

УДК 630*375.4

В.Е. Клубничкин¹, Е.Е. Клубничкин¹, В.С. Макаров², Д.В. Зезюлин², В.В. Беляков²**О ПРОХОДИМОСТИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ГУСЕНИЧНОМ ХОДУ И АГРЕГАТНЫХ МАШИН НА ИХ БАЗЕ**

Мытищинский филиал ФГБОУ ВО

«Московский государственный технический университет им Н.Э. Баумана»¹,
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева²

Рассматривается актуальность проблемы повышения проходимости лесозаготовительных машин, исследуемой с учетом механики грунтов. Представлены характеристики почвенно-грунтовых условий, а также зависимости от уклона местности на лесопокрытых территориях Российской Федерации. Приведены основные конструктивные параметры гусеничных лесозаготовительных машин, влияющие на их проходимость. Статья содержит вывод о необходимости работы по комплексной программе, включающей решение следующих вопросов: повышение проходимости серийных и модернизированных гусеничных лесозаготовительных машин; модернизация серийно выпускаемых машин; научно-исследовательские работы по повышению проходимости гусеничных лесозаготовительных машин; создание стендов предназначенных для проведения испытаний на проходимость лесозаготовительных машин. В статье использованы методы комплексного анализа. Представлены критерии производительности и топливной экономичности гусеничных машин.

Ключевые слова: гусеничная лесозаготовительная машина, гусеничный движитель, проходимость, почвенно-грунтовые условия.

Применение новой прогрессивной техники обеспечивает рост производительности труда на трелевке леса. В настоящее время на лесозаготовительные предприятия поступают лесные машины, позволяющие исключить ручной труд человека. Однако эксплуатационная масса новых машин увеличивается из-за оснащения тяжелым технологическим оборудованием [10, 12, 24]. Это приводит к тому, что лесозаготовительные машины оставляют глубокие колеи при движении по снегу и переувлажненным грунтам, в результате чего учащается потеря их подвижности соответственно и проходимости [2, 3, 15, 26-30].

В связи с уменьшением лесосырьевых баз, расположенных на равнинной местности с грунтами, характеризующимися хорошей несущей способностью, отрицательное влияние этого фактора на эффективность лесозаготовительного процесса возрастает. Лесозаготовки смещаются в районы с более тяжелыми почвенно-грунтовыми условиями (заболоченная местность, низины и др.). Поэтому на сегодняшний день остро стоит вопрос о повышении проходимости гусеничных лесозаготовительных машин на базе лесопромышленных тракторов ТТ-4М, ЛЗ-4, Онежец-320 и Онежец-330.

Проблема проходимости очень сложна, и до настоящего времени нет единого критерия, позволяющего достаточно полно оценить по проходимости лесозаготовительную машину или агрегатную машину на её базе [4]. Данная проблема рассматривается на стыке двух наук: механики грунтов и механики машин.

В зависимости от почвенно-грунтовых условий лесопокрытые площади России подразделяют на четыре категории.

К первой категории грунтов относят песчаные и каменистые почвы, позволяющие работать лесозаготовительным машинам в течение всего года с двухнедельным перерывом в весенний период.

Ко второй категории грунтов относят супесчаные почвы, мелкие суглинки. Эти почвы выдерживают многократный проход машин по одному следу. В периоды весенней и осенней распутицы и в дождливые летние месяцы несущая способность их падает и работа лесозаготовительных машин в эти периоды наносит вред растительному слою, образуя колею.

К третьей категории грунтов относят глинистые почвы, супеси с глиняными прослойками. Грунты третьей категории имеют повышенную влажность в течение всего теплого периода года. Трелевочные тракторы, в особенности колесные, быстро разрушают растительный слой на волоках, образуя глубокие колеи. Для обеспечения работы трелевочных машин волока приходится выстилать сучьями и древесиной, что приводит к дополнительным затратам при трелевке леса. В дождливые годы волоки превращаются в плывуны, вызывая сильную загрязненность древесины.

К четвертой категории грунтов относят торфянисто-болотные и перегнойно-глеевые почвы. Леса, произрастающие на таких почвах, имеют низкий бонитет, малый эксплуатационный запас древесины на 1 га. Эксплуатация таких лесов возможна в зимний период, когда почва промерзнет на глубину, достаточную для прохождения лесозаготовительной техники.

Процентное соотношение лесных насаждений по категориям грунтов и высота снежного покрова представлены в табл. 1.

С учетом того, что основное лесозэксплуатационное значение имеют лесонасаждения, произрастающие на почво-грунтах I, II и III лесозэксплуатационных категорий, а также возможность разработки лесосек с почво-грунтами IV категории в зимний период или механизированными методами с помощью гусеничной техники область применения колесных погрузочно-транспортных машин ограничена почво-грунтами I, II и III лесозэксплуатационных категорий.

На основании данных табл. 1 наибольшая высота снежного покрова, преодолеваемого машинами, принята равной 1 м, что практически полностью обеспечивает возможность работы машин по снегу на всей лесопокрытой территории.

Распределение лесопокрытых площадей по крутизне склонов представлено в таблице 2, откуда следует, что лесопокрытые площади с крутизной склонов более 15 градусов сосредоточены в основном в Сибирском и Дальневосточном Федеральных округах, в том числе в Иркутской области, республике Бурятия, в Хабаровском крае и Амурской области. В целом по федеральным округам, представленным в табл. 2, лесопокрытые площади с крутизной склонов более 15 градусов занимают не более 3,3% от всей лесопокрытой площади.

В результате проблема повышения проходимости лесозаготовительных машин, исследуемая с учетом механики грунтов, является актуальной. Проводится модернизация базовых гусеничных лесозаготовительных машин с учетом механики трактора, в первую очередь, с целью повышения надежности машин, улучшения ремонтпригодности, приспособленности к техническим уходам и снижения затрат на них, а также их эргономических качеств. При этом, как правило, неуклонно возрастает масса машин, что приводит к снижению проходимости. К примеру, в результате модернизации масса базовых тракторов Онежец-330 и ТТ-4М увеличилась соответственно на 1250 кг и 1600 кг.

Проведение научно-исследовательских работ дали возможность наметить пути улучшения проходимости гусеничных лесозаготовительных машин [1, 5, 7, 9, 11, 13, 16, 19, 22, 23, 25]. Однако в полном объеме практическое внедрение данных рекомендаций возможно только в разработках новых конструкций лесозаготовительных машин (агрегатов на их базе), требующих больших капитальных вложений.

Проходимость – это комплексное эксплуатационное качество, которое характеризует приспособленность машины для работы в условиях бездорожья, определяет в значительной степени технический уровень и экономическую эффективность в этих условиях и объединяет следующие свойства [20, 21, 31-33]:

- тягово-сцепные, оцениваемые коэффициентом сцепления гусениц с грунтом и сопротивлению качению машины, а также буксованием;
- опорные, оцениваемые несущей способностью гусениц и определяемые средним удельным давлением на грунт, коэффициентом смещения центра давления и отношением шага гусеницы к шагу катков;
- конструктивно-высотные, характеризующие способность трактора двигаться по сла-

бым грунтам без создания "бульдозерного эффекта" и оцениваемые отношением конструктивного дорожного просвета к расчетной глубине колеи, а также профилем днища межгусеничного пространства;

- поворотные, которые оцениваются радиусом горизонтального поворота, при этом не происходит потери проходимости и существенного ухудшения тягово-сцепных свойств.

Таблица 1

Распределение лесных насаждений в % по категориям грунтов и высоте снежных покровов

	Категории грунтов				Высота снежного покрова, см	
	I	II	III	IV	Средняя	Максимальная
<i>Центральный ФО</i>						
Костромская область	1	45	35	19		
<i>Северо-Западный ФО</i>						
Архангельская обл.	3	27	30	40	75	107
Вологодская обл.	1	32	34	33		
Республика Коми	4	30	18	48	55	82
Республика Карелия	8	32	38	22	87	118
Ленинградская обл.	6	52	10	32	41	62
Новгородская обл.	3	44	20	33	55	86
<i>Приволжский ФО</i>						
Кировская обл.	1	37	28	34		
Нижегородская обл.	3	49	29	19	68	85
Пермский край	10	44	28	18		
Республика Башкирия	15	55	30	2		
Республика Удмуртия	1	38	47	14		
<i>Уральский ФО</i>						
Свердловская обл.	1	27	39	33	49	69
Тюменская обл.	6	15	19	60	81	97
<i>Сибирский ФО</i>						
Томская обл.	3	24	43	25		
Кемеровская обл.	2	47	46	5		
Красноярский край	6	39	52	3	35	57
Иркутская область	4	44	34	18		
Республика Бурятия	4	64	29	3		
<i>Дальневосточный ФО</i>						
Хабаровский край	12	41	30	17	38	60
Амурская область	6	11	62	21		

Таблица 2

Распределение лесопокрытых площадей по крутизне склонов, %.

Наименование Федеральных округов и областей	Площадь, покрытая лесом млн га		Крутизна склонов		
	всего	пригодной для экспл.	До 15 ⁰	16-25 ⁰	26 ⁰ и более
1	2	3	4	5	6
Центральный ФО	16,4	9,6			
Костромская область	3,7	3,1	100	-	-
Северо-Западный ФО	110,1	55,5			
Архангельская обл.	27,1	15,1	100	-	-
Вологодская обл.	8,7	6,2	100	-	-
Республика Коми	38,7	17,8	99,8	0,2	-
Республика Карелия	14,8	7,7	100	-	-
Ленинградская обл.	7,7	2,6	100	-	-
Новгородская обл.	4,7	2,7	100	-	-
Приволжский ФО	34,5	24,1			
Кировская обл.	6,3	5,3	100	-	-
Нижегородская обл.	3,1	2,3	100	-	-
Пермский край	10,4	7,9	96,5	3	0,5
Республика Башкирия	5,7	3,8	92	7	1
Республика Удмуртия	1,6	1,18	100	-	-
Уральский ФО	110,3	38,3			
Свердловская обл.	13,7	7,9	98,9	0,9	0,2
Тюменская обл.	10,2	4,48	100	-	-
Сибирский ФО	355,5	98,0			
Томская обл.	26,7	12,3	100	-	-
Кемеровская обл.	4,2		75	17	8
Красноярский край	59,1	22,7	98	1,4	0,6
Иркутская область	68,2	24,4	78	17	5
Республика Бурятия	27,9	6,1	62	28	10
Дальневосточный ФО	501,5	102,4			
Хабаровский край	75,2	20,5	77	16	7
Амурская область	30,7	17,76	81	17	2

В табл. 3 приведены основные конструктивные параметры гусеничных лесозаготовительных машин, влияющие на проходимость.

Поскольку основным критерием оценки работы любой, в том числе и гусеничной лесозаготовительной машины, является её производительность, предлагается показатель Π для сравнительной оценки проходимости, характеризующий снижение производительности машины на грунтах с низкой несущей способностью или снежной целине по сравнению с производительностью на плотных грунтах или укатанной снежной дороге.

$$\Pi = \frac{Q_{P_1} \cdot V_1}{Q_{P_2} \cdot V_2}, \quad (1)$$

где Q_{P_1} и Q_{P_2} - рейсовая нагрузка на машину при движении по грунту с низкой несущей способностью или снежной целине и соответственно плотному грунту или укатанной снежной дороге, (м^3), V_1 и V_2 - максимально возможная средняя скорость гусеничной лесозаготовительной машины соответственно в таких же условиях, (км/ч). Более обобщающим показателем проходимости Π_0 можно считать критерий, отражающий топливную экономичность машины:

$$\Pi_0 = \frac{Q_{P_1} \cdot V_1}{G_{T_1}} : \frac{Q_{P_2} \cdot V_2}{G_{T_2}}, \quad (2)$$

где G_{T_1} и G_{T_2} - расход топлива на единицу пройденного пути соответственно в указанных условиях (г/км).

Таблица 3

Основные конструктивные параметры исследуемых гусеничных лесозаготовительных машин

№ п/п	Показатели	Марка лесозаготовительной машины				
		ТТ-4М	ЛП-18А	ЛЗ-4	Онежец-320	Онежец-330
1	Эксплуатационная масса, кг	14460	16600	15900	12100	13700
2	Мощность двигателя, кВт	96	81	95,6	88,2	88,2
3	Число опорных катков	5	5	6	4	4
4	Длина опорной поверхности гусеницы, мм	2880	2720	3322	2310	2310
5	Ширина гусеницы, мм	550	500	550	600	600
6	Площадь опоры гусениц, м^2	3,17	2,72	3,65	2,77	2,77
7	Отношение опорной поверхности длины гусеницы к ширине	5,24	5,44	6,04	3,85	3,85
8	Дорожный просвет, мм	537	537	535	550	550
9	Среднее удельное давление на грунт, кПа	42	55,8	46	30	35
10	Угол наклона лобового участка гусеницы, град	26	22	27	26	26

С целью наиболее объективной оценки проходимости гусеничной лесозаготовительной машины необходимо исключить влияние мастерства управления оператором, которое имеет важное значение.

При проведении испытаний гусеничных тракторов и лесозаготовительных машин на их базе признано целесообразным оценивать также их проходимость по грунтам с низкой несущей способностью и снежной целине [6, 8, 14, 17, 18].

В решении проблемы проходимости важным шагом является работа по комплексной программе, включающей решение следующих вопросов: повышение проходимости серийных и модернизированных гусеничных лесозаготовительных машин; модернизация серийно выпускаемых машин; научно-исследовательские работы по повышению проходимости гусеничных лесозаготовительных машин; создание стендов предназначенных для проведения испытаний на проходимость лесозаготовительных машин.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации проект № 1547.

Библиографический список

1. Клубничкин, В.Е. Исследование кинематики и динамики движителя гусеничной лесозаготовительной машины / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, Л.Д. Бухтояров // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т. 4. – №4 (16). – С. 179–190.
2. Борисов, В.А. Глубина колеи и потеря подвижности в результате буксования гусеничной лесозаготовительной машины / В.А. Борисов, Н.И. Казначеева, Д.В. Акинин // Национальная Ассоциация Ученых. – 2015. – № 10-1 (16). – С. 11-14.
3. Клубничкин, В.Е. Моделирование движения гусеничных машин по лесным дорогам /

- В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, А.В. Редкозубов, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2016. – № 1. – С. 171–176.
4. **Миркин, С.Н.** Влияние микропрофиля на буксование гусеничного движителя / С.Н. Миркин, С.А. Черябриков // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2006. – № 3. – С. 32–33.
 5. **Клубничкин, Е.Е.** Конечно-элементное моделирование ходовой системы гусеничной лесозаготовительной машины // Автомобильная промышленность. – 2009. – № 2. – С. 29–30.
 6. **Котович, С.В.** Методика упрощенного определения некоторых тягово-динамических свойств транспортных средств и ее применение на ранних стадиях проектирования. Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2004. № 3. – С. 27–33.
 7. **Клубничкин, В.Е.** Модель взаимодействия элементов опорной поверхности гусениц лесозаготовительной машины с грунтом / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, В.И. Запруднов, Л.Д. Бухтояров, Д.Ю. Дручинин, С.В. Малюков // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т. 4. – №4 (16). – С. 191–200.
 8. **Janarthanan, B.** Longitudinal dynamics of a tracked vehicle: Simulation and experiment / B. Janarthanan, C. Padmanabhan, C. Sujatha // Journal of Terramechanics. – 2012. – № 49. – P. 63–72.
 9. **Клубничкин, Е.Е.** Анализ процесса качения гусеничного движителя / Е.Е. Клубничкин, В.Е. Клубничкин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – №3-4 (8-4). – С. 226–230.
 10. **Воскобойников, И.В.** Обоснование выбора системы гусеничных лесозаготовительных машин для совершенствования технологических процессов лесосечных работ / И.В. Воскобойников, Д.В. Кондратюк // Технология колесных и гусеничных машин. – 2015. – № 5. – С. 55–64.
 11. **Клубничкин, В.Е.** Современное программное обеспечение для проведения исследований по нагрузкам, устойчивости и проходимости машин / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3. – №5-1 (16-1). – С. 209–214.
 12. **Гоberman, В.А.** Колесные и гусеничные машины. Математическое моделирование и анализ технико-эксплуатационных свойств: учеб. пособие / В.А. Гоberman, Л.А. Гоberman. – М.: МГУЛ, 2002. – 322 с.
 13. **Klubnichkin, V.E.** Model to calculate loading of transmission elements at controlled curvilinear motion of the tracked timber harvesting machine / V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, V.I. Zaprudnov, L.D. Bukhtoyarov, S.V. Malyukov, D.Yu. Druchinin // Лесотехнический журнал. – 2015. – Т. 5. – №2 (18). – С. 166–176.
 14. **Макаров, В.С.** Характер изменения снежного покрова как полотна пути с учетом неравномерности его залегания на местности / В.С. Макаров, А.В. Папунин, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №4. – С. 33.
 15. **Клубничкин, Е.Е.** Моделирование дорожных условий гусеничной лесозаготовительной машины. Естественные и технические науки. – 2005. – №6. – С. 237–243.
 16. **Макаров, В.С.** Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течении зимнего периода / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, А.В. Папунин, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2013. – №2(99). – С. 155–160.
 17. **Gigler, J.K.** Design of a simulation model for the prediction of the ground pressure distribution under tracked vehicles. Internal Report, Agricultural & Food Engineering Dept., University College, Dublin (1992)
 18. **Wong, J.Y.** Development of high-mobility tracked vehicles for over snow operations. Journal of Terramechanics. – 2009. – № 46(4). – P. 141–155.
 19. **Редкозубов, А.В.** Математическая модель поверхности движения лесных дорог / А.В. Редкозубов, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2014. – № 4 (106). – С. 348–352.
 20. **Беляков, В.В.** Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков, А.М. Беляев, М.Е. Бушуева, У.Ш. Вахидов, К.О. Гончаров, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, К.Я. Лелиовский, В.С. Макаров, А.В. Папунин, А.В. Тумасов, А.В. Федоренко // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2013. – №3(100). – С. 145–174.
 21. **Беккер, М.Г.** Введение в теорию систем местность-машина: [пер. с англ.] / М.Г. Беккер; под ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.

22. **Mezyk, A.** Modelling and Investigation of Dynamic Parameters of Tracked Vehicles / A. Mezyk, E. Switoski, S. Kciuk, W. Klein // *Mechanics and Mechanical Engineering*. – 2011. – Vol. 15. – № 4. – P. 115–130.
23. **Клубничкин, Е.Е.** Повышение долговечности ходовых систем гусеничных лесозаготовительных машин // *Техника и технология*. – 2005. – №5. – С. 58–62.
24. **Котиков, В.М.** Лесозаготовительные и трелевочные машины / В.М. Котиков, Н.С. Еремеев, А.В. Ерхов. – М. : Лесная промышленность, 2004. – 336 с.
25. **Клубничкин, Е.Е.** Анализ путей повышения качества систем поддрессоривания гусеничных лесозаготовительных машин. – 2005. – №5. – С. 157–161.
26. **Котиков, В.М.** Воздействие лесозаготовительных машин на лесные почвы: дисс. ... д-ра техн. наук. – М.: МЛТИ, 1995. – 214 с.
27. **Зезюлин, Д.В.** Влияние параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снегу / Д.В. Зезюлин, У.Ш.Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – № 5. – С. 84.
28. **Беляков, В.В.** Подвижность специальных транспортных средств по дорогам типа «stone-road» / В.В.Беляков, У.Ш. Вахидов, Д.А.Галкин, А.С.Зайцев, Е.М.Кудряшов, В.С. Макаров // *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева*. – 2012. – № 1 (94). – С. 143–151.
29. **Беляков, В.В.** К вопросу выбора экспериментальных данных для составления статистических моделей снежного покрова как полотна пути для транспортно-технологических машин / В.В.Беляков, Д.В. Зезюлин, В.Е.Колотилин, В.С.Макаров, А.В. Федоренко // *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева*. – 2014. – № 1 (102). – С. 136–141.
30. **Макаров, В.С.** Снег как полотно пути для транспортных средств / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2014. – № 4. – С. 21–24.
31. **Гончаров, К.О.** Проведение замеров микропрофиля поверхности движения типа ровное поле / К.О.Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // *Леса России и хозяйство в них*. – 2012. – Т. 1–2. – № 42–43. – С. 29–30.
32. **Вахидов, У.Ш.** Моделирование трасс движения транспортных средств, характерных для территории Северного Кавказа / У.Ш. Вахидов, В.В. Беляков, В.С. Макаров // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. – 2011. – № 7. – С. 24–26.
33. **Гончаров, К.О.** Экспериментальные исследования многоосной колесной машины / К.О. Гончаров, В.С.Макаров, В.В. Беляков // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. – 2010. – № 12. – С. 10.

*Дата поступления
в редакцию 28.10.2016*

Е.Е. Klubnichkin¹, V.E. Klubnichkin¹, V.S. Makarov², D.V. Zeziulin², V.V. Belyakov²

ABOUT TRAFFICABILITY OF TRACKED TIMBER HARVESTING MACHINES AND AGGREGATION MACHINES BASED ON THEM

Moscow State Technical University. n.a. N.E. Bauman (Mytishchi branch)¹,
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeyev²

The article discusses the relevance of the problem of increasing of trafficability of timber harvesting machines, which is investigated in view of soil mechanics. Characteristics of soil conditions and data on terrain slopes of wooded areas of the Russian Federation are presented. Design parameters of timber harvesting machines, influencing their trafficability, are shown. The article concludes about the necessity of work on a comprehensive program, including the following issues: increasing of trafficability of serially produced and modernized tracked forest machines; modernization of serially produced machines; research and development to improve the trafficability of tracked timber harvesting machines; creation of test-benches, intended for evaluation of trafficability of forest machines. There are used methods of complex analysis in the article. Criteria for performance and fuel economy of tracked vehicles are presented.

Key words: tracked timber harvesting machines, tracked mover, trafficability, soil conditions.