

случае влияние неравномерности распределения контактных давлений на напряжения в почве будет более существенным.

Заключение

В аналитических исследованиях взаимодействия ходовых систем машин с почвой необходимо учитывать продольную и поперечную неравномерность распределения контактных давлений с опорным основанием и применять объемные расчетные схемы.

При модернизации ходовых систем машин с целью снижения давления на почву необходимо стремиться к обеспечению более равномерной эпюры контактных давлений.

Обязательным условием является проверка по напряжениям в подпахотном слое почвы в связи с тем, что влияние размеров площади контакта в этом случае значительно больше влияния изменения максимальных контактных давлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шины для сельскохозяйственной техники: справоч. пособ. – М.: Химия, 1986. – 112 с.
2. Раймпель, Й. Шасси автомобиля: амортизаторы, шины, колеса; пер. с нем./ Й. Раймпель, В.П.Агапова; под ред. О.Д.Златовратского. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.

3. Гедроить, Г.И. Сопротивление качению ведомых пневматических колес / Г.И. Гедроить //Агропанорама. – 2010, № 1. – С. 26-30.

4. Скотников, В.А. Проходимость машин/ В.А.Скотников, А.В. Пономарев, А.В. Климанов. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 328с.

5. Русанов, В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения / В.А.Русанов. – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.

6. Бабков, В.Ф. Основы грунтоведения и механика грунтов/ В.Ф. Бабков, В.М.Безрук. – М.: Высшая школа, 1986. – 239 с.

7. Цытович, Н.А. Механика грунтов / Н.А.Цытович. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.

8. Кулен, А. Современная земледельческая механика / Пер. с англ. А.Э.Габриэляна; под ред. и предисл. Ю.А.Смирнова / А.Кулен, Х. Куиперс. – М.: Агропромиздат, 1986. – 349с.

9. Гедроить, Г.И. Распределение давлений в контакте шин кормоуборочных машин с торфяно-болотной почвой/ Г.И. Гедроить, Г.А. Лазарев, А.Н. Вичик // Повышение проходимости сельскохозяйственной техники на почвах с низкой несущей способностью: сб. науч. трудов. – Горки, 1989. – С. 53-58.

УДК 631.431.73

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 24.02.2011

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ ОТ ПРОХОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

**Я.М. Шупилов, канд. техн. наук, А.А. Зеленовский, канд. экон. наук, доцент,
Н.Г. Королевич, канд. экон. наук, доцент (БГАТУ)**

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы влияния сельскохозяйственных машин на торфяную почву. В целях прогнозирования их негативного воздействия предложена методика расчета остаточной деформации торфяной залежи от ходовых систем машин. Приводятся физико-механические показатели торфа, используемые в расчете.

The aspects of the influence of agricultural machines on the peat soil are being considered in the article. To forecast the machinery's negative influence the methodology of calculation of the residual deformation of peat beds being damaged by machines' running gear has been offered. The physical-mechanical peat properties used in the calculation have been provided.

Введение

При многоукосном использовании сеяных трав число проходов техники по лугу составляет 6-21 раз за сезон [1]. При уборке трав на зеленый корм, силос или травяную муку суммарное покрытие следами машин площади луга за один укос составляет 51%, при заготовке сенажа – 75%, сена – 130%.

Установлено, что давление ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву не должно превышать 50-60 кПа в зависимости от влажности и типа почвы, условий работы, тогда как современные тракторы и прицепы создают давление до 300 кПа и выше. Это приводит, особенно на торфяных почвах, к разрушению дернины, повреждению и гибели трав, снижению долголетия сеяного луга.

Целью работы является оценка негативного воздействия движителей ходовых систем сельскохозяйственных машин на торфяную залежь, используемую в сельскохозяйственном производстве.

Основная часть

Удельное давление на поверхности торфяной залежи, при котором возможна нормальная работа сельскохозяйственной техники, зависит от таких факторов как вид торфа, его влажность, степень разложения и др., а для одних и тех же условий – от формы, размеров и физико-механических свойств опорной поверхности. При расчетах взаимодействия ходовых систем механизмов и грунта или почвы основное значение имеет несущая способность, под которой понимают максимальное удельное давление на опорной поверхности, при котором не происходит провала машины и деформация торфяной залежи.

Модель, характеризующаяся параметрами сопротивления сдвигу и удельным весом торфа, позволяет определить безопасную нагрузку и, как и многие другие, не позволяет вычислить деформации под опорными поверхностями ходовых систем машин.

При анализе общих деформаций торфа при повторных нагрузках считают возможным производить расчеты по статическим нагрузкам, так как в торфе с естественной и нарушенной структурой статические нагрузки вызывают большие деформации, чем повторные одинаковой величины с равным временем действия [2].

В случае ограниченной мощности сжимаемого слоя для жесткого штампа зависимость для вертикальных упругих деформаций точек полупространства, преобразованная к форме осадков, имеет вид:

$$s_c = \frac{pd\omega_{cp}(1-\nu_0^2)}{E_0}, \quad (1)$$

где s_c – общая осадка штампа (остаточная и упругая), в пределах линейной зависимости между осадками и давлением p , см; p – удельная нагрузка на грунт, МПа; d – ширина прямоугольной площади подошвы или диаметр круглой, см; ω_{cp} – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние глубины сжимаемого слоя и форму площади подошвы штампа; E_0 – модуль общей деформации грунта, МПа; ν_0 – коэффициент бокового расширения грунта.

Формула (1), позволяющая рассчитывать деформации залежи, достаточно проста, но требует при практическом применении определения величин E_0 . Поэтому для их определения желательно иметь обобщающую характеристику, которая характеризовала бы деформационные свойства торфяной залежи, и которую можно было бы использовать для расчета упомянутых величин при различных глубинах торфа и различной форме штампа. Такой характеристикой, с нашей точки зрения, может явиться плотность сухого

торфа, которой в большинстве случаев пользуются многие исследователи.

Для установления аналитической зависимости между модулем общей деформации торфа и его плотностью в сухом состоянии воспользуемся данными инженерно-геологических особенностей торфа [3].

Как и следовало ожидать, с увеличением плотности сухого торфа модуль деформации возрастает в несколько раз, что можно видеть при анализе кривой на рис. 1, построенной по этим данным, которую можно аппроксимировать в виде экспоненциальной зависимости:

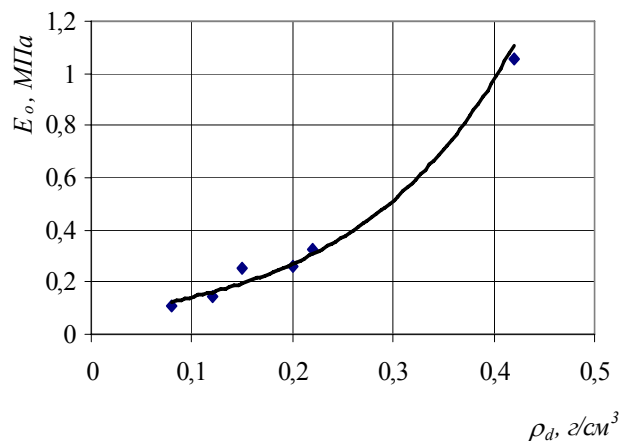


Рисунок 1. Зависимость модуля общей деформации сухого торфа от его плотности

$$E_0 = 0,075 \exp(6,42\rho_d), \quad (2)$$

где E_0 – модуль общей деформации торфа, МПа;
 ρ_d – плотность сухого торфа, г/см³.

Для облегчения расчетов в табл. 1 приведены значения коэффициента формы ω_{cp} :

– для штампа в виде прямоугольника в зависимости от отношения $\frac{2T}{B}$ и $\alpha = \frac{L}{B}$ (T – глубина торфяной залежи, см; L и B – большая и меньшая стороны прямоугольника, см);

– для штампа в виде круга в зависимости от отношения $\frac{2T}{d}$ (d – диаметр штампа, см).

Формула (1) применима в пределах линейной зависимости между осадками s_c и давлением p , нарушение которой приводит к развитию областей пластических деформаций и все большему отклонению от решения на основе модели линейно деформируемого тела. Поэтому в качестве граничного критерия в механике грунтов принята величина безопасной нагрузки $p_{без}$.

Это положение обосновывается также особым характером разрушения торфа и затуханием скорости деформации торфяной залежи во времени [2]. При кратковременном действии небольших нагрузок де-

Таблица 1. Значение коэффициента ω_{cp} для определения средней осадки

$\frac{2T}{B}$	Круг	Прямоугольник				Лента $\alpha = \infty$
		$\alpha = 1$	$\alpha = 2$	$\alpha = 3$	$\alpha = 10$	
0	0	0	0	0	0	0
0,25	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13
0,50	0,22	0,22	0,24	0,24	0,25	0,25
0,75	0,31	0,31	0,34	0,34	0,35	0,36
1,00	0,38	0,39	0,43	0,44	0,46	0,46
1,50	0,50	0,53	0,59	0,61	0,63	0,64
2,00	0,58	0,62	0,70	0,73	0,77	0,79
2,50	0,63	0,68	0,79	0,83	0,89	0,92
3,00	0,66	0,72	0,87	0,92	1,00	1,03
4,00	0,70	0,77	0,96	1,04	1,15	1,20
5,00	0,72	0,80	1,03	1,13	1,27	1,34
7,00	0,75	0,84	1,10	1,23	1,45	1,54
10,00	0,78	0,87	1,16	1,31	1,62	1,77
20,00	0,81	0,91	1,23	1,42	1,90	2,19
50,00	0,83	0,93	1,27	1,48	2,10	2,66
∞	0,85	0,95	1,30	1,63	2,25	∞

Примечание. По приложению II книги [2].

формации почти полностью обратимы и торф работает как упругая среда. При дальнейшем нагружении происходит постепенный срез по периметру штампа и нарушение линейной зависимости между осадкой и нагрузкой.

Так как величина коэффициента бокового давления покоя ξ_0 , связанная с v_0 , остается относительно постоянной характеристикой торфа, не зависящей от влажности, предварительного уплотнения и внешнего давления, величину, аналогичную коэффициенту Пуассона и относящуюся к общей деформации грунта v_0 (коэффициент бокового или поперечного расширения), также можно считать относительно постоянной характеристикой. Некоторые значения этой величины для различных видов торфов с различной степенью разложения по данным [3] приведены в табл. 2.

Величина s_c , определяемая по зависимости (1), соответствует стабилизированной осадке штампа под статической нагрузкой (вследствие ползучести торфа величина осадки непрерывно возрастает).

Независимо от порядка приложения нагрузки и ее величины для торфяных залежей, установлена следующая зависимость осадки штампа от времени действия нагрузки [2]:

Таблица 2. Величины коэффициента бокового расширения торфов

Вид торфа	Степень разложения, %	Коэффициент бокового расширения
Медиум-торф	10 – 15	0,36
Пушицево-сфагновый	25	0,34
Сфагновый низинный	25	0,27
Древесно-осоковый	35	0,32

$$s = at^n, \tag{3}$$

где s – полная осадка штампа на заданный период времени, см; a – эмпирический коэффициент, численно равный осадке за период $t=1$ час; n – коэффициент, учитывающий интенсивность накопления деформации во времени.

Для средней по глубине залежи между коэффициентом n и плотностью сухого торфа ρ_d , г/см³ имеется достаточно тесная связь в виде:

$$n = 0,016 + 0,368\rho_d. \tag{4}$$

При действии подвижной нагрузки на поверхности торфяной залежи от движителей сельскохозяйственных машин в течение короткого промежутка времени вертикальные сжимающие напряжения возрастают с определенной скоростью – от нуля до максимального значения, воздействуя некоторый период времени, а затем падают до нуля. Для вычисления деформаций торфа от подвижной нагрузки воспользуемся выражением (3), которое позволяет их определение на любой период времени под нагрузкой, не превышающей предел пропорциональности.

Эмпирический коэффициент a можно найти, если в зависимости (3) величину s принять равной величине стабилизированной осадки s_c , а величину времени, в течении которого эта осадка произошла t_c , тогда

$$a = \frac{s_c}{t_c^n}. \tag{5}$$

Поэтому выражение (3) с учетом зависимости (1) и (5) будет иметь вид:

$$s = \frac{pd\omega_{cp}(1-v_0^2)}{E_0 t_c^n} t^n. \tag{6}$$

Длительность действия нагрузки от ходовых систем машин t в зависимости (6) с некоторым приближением можно принять как отношение базы машины к ее скорости.

Считают, что изменение объема торфа при приложении нагрузки происходит только из-за изменения объема пор. Упругие изменения объема торфа могут происходить вследствие упругих деформаций частиц торфа, тонких пленок воды, расположенных между частицами, упругого сжатия пузырьков воздуха, а также сжатия поровой воды, содержащей растворенный воздух. После снятия нагрузки упругие изменения объема торфа восстанавливаются.

Для определения упругих деформаций s_y , возникающих от прохода по торфяной залежи сельскохозяйственных машин, можно воспользоваться формулой [2]:

$$s_y = \frac{pd\omega_{cp}}{E_y}, \tag{7}$$

где p – удельная нагрузка, МПа; d – диаметр опорной площадки, см; E_y – модуль упругости, МПа; ω_{cp} – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние размеров и формы опорной площадки, а также глубины торфяной залежи.

Зависимость модуля упругости торфа естественной структуры E_y , МПа от плотности сложения ρ_d , г/см³ имеет вид

$$E_y = 126\rho_d^{2,355}. \quad (8)$$

Остаточные деформации развиваются, когда возникающие в торфе напряжения превышают его структурную прочность. В конечном счете, остаточные деформации приводят к уменьшению пористости торфа и его уплотнению.

Таким образом, для определения остаточной деформации s_o из величины s в зависимости (6) необходимо вычесть величину s_y в зависимости (7), тогда

$$s_o = s - s_y. \quad (9)$$

С использованием полученных зависимостей и установленных закономерностей деформационных характеристик торфа от плотности сложения (плотности сухого торфа) проведен расчет деформации торфяной залежи глубиной 2 м от движителей колесного трактора с расчетным диаметром опорной площадки колеса 30 см.

Некоторые данные вычислений в виде графических зависимостей остаточной деформации поверхности залежи от удельной нагрузки для пяти значений плотности сухого торфа от 0,1 до 0,3 г/см³ при-

МПа, шириной гусеницы $B=50$ см, базой $L=237$ см. Залежь характеризуется коэффициентом бокового расширения торфа $\nu_0=0,3$ и плотностью сухого торфа, приводимой в таблице 3.

Таблица 3. Плотность сухого торфа залежи

Глубина, см	25	50	75	100	125	150	175	200
Плотность, г/см ³	0,150	0,145	0,137	0,125	0,130	0,118	0,115	0,150

При ширине опорной площади 50 см достаточно учитывать плотность залежи на глубине 2-х ширин гусеницы, т. е. 100 см, так как при больших глубинах напряжения будут существенно меньше. Среднее значение плотности по этой глубине будет

$$\rho_{cp} = \frac{0,150 + 0,145 + 0,137 + 0,125}{4} = 0,139 \text{ г/см}^3.$$

Коэффициент, учитывающий интенсивность накопления деформации во времени, устанавливается по зависимости (4)

$$n = 0,016 + 0,368\rho_d = 0,016 + 0,368 \cdot 0,139 = 0,067.$$

По зависимости (2) расчетное значение модуля общей деформации

$$E_0 = 0,075 \exp(6,42 \cdot 0,139) = 0,183 \text{ МПа}.$$

Расчетное значение модуля упругости по формуле (8)

$$E_y = 126\rho_d^{2,355} = 126 \cdot 0,139^{2,355} = 1,208 \text{ МПа}.$$

Для жесткого штампа при соотношении сторон

$$\alpha = \frac{L}{B} = \frac{237}{50} = 4,74 \text{ и величине } \frac{2T}{B} = \frac{2 \cdot 200}{50} = 8$$

безразмерный коэффициент $\omega_{cp}=1,35$ (табл. 1).

Длительность действия нагрузки определяется как отношение

$$t = \frac{L}{v} = \frac{2,37}{2,5} = 0,948 \text{ с (0,00026 ч)}.$$

В расчетах t_c примем равной 10 суткам или 240 часам. Это, очевидно, не приведет к существенной погрешности, так как величина осадки штампа в течение принятого времени будет близка к стабилизированной осадке s_c .

Общая осадка по формуле (6)

$$s = \frac{pd\omega_{cp}(1-\nu_0^2)}{E_0 t_c^n} t^n = \frac{0,05 \cdot 50 \cdot 1,35 \cdot (1-0,3^2) \cdot 0,00026^{0,067}}{0,183 \cdot 240^{0,067}} = 6,68 \text{ см}.$$

Упругая деформация по формуле (7)

$$s_y = \frac{pd\omega_{cp}}{E_y} = \frac{0,05 \cdot 50 \cdot 1,35}{1,208} = 2,79 \text{ см}.$$

Остаточная деформация по формуле (9)

$$s_o = s - s_y = 6,68 - 2,79 = 3,89 \text{ см}.$$

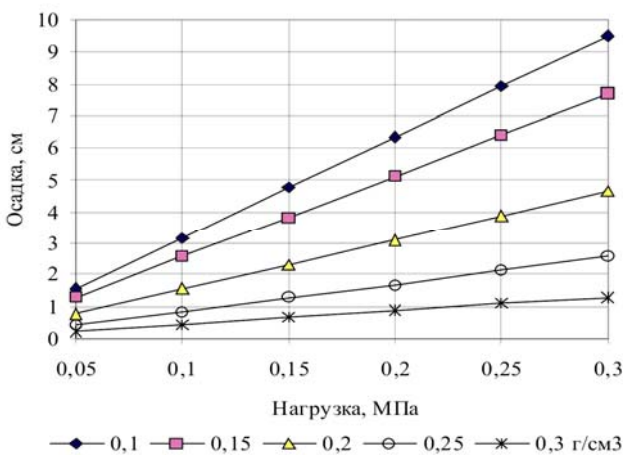


Рисунок 2. Остаточная деформация для различных величин нагрузки и плотности сухого торфа

водятся на рис. 2.

Рассмотрим примеры определения остаточных деформаций с использованием предложенной методики.

Пример 1. Определить остаточные деформации торфяной залежи глубиной 2 м при проходе гусеничного трактора со скоростью $v=9$ км/ч (2,5 м/с) с удельным давлением на поверхности залежи $p=0,05$

Пример 2. Для условий первого примера вычислить остаточную деформацию от движителей колесного трактора с расчетным диаметром опорной площадки колеса $d=30$ см, базой $L=286$ см и удельным давлением на поверхности залежи $p=0,2$ МПа.

Поскольку диаметр опорной площадки $d=30$ см, в расчетах физико-механических показателей можно ограничиться глубиной залежи $2 \cdot 30=60$ см.

Для плотности, осредненной по глубине 75 см

$$\rho_{cp} = \frac{0,150 + 0,145 + 0,137}{3} = 0,144 \text{ г/см}^3.$$

Значение коэффициента, учитывающего интенсивность накопления деформации во времени

$$n = 0,016 + 0,368 \rho_d = 0,016 + 0,368 \cdot 0,144 = 0,069.$$

Модуль общей деформации

$$E_0 = 0,075 \exp(6,42 \cdot 0,144) = 0,189 \text{ МПа}.$$

Модуль упругости

$$E_y = 126 \rho_d^{2,355} = 126 \cdot 0,144^{2,355} = 1,313 \text{ МПа}.$$

Для круглого штампа и глубины торфа

$$\frac{2T}{d} = \frac{2 \cdot 200}{30} = 13,33 \text{ коэффициент, } \omega_{cp}=0,795.$$

Длительность действия нагрузки определяется как отношение

$$t = \frac{L}{v} = \frac{2,86}{2,5} = 1,144 \text{ с (0,00032 ч)}.$$

Общая осадка

$$s = \frac{pd\omega_{cp}(1-v_0^2)}{E_0 t_c^n} t^n = \frac{0,2 \cdot 30 \cdot 0,795 \cdot (1-0,3^2) \cdot 0,00032^{0,069}}{0,189 \cdot 240^{0,069}} = 9,03 \text{ см}.$$

Упругая деформация

$$s_y = \frac{pd\omega_{cp}}{E_y} = \frac{0,2 \cdot 30 \cdot 0,795}{1,313} = 3,63 \text{ см}.$$

Остаточная деформация

$$s_o = s - s_y = 9,03 - 3,63 = 5,40 \text{ см}.$$

На основании данных вычислений, можно сделать вывод, что в практических целях целесообразно использовать приведенные решения, причем вполне можно рассчитывать на достаточную приемлемость полученных результатов.

Заключение

Результаты исследований позволяют прогнозировать негативное влияние проходов сельскохозяйственных машин на торфяную почву, приводящую к ее разрушению и гибели посевов. В этих целях предложена методика расчета остаточных деформаций торфяной залежи от движителей ходовых систем машин на любой период времени действия подвижной нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зотов, А.А. Влияние сельскохозяйственной техники на агрофизические показатели торфяно-болотных почв под посевами многолетних трав / А.А. Зотов, Н.Н. Шукин. // Почвоведение. – 1996. – №12. – С. 1473 – 1477.
2. Дрозд, П.А. Сельскохозяйственные дороги на болотах: монография / П.А. Дрозд. – Минск.: Урожай, 1966. – 168 с.
3. Грунтоведение: учеб. пособ. / Е.М. Сергеев [и др.]: под общ. ред. Е.М.Сергеева. – М.: Издательство Московского университета, 1971. – 596 с.

Измеритель влажности сырья ИВС-1



Измеритель влажности предназначен для экспресс-измерения влажности сырья (зерна, муки, макаронного теста, готовых макарон, сухарей и т.д.) в лабораторных и перерабатывающих цехах. Прибор обеспечивает измерения влажности от 5 до 40% при изменении основной погрешности от 0,5 до 1,5%. Быстрый контроль влажности сырья, например, при производстве макарон позволяет уменьшить расход муки, снизить риск выхода из строя технологического оборудования, не допустить пересушки макарон и тем самым сократить расход энергии и себестоимость производства.

Автор: Корко В.С., кандидат технических наук, доцент