

К вопросу определения удельных давлений на лесные грунты движителями лесозаготовительных машин

12, декабрь 2016

Клубничкин В. Е.^{1,*}, Клубничкин Е. Е.¹

УДК: 630.37

¹Россия, Мытищи, МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*vklubnichkin@gmail.com

Введение

Лесозаготовительным машинам, создаваемым на базе тракторов, приходится работать в тяжелых почвенно-грунтовых условиях лесосек, когда сила сопротивления движению оказывает значительное влияние на эффективность их работы.

При рассмотрении тягово-сцепных свойств базовых тракторов часто возникает вопрос: об аналитическом определении сопротивления качению трактора вследствие прессования грунта [5, 6, 9, 17].

Основная часть

Анализ опубликованных работ показал, что большинство аналитических формул выведено на основании эмпирической зависимости Берштейна-Летошнева [1, 8]

$$q = Ch^{\mu} \quad (1)$$

где Ch^{μ} - константы грунта.

Использование этой зависимости для аналитического анализа затруднено тем, что параметры грунта C и μ не связаны с физико-механическими параметрами грунтов и размерами опорной поверхности машины и определяются для конкретных условий [7, 11-16].

Доктор технических наук Я.С. Агейкин [2] получил аналитическую зависимость нагрузки-осадки с учетом параметров грунта и опорной поверхности машины для глинистых грунтов при отсутствии близлежащего твердого слоя.

$$q = \frac{\frac{2E}{\pi a} h q_s}{\frac{2E}{\pi a} h + b q_s},$$

где E - модуль деформации грунта, кгс/см²; q_s - величина несущей способности, кгс/см²;

a - коэффициент, характеризующий затухание напряжений в грунте; b - ширина опорной поверхности машины, см; h - погружение опорной поверхности машины в грунт, см. Аналогичная зависимость была предложена Я.В. Слодкевичем и др. [3, 4, 10], в

которой хорошо раскрыты параметры грунта и конструктивные показатели движителя лесозаготовительной машины.

$$h = \frac{2bx\theta q}{E\sqrt{4\frac{x}{\mu}-\mu^2(x-1)^2}} \cdot \frac{q_s}{q_s-q} \cdot \arctg \frac{H\sqrt{4\frac{x}{\mu}-\mu^2(x-1)^2}}{2bx+H\mu(x-1)}, \quad (3)$$

где H - толщина деформируемого слоя грунта;

$x = \frac{L}{b}$; L, b - длина и ширина опорной поверхности машины;

θ, μ - коэффициенты, характеризующие деформируемость грунта.

$$\theta = (1 - \frac{2\mu_0^2}{1-\mu_0});$$

$$\mu = \frac{2\mu_0}{1-\mu_0};$$

μ_0 - коэффициент Пуассона.

После ряда преобразований формулы (2) и (3) можно привести к следующему виду

$$q = \frac{h}{a + \frac{h}{q_s}}, \quad (4)$$

где a - обобщенный параметр грунта и опорной поверхности машины.

Эта зависимость обладает физическим смыслом и включает в себя как параметры движителя (опорной поверхности машины), так и параметры грунта. Однако в результате интегрирования формулы (4) нельзя получить рациональную функцию, что затрудняет использование результатов интегрирования в дальнейших расчетах. Поэтому целесообразно провести анализ диапазона использования указанных выше зависимостей (1) и (4).

Кривая нагрузки-осадки, описываемая формулой (4), достаточно точно может быть аппроксимирована выражением (1)

$$q = \frac{h}{a + \frac{h}{q_s}} \cong Ch^\mu. \quad (5)$$

Преобразовав это тождество, получим выражение для определения расчетного коэффициента осадки грунта C по общепринятым характеристикам грунта: модулю деформации E и величине несущей способности q_s

$$C \cong \frac{1}{h^\mu} \cdot \frac{h}{a + \frac{h}{q_s}}. \quad (6)$$

Из формулы видно, что коэффициент осадки грунта C зависит от глубины погружения опорной поверхности машины. Однако из определения следует, что коэффициент C есть удельная нагрузка, при которой опорная поверхность машины погружается на глубину 10 мм. Тогда из формулы (6) получим

$$C = \frac{q_s}{1 + aq_s}. \quad (7)$$

Ниже приведены расчетные значения коэффициента C для глинистых грунтов в зависимости от влажности грунта и при a , принятом в соответствии с формулой (2), равным b .

Таблица 1. Расчетные значения коэффициента C для глинистых грунтов

V, %	40	60	80	100
E, кгс/см ²	410	240	130	30
q _s , кгс/см ²	5	2,7	1,6	0,8
C	2,56	1,43	0,76	0,258

На рисунке 1 представлены графические зависимости нагрузки-осадки для глинистого грунта $W = 30\%$; $E = 240$ кгс/см².

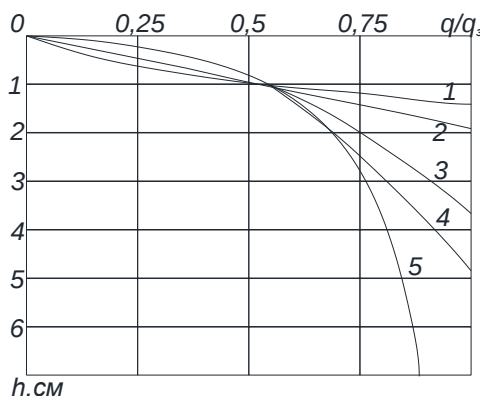


Рис. 1. Зависимости деформации грунта от нагрузки

Кривые 1,2,3,4 рассчитанные по формуле (1) с учетом формулы (7) при μ соответственно равном 0,5; 1; 1,5 и 0,39; кривая 5 - по формуле (4) $q_s = 2,7$ кгс/см²; $a = 1$; $b = 50$ см.

Показатель степени μ в формуле (7) принимался равным 0,5 - кривая 3; 1 - кривая 2; 1,5 - кривая 1.

Из приведенных графиков следует, что при отношении $\frac{q}{q_s} > 0,5$ кривые, подсчитанные по формулам (1) и (4), резко расходятся. Значения, полученные по формуле (1), дают заниженные результаты, что в дальнейшем может привести к неправильным выводам.

Для определения коэффициента μ в уравнении (1), наиболее близко описывающего зависимость по уравнениям (2) или (4), необходимо решить совместно уравнения (1) и (4), по крайней мере, еще для одной точки, соответствующей $h > 1$ см.

Для примера на рисунке построена кривая 5 по уравнению (1) для $\mu = 0,39$, найденного при $h = 2$ см. Даже при этом кривая 5 имеет расхождение с кривой 4 тем больше, чем больше погружение опорной поверхности машины в грунт свыше расчетных точек.

Заключение

В результате анализа представленных зависимостей можно сделать следующие выводы.

Зависимостью (1) можно пользоваться только на плотных грунтах, когда величина удельного давления не превышает значения $0,5 q_s$.

За этим пределом резко возрастает влияние коэффициента μ , который нельзя принимать равным заранее заданной постоянной величине для всего описываемого процесса.

На слабых переувлажненных грунтах при значениях удельных давлений выше $0,5 q_s$ следует пользоваться уравнениями (2) или (4).

Список литературы

- [1]. Бобков В.Ф., Бируля А.К., Сиденко В.М. Проходимость колесных машин по грунту. М.: Автотрансиздат. 1959. 189 с.
- [2]. Агейкин Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. М.: Машиностроение. 1972. 184 с.
- [3]. Слodgeвич Я.В., Котиков В.М., Лобанов В.Н. Определение геометрических размеров гусеничного движителя, обеспечивающих низкие удельные давления на грунт. // Перспективы снижения удельных давлений ходовых систем сельскохозяйственных тракторов и сельскохозяйственных машин. Тезисы докладов. Киев. 1975. С. 79-82.
- [4]. Wong J.Y. Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering. 2nd Edition. Elsevier, Oxford, England. 2010. 488 p. ISBN: 978-0-7506-8561-0.
- [5]. Клубничкин В.Е. Оценка влияния внешних условий на лесозаготовительные машины // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2010. № 6 (75). С. 119-123.
- [6]. Макуев В.А., Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е., Шняков А.В. К вопросу оценки устойчивости шарнирно-сочлененного колесного шасси лесозаготовительной машины // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2015. Т. 19. № 1. С. 111-115.
- [7]. Беляков В.В., Зезюлин Д.В., Колотилин В.Е., Макаров В.С. Подвижность наземных транспортно-технологических машин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. № 4. С. 72-77.
- [8]. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа. 1978. 447 с.
- [9]. Котиков В.М., Еремеев Н.С., Ерхов А.В. Лесозаготовительные и трелевочные машины. М.: Academia. 2004. 336 с.
- [10]. Анисимов Г.М., Большаков Б.М. Основы минимизации уплотнения почвы трелевочными системами. СПб.: ЛТА. 1998. 108 с.
- [11]. Ксенович И.П., Гоберман Л.А., Гоберман В.А. Наземные тягово-транспортные системы / Энциклопедия. В 3-х томах. Т. 3. М.: Машиностроение. 2003. 788 с.
- [12]. Григорьев И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных трелевочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования. СПб.: СПбГЛТА. 2006. 235 с.

- [13]. Макуев В.А., Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е., Шняков А.В. Переходный режим при повороте колесной шарнирно-сочлененной лесозаготовительной машины // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2015. Т. 19. № 1. С. 107-110.
- [14]. Клубничкин Е.Е. Котиков В.М., Клубничкин В.Е. Общая методика исследования проходимости колёсных машин с тандемными тележками, оснащёнными гусеничными цепями // Естественные и технические науки. 2010. № 3. С. 327-334.
- [15]. Базаров С.М., Григорьев И.В., Киселев Д.С., Никифорова А.И., Иванов А.В. Влияние деформации движителей колесно-гусеничных машин на их проходимость по лесосеке // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 4 (16). С. 36-40.
- [16]. Котиков В.М., Клубничкин Е.Е. К вопросу о методике исследования нагруженности гусеничных цепей колесных машин с тандемными тележками // Естественные и технические науки. 2010. № 3(47). С. 321-326.
- [17]. Беляков В.В., Аникин А.А., Бабанов Н.Ю., Барахтанов Л.В. и др. Полотно пути транспортно-технологических машин (справочные материалы к теории «машина-местность»). Учебник / под ред. В.В. Белякова, А.А. Куркина. Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2014. 447 с.