности нижних слоев почвы.

Анализ зависимостей (18)–(20) показал, что требованиям снижения уплотнения как верхних, так и нижних слоев почвы в наибольшей мере удовлетворяет многоосный колесный ход. Расчет тягово-сцепных качеств свидетельствует о том, что такие ходовые системы обладают низким сопротивлением качению и высоким тяговым КПД [18].

Передача давлений на почву у гусеничных движителей происходит через опорные катки и гусеничную ленту. Характер накопления осадок почвы под опорными катками такой же, как и многоосных колесных систем. При использовании тракторов с узкими гусеницами напряжения концентрируются в пахотном слое. Поэтому при формировании пахотных машинно-тракторных агрегатов предпочтение следует отдавать гусеничным тракторам и тяговым средствам с многоосной колесной системой (таблица 1) по сравнению с колесными тракторами со сдвоенными колесами.

При формировании посевных машинно-тракторных агрегатов следует еще исходить из того, что почва, подготовленная под посев, обладает высокой способностью поглощения энергии, или высокой

Таблица 1. Рекомендуемое количество осей (пар колес) ходовой системы

Масса машины, т	Количество осей, шт.
5	2
5-10	2-3
10-20	3-4
20-30	4-5
30-40	5-6
40-50	6-8

распределительной способностью (имеет большие значения коэффициента распределения напряжений). В данном случае вертикальная нагрузка воспринимается в основном пахотным взрыхленным слоем почвы. Плотность почвы в контакте с колесами и распределение плотности по глубине определяются по зависимостям (17) и (21), в основу которых положены закономерности деформирования почвы (8)-(11).

Основной задачей для посевных МТА является снижение давления на почву. Следует также учитывать установленный исследованиями факт значительного прироста глубины следа и плотности почвы при повторных проходах колес. Поэтому в данном случае с целью снижения давления на почву рекомендуется увеличивать размеры колес, движущихся по следу друг за другом, а не их количество. Таким образом, для посевных агрегатов рекомендуется устанавливать сдвоенные шины на тракторах и сеялках, применять шины больших размеров, особенно высокоэластичные.

Машинно-тракторные агрегаты для внесения удобрений в почву имеют тенденцию к увеличению грузоподъемности и обладают высоким давлением на почву. При их работе на переувлажненных почвах поздней осенью или ранней весной можно допустить, что свойства почвы по глубине одинаковы, и расчет глубины следа и уплотнения почвы следует вести по зависимостям (11) и (20).

Для машин небольшой грузоподъемности допустимого давления на почву можно добиться с помощью сдвигания колес, установки колесно-гусеничного движителя или применения шины сверхнизкого давления (ШСНД) [13; 19].

Снижать давление на почву для машин большой грузоподъемности целесообразно за счет увеличения числа осей ходовой системы. С использованием зависимостей (13) было определено количество осей для машин различной массы.

Обобщенные рекомендации по формированию МТА приведены в таблице 2.

Заключение

1. При эксплуатации машинно-тракторных агрегатов воздействие их ходовых систем на почву оценивается глубиной следа, уплотнением верхнего слоя почвы, высотой уплотняемого слоя и характером распределения плотности по глубине. Для расчета показателей уплотнения почвы применен энергетический метод, основанный на закономерностях поглощения энергии различными слоями почвы. В результате получены закономерности уплотнения связных и рых-

Таблица 2. Рекомендации по формированию МТА

Тип МТА	Рекомендуемый трактор и приспособления к ходовым системам	Примечания
Посевной	Колесный; сдвоенные шины с давлением воздуха $p_w = 60 - 80$ кПа	При влажности $W=0,9-1,0$ НВ применяются приспособления к колесам
Пахотный	Гусеничные тракторы; тракторы с многоосным колесным ходом	
Для работы в междурядьях	Универсальный пропашной трактор	При влажности $W=0,9-1,0$ НВ применяются сдвоенные колеса
Для внесения удобрений	Многоосный колесный ход с широкопрофильными шинами	При влажности $W=0,9-1,0$ НВ применяются приспособления к колесам
Транспортный	Многоосный колесный ход	

лых почв, подстилаемых плотным основанием в различных режимах нагружения.

2. При формировании посевных машинно-тракторных агрегатов рекомендуется применять колесные тракторы со сдвоенными шинами. Для пахотных машинно-тракторных агрегатов следует использовать гусеничные и перспективные трех-, четырехосные колесные тракторы. Снизить давление на почву машинно-тракторных агрегатов для внесения удобрений можно путем сдвигания шин, увеличения числа осей ходовой системы и установки колесно-гусеничного движителя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Русанов, В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения / В.А. Русанов. – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.
2. Кушнарев, А.С. Уменьшение вредного воздействия на почву рабочих органов и ходовых систем машинных агрегатов при внедрении промышленных технологий возделывания сельскохозяйственных культур / А.С. Кушнарев, В.М. Машеपुरо. – М.: Всесоюзный ордена «Знак Почета» с.-х. институт заочного образования, 1986. – 56 с.
3. Романюк, Н.Н. Снижение уплотняющего воздействия на почву вертикальными вибродинамическими нагрузками пневмоколесных движителей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03; 05.20.01 / Романюк Николай Николаевич; Белор. гос. аграр. техн. ун-т. – Минск: БГАТУ, 2008. – 206 л.
4. Чигарев, Ю.В. Агротехническая повреждаемость почв при ударных нагрузках от эксплуатируемых сельскохозяйственных машин и орудий / Ю.В. Чигарев,

Н.Н. Романюк, Ю.В. Устиненко // Весці акадэм. аграр. навук Рэсп. Беларусь. – 1997. – № 3. – С. 68-70.

5. Влияние параметров ходовых систем колесных машин на изменение плотности почвы / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, И.С. Крук [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2021. – № 5 – С. 30-37.

6. Влияние числа осей колесных транспортно-тяговых машин на сопротивление качению / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, А.Н. Орда, В.Г. Кушнир // Тракторы и сельхозмашины. – 2019. – № 1 – С. 41-46.

7. Афанасьев, Н.И. Влияние уплотнения машинно-тракторными агрегатами на свойства, режимы почвы и урожай сельскохозяйственных культур: дерново-подзолистые почвы Белоруссии / Н.И. Афанасьев, И.И. Подобедов, А.Н. Орда // Переуплотнение пахотных почв: причины, следствия, пути уменьшения. – М.: Наука, 1987. – С. 46-59.

8. Романюк, Н.Н. Снижение уплотняющего воздействия на почву мобильных энергосредств: монография / Н.Н. Романюк. – Минск: БГАТУ, 2020. – 200 с.

9. Влияние ходовых систем тракторов на уплотнение почвы / Н.Н. Романюк, И.С. Крук, А.Н. Орда [и др.] // Агропанорама. – 2024. – № 1. – С. 2-7.

10. Орда, А. Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / Орда Александр Николаевич; Белор. гос. аграр. техн. ун-т. – Минск: БГАТУ, 1997. – 269 л.

11. Кацыгин, В.В. Основы теории выбора оптимальных параметров мобильных сельскохозяйственных машин и орудий / В.В. Кацыгин // Вопросы с.-х. механики. – Минск: Ураджай, 1964. – Т. 13. – С. 5-147.

12. Закономерности накопления повторных осадок почвы при воздействии ходовых систем мобиль-

ной сельскохозяйственной техники / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, А.Н. Орда [и др.] // Агропанорама. – 2014. – № 6. – С. 2-7.

13. Влияние количества осей ходовой системы мобильной сельскохозяйственной техники на глубину следа / И.Н. Шило, А.Н. Орда, Н.Н. Романюк [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 4. – С. 37-41.

14. Закономерности уплотнения почвы под воздействием колес сельскохозяйственных машин / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, А.Н. Орда [и др.] // Агропанорама. – 2016. – № 2. – С. 2-7.

15. Влияние многоосной ходовой системы машинно-тракторных агрегатов на плотность почвы / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, А.Н. Орда [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – № 1 – С. 31-36.

16. Обоснование закономерностей деформирования почв различных агрофонов под воздействием колес / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, А.Н. Орда [и др.] // Агропанорама. – 2018. – № 2. – С. 2-6.

17. Влияние почвенных условий эксплуатации на проходимость колесных машин / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, А.Н. Орда [и др.] // Агропанорама. – 2020. – № 1. – С. 2-5.

18. Влияние типа опорной поверхности на сопротивление качению колесных транспортно-тяговых средств / Н.Н. Романюк, И.С. Крук, А.Н. Орда [и др.] // Агропанорама. – 2022. – № 6. – С. 2-7.

19. Обоснование параметров ходовых систем колесных тракторов с допустимым уровнем воздействия на почву / Н.Н. Романюк, И.С. Крук, А.Н. Орда [и др.] // Агропанорама. – 2025. – № 5. – С. 2-7.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 25.06.2026

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).

Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842.

Стоимость подписки на 2-е полугодие 2026 года: для индивидуальных подписчиков - 70,38 руб., ведомственная подписка - 72,39 руб.