

УДК 631.3.02: 631.4

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПРОХОДИМОСТЬ КОЛЕСНЫХ МАШИН

И.Н. Шило,

ректор БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

Н.Н. Романюк,

первый проректор БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.Н. Орда,

зав. каф. теоретической механики и теории механизмов и машин БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

В.А. Шкляревич,

ст. преподаватель каф. теоретической механики и теории механизмов и машин БГАТУ

А.С. Воробей,

науч. сотр. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», канд. техн. наук

По характеру накопления повторных осадков предложено разделять почвы на слабо и сильно уплотняющиеся. Установлено, что при сохранении постоянной нагрузки на ходовую систему, увеличение числа осей ведет к снижению глубины следа. Для увеличения проходимости колесных машин на переувлажненных почвах предложена конструкция колесно-гусеничного движителя.

Ключевые слова: почва, проходимость, колесные машины, движитель, модель Фойгта, нагрузка.

It is proposed to divide the soils by the nature of accumulation of repeated deposits into weakly compacting and strongly compacting. It has been determined that while maintaining a constant load on the running system, the increase in the number of axles leads to a decrease in the depth of the trace. In order to increase the passability capacity of wheel machines on waterlogged soils, the design of a wheel-caterpillar propulsor is proposed.

Keywords: soil, passability, wheel cars, propulsor, Foygt's model, load.

Введение

Применяемые в сельском хозяйстве машинно-тракторные агрегаты (МТА) уплотняют почву до величины, значительно превышающей оптимальную плотность. В следах ходовых систем МТА плотность почвы составляет 1400 – 1550 кг/м³ (оптимальная по условиям роста растений – 1200 – 1350 кг/м³). Повышение плотности почвы из-за воздействия МТА приводит к снижению урожайности культурных растений [1].

Целью работы является определение влияния числа осей колесных машин на проходимость.

Основная часть

Влияние разновидностей почв на процесс следообразования рассматривается в работе [2], схемы которых приведены на рис.1. Названия этих разновидностей даны условно, исходя из преобладания того или иного вида деформации.

Твердые грунты (рис. 1а) выдерживают большие давления почти не деформируясь. При взаимодействии колес с несвязными почвами (рис. 1б) происходит выжимание частиц из нагруженной зоны в стороны. Достаточно хорошей проходимостью на таких почвах обладают машины с широкими ходовыми системами.

Почвы с сильно выраженными упругими свойствами при нагружении сжимаются без бокового рас-

пора (рис. 1в). Деформация их происходит за счет эластичных свойств самого материала почвы.

При передвижении машин по связным сжимающимся почвам (рис. 1г) образуется правильная прямугольная колея. Связные сжимающиеся почвы называют сильно уплотняющимися [3], характер деформации их показан на рис. 2а.

С увеличением влажности почвы изменяется характер ее деформации. Приложенная нагрузка в первый момент воспринимается водой. Из-за наличия водяных пленок между частицами сцепление между ними незначительно, и поэтому происходит выжимание из нагруженной зоны не только воды, но и почвы (рис. 1д).

Чем мельче поры в водонасыщенной почве, тем медленнее выжимается из нее вода и более длительным является процесс сжатия. Кривая зависимости между деформацией и продолжительностью действия нагрузки для слабо уплотняющихся почв показана на рис. 2б [4].

В случае покрытия пластичного грунта прочным и упругим слоем, например, дерновым (рис. 1е), несущая способность среды значительно возрастает. Переувлажненные пластичные почвы приобретают текучие свойства (рис. 1ж). На таких почвах рекомендуется применять гусеничные транспортные средства, у которых в межгусеничном пространстве устанавливаются дополнительные гусеницы [3].

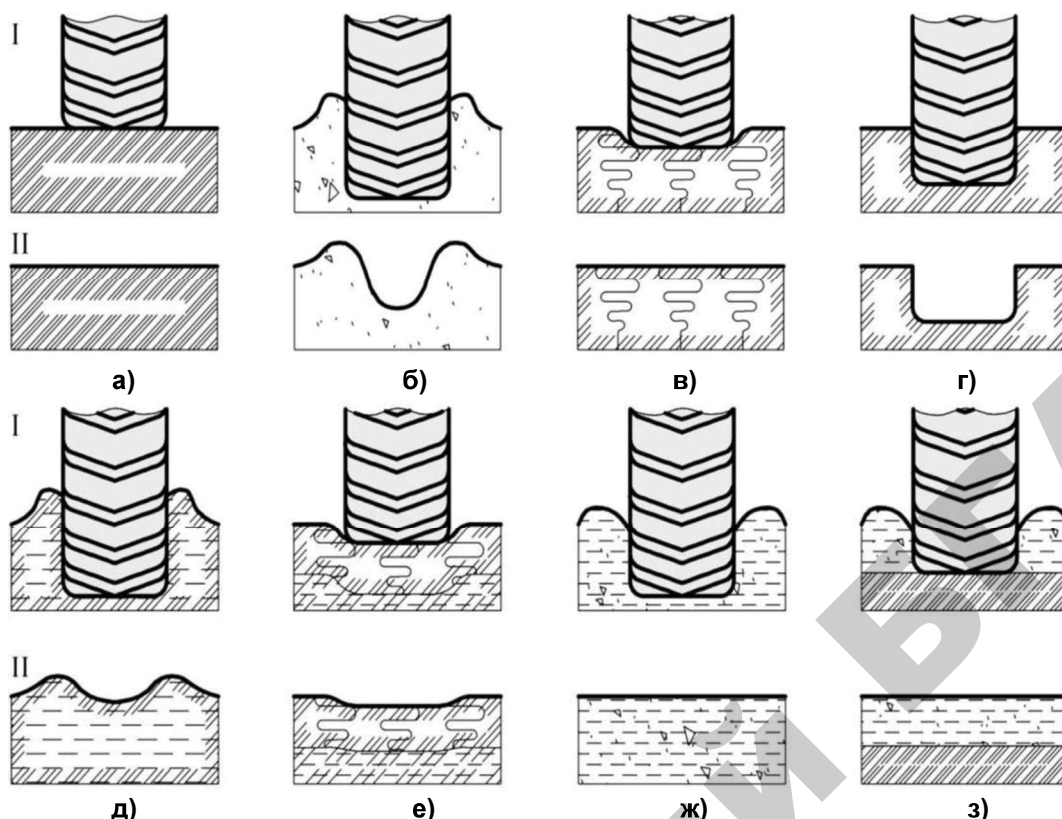


Рисунок 1. Характер деформации почв и грунтов ходовыми системами: I - в процессе взаимодействия колеса с почвой; II - после деформации; а) твердые грунты; б) несвязные почвы; в) пористо-волокнистые почвы с большой упругостью волокон (почвы на лугах и пастбищах); е) связные сжимающиеся почвы; д) пластичные почвы; е) почвы с верхним дерновым слоем; ж) переувлажненные почвы; з) почвы с верхним текучим слоем

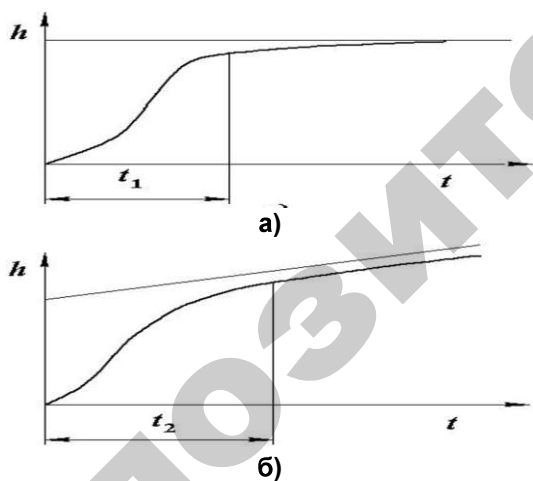


Рисунок 2. Деформация сильно упрочняющихся (а) и слабо упрочняющихся (б) почв

Если небольшой слой текучей почвы подстилается прочным основанием, нужно выбрать такое давление, чтобы ходовой аппарат перемещался по твердому основанию (рис. 1з). При этом жидкий слой создает дополнительное сопротивление передвижению.

Особенностью взаимодействия с почвой движителей многососных колесных систем является образование следа повторными проходами колес. Исследуем процесс

повторного деформирования почвы на основании представления ее реологической моделью Фойгта, которая представляет собой параллельное соединение линейно-упругого и вязкого элементов (рис. 3а) [5]. Соотношение между напряжением, деформацией и скоростью ее протекания для этой модели

$$\sigma = E_g \cdot \varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (1)$$

где E_g – длительный модуль упругости, Па;
 ε – относительная деформация;
 η – коэффициент вязкости, Н с/м²;
 t – время деформирования, с.

Схема загрузки модели показана на рис. 3б. При каждом нагружении длительностью Θ нагрузка выдерживается постоянной. В период разгрузки, равный $T - \Theta$, нагрузка снята. Период времени между циклами нагружения обозначен через T .

Развитие деформации при первом нагружении определится из уравнения (1) при начальном условии

$$\varepsilon|_{t=0} = 0 \quad (\text{рис. 3в})$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_g} (1 - e^{-t/\tau}),$$

где σ_0 – среднее давление колеса на почву, Па;

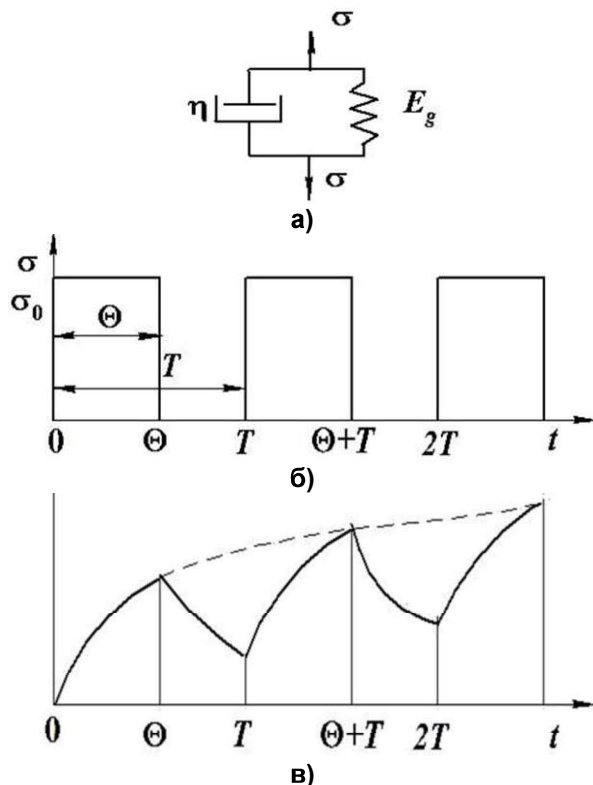


Рисунок 3. Модель Фойгта:
а – схема модели; б – график повторных нагружений; в – повторные деформации

$\tau = \eta / E_g$ – время запаздывания деформации, с.

В конце периода нагружения

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_0}{E_g} (1 - e^{-\Theta/\tau}). \quad (2)$$

При разгрузке ($\sigma_0 = 0$) деформацию обратной ползучести найдем из уравнения

$$E_g \cdot \varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt} = 0. \quad (3)$$

Изменение деформации в период разгрузки определится из этого уравнения при начальном условии $\varepsilon|_{t_1=\Theta} = \varepsilon_1$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 \cdot e^{-t/\tau}$$

В конце цикла разгрузки

$$\varepsilon_{1p} = \varepsilon_1 \cdot e^{-(T-\Theta)/\tau}$$

Подставив вместо ε_1 его значение (2), получим

$$\varepsilon_{1p} = \frac{\sigma_0}{E_g} (1 - e^{-\Theta/\tau}) \cdot e^{-(T-\Theta)/\tau}.$$

Протекание деформации во втором периоде нагружения найдем из уравнения (1) при начальном условии $\varepsilon|_{t_2=T} = \varepsilon_{1p}$

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_g} (1 - e^{-t_2/\tau}) + \varepsilon_{1p} \cdot e^{-t_2/\tau}.$$

В конце второго периода нагружения

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_0}{E_g} (1 - e^{-\Theta/\tau}) \cdot (1 + e^{-T/\tau}). \quad (4)$$

При дальнейшем анализе находится величина осадки после n нагружений [3]

$$\varepsilon_n = \frac{\sigma_0}{E_g} (1 - e^{-\Theta/\tau}) \cdot \frac{1 - e^{-(T/\tau) \cdot n}}{1 - e^{-T/\tau}}. \quad (5)$$

Проанализируем, как влияет увеличение количества осей F_k на слеобразование при сохранении постоянной общей нагрузки $G_{общ}$. При этом будет соблюдаться условие

$$\begin{aligned} \sigma_0 \cdot F_{k1} + \sigma_0 \cdot F_{k2} + \dots + \sigma_0 \cdot F_{kn} &= \\ = \sigma_0 \cdot F_{общ} = \sigma_0 \cdot n \cdot F_0 = G_{общ}, \end{aligned}$$

где $F_{k1}, F_{k2} \dots F_{kn}$ – площади проекций опорных площадок колес на горизонтальную плоскость, м²;

$F_{общ}$ – общая суммарная площадь, м²;

$G_{общ}$ – суммарная нагрузка, Н.

При этом было допущено, что

$$F_{k1} = F_{k2} = \dots = F_{kn} = F_0.$$

С учетом этих допущений зависимость (5) примет вид:

$$\varepsilon_n = \frac{G_{общ}}{n \cdot F_0 \cdot E_g} (1 - e^{-\Theta/\tau}) \cdot \frac{1 - e^{-(T/\tau) \cdot n}}{1 - e^{-T/\tau}}. \quad (6)$$

Из рис. 4, построенного на основании зависимости (6), видно, что увеличение количества осей ведет к снижению величины деформации. При анализе допущалось, что $\Theta / \tau = 0,5$, $T / \tau = 1$.

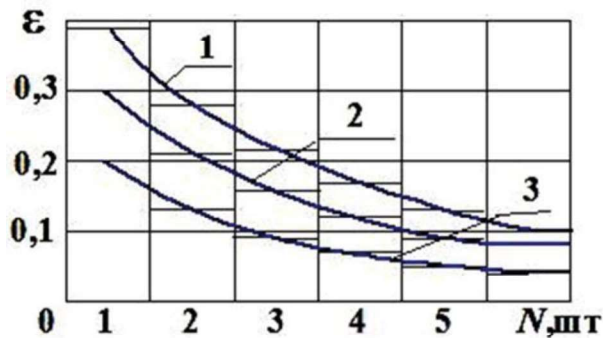


Рисунок 4. Нарастание осадок при сохранении общей нагрузки:

Кривая 1 – при $G_{общ}/F_0 \cdot E_g = 1$;

кривая 2 – при $G_{общ}/F_0 \cdot E_g = 75$;

кривая 3 – при $G_{общ}/F_0 \cdot E_g = 0,5$

Применим гидродинамическую теорию движения двух пластин, между которыми помещен слой жидкости [6]. На рис. 5а показаны пластины А и В, нагруженные силой F . Пластина А движется относи-

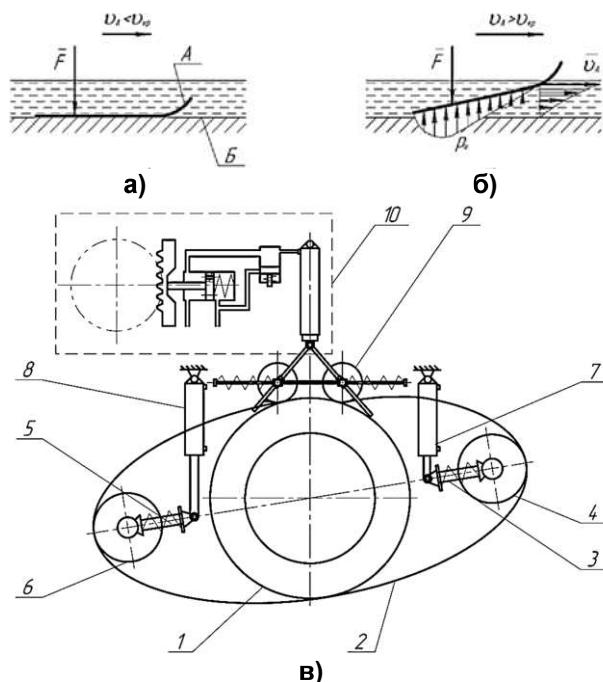


Рисунок 5. Колесно-гусеничный движитель транспортного средства в режиме повышенной проходимости:

1 – колесо; 2 – гибкий обод; 3 – передняя направляющая; 4 – ролик; 5 – задняя направляющая; 6 – ролик; 7 – передний гидроцилиндр; 8 – задний гидроцилиндр; 9 – обжимные катки; 10 – гидравлическая система

тельно пластины B со скоростью v_A . Если скорость v_A мала, то пластина A выжимает смазку с пластины B . Поверхности пластин непосредственно соприкасаются. При этом образуется полужидкостное трение.

При достаточно большой скорости v_A (рис. 5б) пластина A поднимается и принимает наклонное положение, подобно тому, как поднимаются водные лыжи, скользящие по воде. Между пластинами образуется сужающийся зазор, а движение происходит в условиях жидкостного трения. Переход к режиму жидкостного трения происходит при некоторой скорости, называемой критической $v_{кр}$. Применим данную теорию для повышения проходимости колесно-гусеничного движителя (рис. 5в) [7].

При движении транспортного средства по переувлажненной почве, масло под давлением одновременно подается в штоковую полость переднего гидроцилиндра 7 и надштоковую полость заднего гидроцилиндра 8. Шток гидроцилиндра 7 вдвигается, а шток гидроцилиндра 8 выдвигается на ту же величину. Вследствие чего передняя направляющая 3 вместе с роликом 4 поднимается вверх относительно оси колеса 1, а задняя направляющая 5 с роликом 6 опускаются вниз относительно той же оси. Обжимные катки 9 натягивают обод 2. Таким образом, передняя часть движителя между передним роликом 4 и коле-

сом 1 приподнимается, а задняя часть обода 2 движителя между задним колесом 1 и роликом 6 выравнивается относительно поверхности почвы, что приводит к снижению сопротивления перекачиванию движителя и повышению несущей способности почвы.

Заключение

1. По характеру накопления повторных осадков почвы разделяются на слабо упрочняющиеся и сильно упрочняющиеся. На слабо упрочняющихся почвах рекомендуется применять колесные машины с увеличенной шириной колес, а на сильно упрочняющихся почвах – с увеличенным числом осей.

2. Анализ деформирования почвы на основе модели Фойгта позволил установить, что при сохранении постоянной нагрузки на ходовую систему, увеличение числа осей ведет к снижению глубины следа.

3. Для увеличения проходимости колесных машин на переувлажненных почвах предложена конструкция колесно-гусеничного движителя, обеспечивающая поднятие его передней части для снижения сопротивления перекачиванию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шило, И.Н. Закономерности накопления повторных осадков при воздействии ходовых систем мобильной сельскохозяйственной техники / И.Н. Шило, Н.Н. Романюк, А.Н. Орда, В.А. Шкляревич, А.С. Воробей // Агропанорама. – 2014. – № 6. – С. 2-7.

2. Мацепуро, М.Е. Деформация грунтов ходовыми аппаратами машин / М.Е. Мацепуро, Б.Н. Янушкеич // Вопросы земледельческой механики. – Минск: Сельхозгиз, 1961. – Т. 7. – С. 172-210.

3. Орда, А.Н. Эколого-энергетические основы формирования машинно-тракторных агрегатов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / А.Н. Орда; Белорус. аграр. техн. ун-т. – Минск, 1997. – 36 с.

4. Гао, С.Ф. Исследование процесса самопередвижения гусеничного движителя по сжимаемому грунту / С.Ф. Гао // Труды научн. конф. ЦНИИМЭСХ. – Минск: Сельхозгиз. – 1962. – С. 77-86.

5. Шукле, Л. Реологические проблемы механики грунтов / Л. Шукле. – М: Стройиздат, 1976. – 486 с.

6. Скойбеда, А.Т. Детали машин и основы конструирования: учеб. / А.Т. Скойбеда, А.В. Кузьмин, Н.Н. Макейчик; под общ. ред. А.Т. Скойбеда. – Мн.: Выш. шк., 2000. – 584 с.

7. Колесно-гусеничный движитель транспортного средства: пат. 2334 Респ. Беларусь, МПК В 62D 55/04 / А.Н. Орда, В.А. Шкляревич, Н.А. Гирейко, А.А. Зенькович, А.Б. Селеш; заявитель Бел. гос. агр. техн. ун-т. – № и 20050229; заявл. 19.04.05; опубл. 30.12.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 4. – Ч. II. – С. 39.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 27.12.2019