

**ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ ЛИСОВ**

аспирант кафедры технологии лесозаготовительных производств лесоинженерного факультета, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация)  
*lisov-vladimir@yandex.ru*

**ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ ЯЗОВ**

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры сухопутного транспорта лесоинженерного факультета, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация)  
*YazovVN@yandex.ru*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЧВЫ СДВИГУ

Цель данного исследования – определить предельное сопротивление почвы сдвигу под влиянием приложенных к ней касательных (сдвигающих) усилий. Изучение сопротивления почвы сдвигающим усилиям, возникающим в результате воздействия лесозаготовительных машин, имеет большое значение для правильного расчета устойчивости трелевочного волока. Исследования по определению сопротивления почвы сдвигу проводились в октябре 2012 года в лабораторных условиях на сдвиговом приборе. Величина касательных напряжений при сдвиге в одной плоскости определялась на основании закона Кулона. В результате экспериментов были получены зависимости, позволяющие прогнозировать несущую способность почвы и планировать календарный график освоения лесосек.

Ключевые слова: сдвиг почвы, глубина колеи, трелевочный волок

Машинная заготовка древесины оказывает значительную экологическую нагрузку на лесную среду. Серьезное изучение воздействия лесозаготовительных машин на лесную почву началось относительно недавно, с внедрением агрегатной техники [6]. Теорией взаимодействия лесосечных машин и трелевочных систем с почвой занимаются как механики с технологами, так и лесоводы с почвоведами. Отрицательные последствия воздействия лесосечных машин на лесные почвогрунты в ближайшей перспективе могут превратиться в сложную научно-техническую проблему экологического характера.

Особенность взаимодействия ходовых систем лесозаготовительных машин с почвогрунтом заключается в том, что опорная поверхность является сложной биологической средой, обладающей бесценным свойством – плодородием. Физико-механические свойства лесных почвогрунтов и их биологическое назначение во многом схожи со свойствами почв сельскохозяйственных угодий. Лесная почва [3], в отличие от сельхозугодий, в своей структуре содержит развитую корневую систему.

Степень негативного воздействия гусеничного движителя мобильных лесных машин на почву характеризуется интенсивностью колеобразования и величиной ее уплотнения, а также уровнем механической повреждаемости поверхностных корневых систем. В свою очередь, степень уплотнения почвы [2] зависит от числа проходов машины по своему следу, максимального давления движителя на почву, ее исходной пористости, влажности и структуры.

Движение лесных машин по волокам лесосеки сопровождается процессом накопления деформаций, в результате чего растет глубина колеи. С увеличением числа проходов машин по своему следу в зависимости от максимального давления движителя, типа и состояния почвы происходит либо затухание темпов увеличения глубины колеи, либо ее прогрессивный рост. В первом случае в опорном массиве преобладают деформации уплотнения, а во втором – деформации сдвига [4].

Сдвигом почвы называется смещение одной части почвы по отношению к другой в результате бокового (тангенциального) давления [5]. Изучение сопротивления почвы сдвигающим усилиям, возникающим в результате воздействия лесозаготовительных машин, имеет большое значение для правильного расчета устойчивости трелевочного волока. Ухудшение несущей способности трелевочного волока влияет на проходимость, сопровождается возрастанием потерь энергии на буксование движителя, увеличением расхода топлива и разрушением структуры почвы [1].

Сопротивление почвы сдвигу вызывают силы трения, возникающие между соседними частицами, и силы сцепления, обусловленные молекулярным притяжением, поверхностным натяжением тонких водяных пленок, капиллярным давлением и склеиванием частиц естественными вяжущими материалами. Сила трения зависит от зернового состава, влажности, плотности и величины внешней нагрузки [7]. Силы трения в почве удерживают частицы почвы относительно друг друга [8].

Величина касательных напряжений при сдвиге в одной плоскости может быть определена на основании закона Кулона из выражения:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi,$$

где  $c$  – внутреннее сцепление частиц почвы, не зависящее от вертикальной нагрузки, МПа;  $\sigma$  – нормальное напряжение, действующее в плоскости сдвига, МПа;  $\phi$  – угол внутреннего трения, зависящий от вида почвы и ее консистенции,  $^{\circ}$ .

Исследования по определению сопротивления почвы сдвигу проводились в октябре 2012 года в лабораторных условиях. Были взяты 6 образцов почвы с лесосеки, находящейся в квартале № 95 Морозовского Военного лесничества во Всеволожском районе Ленинградской области.

С помощью зернового анализа образцов почвы было установлено:

1. Почва армирована корневой системой подстилающего слоя.
2. Доля крупных корней (диаметром от 2 до 5 мм) составляет 14 %, мелких корней (диаметром до 2 мм) – 30 %. Остальную массу составляет почва.
3. Нижним слоем почвогрунта является песок.

Образец почвы помещался в сушильный шкаф, высушивался до постоянной массы при температуре 105  $^{\circ}$ С. Для получения необходимой влажности в образец почвы добавлялась вода.

Сопротивление почвы сдвигу определялось в соответствии с требованиями ГОСТ 12248-78 на сдвиговом приборе.

Характерные результаты эксперимента приведены в табл. 1. Результаты обработки эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 1

## Результаты эксперимента

№ образца почвы	Влажность почвы, %	Вертикальная нагрузка, $10^{-2}$ МПа	Сдвиговая нагрузка, $10^{-2}$ МПа
1	0	5	7
		10	10
		15	13
2	30	5	6
		10	10
		15	12
3	40	5	6
		10	9
		15	12
4	50	5	6
		10	7
		15	11
5	65	5	5
		10	7
		15	10
6	75	5	4
		10	6
		15	9

Результаты испытаний почвы на сопротивление сдвигу показаны в виде графика (рис. 1), по вертикальной оси отложено максимальное (предельное) сопротивление сдвигу ( $\tau$ ), а по горизонтальной – величина вертикальной нагрузки ( $\sigma$ ).

Зависимость внутреннего сцепления частиц почвы от ее влажности показана на рис. 2. На рис. 3 представлен график зависимости угла внутреннего трения частиц от влажности почвы.

Таблица 2  
Результаты обработки эксперимента

№ образца почвы	Влажность почвы, %	Величина			
		$R^2$	Вид уравнения	$\phi, {}^{\circ}$	$c, 10^{-2}$ МПа
1	0	1	$\tau = 0,6x + 4$	31	4
2	30	0,9643	$\tau = 0,6x + 3,3333$	31	3,3333
3	40	1	$\tau = 0,6x + 3$	31	3
4	50	0,8929	$\tau = 0,5x + 3$	26,6	3
5	65	0,9868	$\tau = 0,5x + 2,3333$	26,6	2,3333
6	75	0,9868	$\tau = 0,5x + 1,3333$	26,6	1,3333

Примечание.  $R^2$  – величина достоверности аппроксимации.

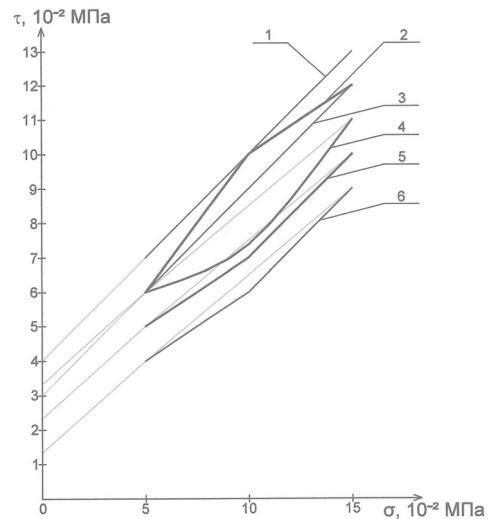


Рис. 1. График зависимости сопротивления почвы сдвигу: 1–6 – номера образцов

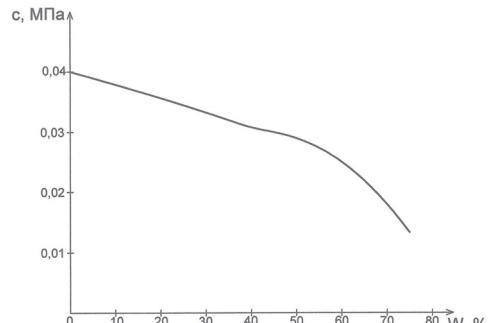


Рис. 2. График зависимости внутреннего сцепления частиц почвы от влажности почвы

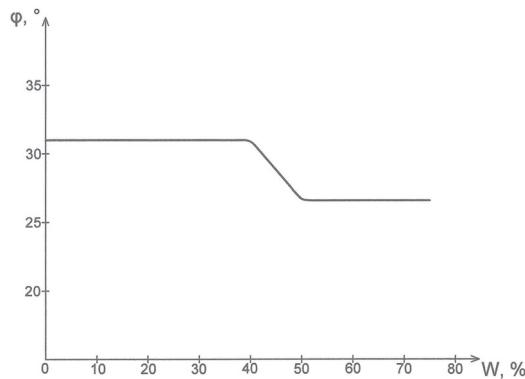


Рис. 3. График зависимости угла внутреннего трения частиц почвы от влажности почвы

На основании полученных экспериментальных данных были сделаны следующие выводы.

1. Чем меньше влажность почвы, тем большие нагрузки она способна выдерживать.

2. Почва выдерживает значительно меньшие нагрузки, чем грунт.

3. Из графика, представленного на рис. 2, видно, что значения величины внутреннего сцепления частиц почвы ( $c$ ) колеблются в диапазоне от  $(1-4) \cdot 10^{-2}$  МПа и обусловливаются корневым армированием почвы. С увеличением влажности сила сцепления частиц уменьшается.

4. Из графика, представленного на рис. 3, видно, что при увеличении влажности угол внутреннего трения ( $\phi$ ) уменьшается.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов Г. М., Кохнёв А. М. Лесотранспортные машины: Учеб. пособие / Под ред. Г. М. Анисимова. СПб.: Издательский дом «Лань», 2009. 448 с.
2. Беккер М. Г. Введение в теорию систем местность-машина. М.: Машиностроение, 1973. 520 с.
3. Вялов С. С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высш. шк., 1979. 448 с.
4. Герасимов Ю. Ю., Суюнев В. С. Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок. Йоэнсуу: Изд-во ун-та Йоэнсуу, 1998. 178 с.
5. Невзоров А. Л. Инженерная геология и механика грунтов: Учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. Архангельск: Изд-во ЛГТУ, 1998. 116 с.
6. Рогожин Л. Н., Григорьев М. Н. Лесоводственная оценка машины ВТМ-4 // Лесная промышленность. 1972. № 6. С. 17–18.
7. Турина Н. А., Бессараб Г. А., Язов В. Н. Дорожно-строительные материалы и машины: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 304 с.
8. Цыпович Н. А. Механика грунтов: Учебник для вузов. М.: Высш. шк., 1979. 272 с.

**Lisov V. Yu.**, Saint Petersburg Forest Engineering University (St. Petersburg, Russian Federation)  
**Yazov V. N.**, Saint Petersburg Forest Engineering University (St. Petersburg, Russian Federation)

#### EXPERIMENTAL DETERMINATION OF SOIL SHEAR RESISTANCE

The purpose of the study is to determine the ultimate shear resistance of the soil under the influence of (shear) force applied to it. The study of the soil resistance to shear forces resulting from the impact of harvesting machines is meaningful for correct calculations of the skidding trail stability. Studies determining shear resistance of the soil were held in laboratory conditions in October of 2012. The value of the tangential stress under shear in a singular plane was defined with the help of Coulomb law. Correlations obtained in the course of the experiment are facilitative in the soil's bearing capacity forecasting and calendar scheduling of cutting areas' development.

Key words: the shift of the soil, the depth gauge, skid trail

#### REFERENCES

1. Anisimov G. M., Kochnev A. M. *Lesotransportnye mashiny* [Timber-hauling machinery]. St. Petersburg, Publishing house “Lan”, 2009. 448 p.
2. Beker M. G. *Vvedenie v teoriyu sistem mestnost'-mashina* [Introduction to terrain-vehicle systems]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1973. 520 p.
3. Vyalov S. S. *Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov* [Rheological fundamentals of soil mechanics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1979. 448 p.
4. Gerasimov Yu. Yu., Suyunev V. S. *Ekologicheskaya optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov i mashin dlya lesozagotovok* [Ecological optimization of processes and machines for harvesting]. Joensuu, The University of Joensuu Publ., 1998. 178 p.
5. Nevezorov A. L. *Inzhenernaya geologiya i mekhanika gruntov* [Engineering geology and soil mechanics]. Arkhangelsk, LGTU Publ., 1998. 116 p.
6. Rogozhin L. N., Grigor'ev M. N. Silvicultural evaluation of machine VTM-4 [Lesovodstvennaya otsenka mashiny VTM-4]. *Lesnaya promyshlennost'* [Timber industry]. 1972. № 6. P. 17–19.
7. Turyin N. A., Bessarab G. A., Yazov V. N. *Dorozhno-stroitel'nye materialy i mashiny* [Road construction materials and machinery]. Moscow, Publishing center “Academy”, 2009. 304 p.
8. Tsyopovich N. A. *Mekhanika gruntov* [Soil mechanics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1979. 272 p.

Поступила в редакцию 12.11.2012