

УДК 625.711.84

П. А. Протас, Ю. И. Мисуно

Белорусский государственный технологический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ КОЛЕСНОГО ДВИЖИТЕЛЯ
ФОРВАРДЕРА «АМКОДОР 2661-01» НА ОПОРНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ**

Одними из широкоприменяемых и перспективных машин при заготовке сортиментов на лесосеке в Республике Беларусь являются специализированные колесные форвардеры. Для адаптации данного типа машин к сложным условиям работы на заболоченных участках и снижения негативного воздействия на лесной почвогрунт ведется работа по усовершенствованию конструкции колесного движителя и технологического процесса лесосечных работ. В рамках решения данного вопроса важным этапом является изучение взаимодействия колесного движителя с опорной поверхностью.

В данной статье приводятся методика и результаты экспериментальных исследований по оценке давления колесного движителя форвардера «Амкодор-2661-01» на жесткое опорное основание. Результаты проведенных исследований позволили выявить ряд направлений для дальнейшей работы по совершенствованию колесных движителей и конструкции машин в целом. Кроме того, рассмотрены основные вопросы износа и снижения срока эксплуатации шин лесотранспортных машин при проведении работ на заболоченных лесосеках.

Ключевые слова: форвардер, колесный движитель, давление, площадь контакта, шины.

P. A. Protas, Yu. I. Misuno

Belarusian State Technological University

**INVESTIGATION OF THE PRESSURE OF THE FORWARDER
“AMKODOR 2661-01” WHEELER ON THE BASE SURFACE**

One of the widely used and promising machines for the preparation of round timber on logging area in the Republic of Belarus are specialized wheeled forwarders. To adapt this type of machine to difficult working conditions in wetlands and reduce the negative impact on forest soil, work is underway to improve the design of the wheeled propulsor and the technological process of logging operations. Within the framework of the solution of this issue, an important stage is the study of the interaction of the wheel with the supporting surface.

In this article, the methodology and results of experimental studies on the pressure evaluation of the wheeled forwarder “Amkodor-2661-01” on a rigid support base are presented. The results of the conducted studies made it possible to identify a number of directions for further work on improving wheel and the design of machines in general. In addition, the main issues of deterioration and reduction of the life of tires of forest transport vehicles during work on wetlands are discussed.

Key words: forwarder, wheel propulsion, pressure, contact area, tires.

Введение. Для освоения заболоченного лесосечного фонда в Республике Беларусь в основном применяются лесные машины, выполненные на базе специализированных шарнирно-сочлененных шасси с колесной формулой 6К6 и 8К8 (харвестеры и форвардеры) или на базе тракторов общего назначения 4К4 (трелевочные машины с канатно-чокерным оборудованием).

Исходя из существующей проблемы обеспечения эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами [1, 2], на отечественных и зарубежных машиностроительных предприятиях активно ведется работа по усовершенствованию конструкции колесных движителей с учетом обеспечения допустимого воздействия на почву. Решение данного вопроса должно осуществляться на

основании исследований взаимодействия главных элементов движителя (колеса и шины) с опорным основанием.

Несмотря на то, что изучению взаимодействия шин с поверхностью движения уделялось большое внимание, специфика работы колесного движителя в тяжелых почвенно-грунтовых условиях лесосеки до сих пор полностью не исследована. Данное взаимодействие носит нелинейный характер из-за присутствующих геометрических и контактных нелинейностей и включает сложные модели (конфигурации шин и/или почвогрунта). На реакции шины и опорного основания оказывают влияние множество факторов: вертикальная нагрузка, внутреннее давление в шине, скорость движения, возможное положительное или отрицательное проскальзывание и др. [3].

Методы оценки взаимодействия движителя с опорным основанием варьируются от простых аналитических или эмпирических методов до сложных численных анализов и экспериментальных исследований. Выбор метода, который будет использоваться, зависит от желаемой точности результатов в сочетании с доступными вычислительными и измерительными возможностями [3].

Во многих теоретических исследованиях [4, 5, 6] колесо с пневматической шиной отражено в динамических моделях весьма упрощенно, с помощью сосредоточенной массы, связанной с дорогой упругими и диссипативными элементами, через которые на массы со стороны дороги передается кинематическое воздействие, повторяющее профиль пути.

В реальных условиях процесс взаимодействия шины с опорной поверхностью более сложный и происходит с образованием пятна контакта, в пределах которого контактное давление распределено неравномерно [7].

Одним из основных показателей воздействия на опорное основание колесного движителя является его давление [8].

Основная часть. При проектировании технологического процесса лесосечных работ на заболоченных лесосеках и выборе системы машин должны учитываться два основных фактора:

- технические характеристики машины позволяют обеспечить ее проходимость в заданных почвенно-грунтовых условиях;

- после проведения работ на лесосеке состояние почвогрунта будет пригодным для выполнения последующих работ по лесовосстановлению.

Два этих взаимосвязанных фактора являются основой оценки эксплуатационно-экологической совместимости движителя лесной машины и почвогрунта. Ранее в предыдущих работах для проведения данной оценки был предложен ряд критериев, которые были определены из необходимости соблюдения условий по обеспечению эффективной работы лесной машины с минимальным ущербом для почвогрунта [1]. Одним из определяющих оценочных критериев является давление движителя на опорную поверхность. Это связано с тем, что давление оказывает влияние не только на почву, но и на тягово-сцепные свойства ходовой системы и в целом на конструкцию лесных машин [9].

Оказываемое движителем давление на почвогрунт определяется весом машины и перевозимого груза, конструктивными параметрами ходовых систем, количеством проходов машины по одному следу. Уплотнение почвогрунта под действием нагрузки от движителя будет зависеть от механического состава

почвы, ее влажности, удельного давления на почву и вибрации.

Экспериментальные исследования. В рамках проводимых исследований были выполнены экспериментальные исследования по оценке взаимодействия колесного движителя с опорным основанием.

Исследования проводились на базе Негорельского учебно-опытного лесхоза возле боксов кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. В качестве объекта исследования была выбрана погрузочно-транспортная машина (форвардер) «Амкодор-2661-01». Общий вид форвардера показан на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид форвардера «Амкодор-2661-01»

Форвардер «Амкодор-2661-01» представляет собой колесную самоходную машину с шарнирно-сочлененной рамой. На нем установлено 6 колес с пневматической широкопрофильной шиной [10]. В табл. 1 даны технические характеристики шин, устанавливаемых на колеса форвардера «Амкодор-2661-01».

Таблица 1

Технические характеристики шин форвардера «Амкодор-2661-01»

Параметр	Значение
Передние шины 30,5L-32LS	
Норма слойности	12
Наружный диаметр, мм	1800
Ширина профиля, мм	775
Внутреннее давление в шине, кПа	140
Задние шины 700/50-26,5	
Норма слойности	16
Наружный диаметр, мм	1350
Ширина профиля, мм	700
Давление в шине, кПа	220

Проведение экспериментальных исследований включало в себя определение таких показателей, как давление колес на опорное основание,

распределение нагрузки на колеса форвардера при выполнении погрузочно-разгрузочных операций и в зависимости от рейсовой нагрузки. Кроме того, было изучено влияние внутреннего давления воздуха в шинах и рейсовой нагрузки на показатель площади контакта колеса с опорным основанием.

При проведении экспериментальных исследований по оценке давления и распределения нагрузки на оси для записи параметров использовалась измерительная аппаратура в составе восьмиканального многофункционального измерительного усилителя Spider 8 и портативного переносного компьютера (рис. 2, а). Регистрация силовых параметров производилась тензометрическими датчиками вертикальных нагрузок УД-1 (рис. 2, б). Для определения массы сортиментов использовался датчик силы U9B (рис. 2, в) фирмы НВМ.



а



б

в

Рис. 2. Измерительное оборудование:
а – многофункциональный измерительный усилитель Spider 8; б – тензометрические датчики вертикальных нагрузок УД-1; в – датчик силы U9B

Питание измерительного комплекса осуществлялось от аккумуляторов «Зубр Standard» (60Ah).

Порядок выполнения экспериментальных исследований следующий.

Сначала проводятся все измерения для порожнего форвардера. Предварительно при помощи компрессора устанавливалось номиналь-

ное внутреннее давление воздуха в шинах: для передних колес 30,5L-32LS – 140 кПа, для задних 700/50-26,5 – 300 кПа (табл. 1).

Измерения включали в себя определение параметров отпечатков колес передней и задней осей форвардера на жестком основании и нагрузки под колесами форвардера.

При определении реакции опоры варьируемыми параметрами использовались рейсовая нагрузка, вылет стрелы и угол поворота манипулятора. Изменение положения манипулятора осуществлялось в соответствии со схемой, представленной на рис. 3.

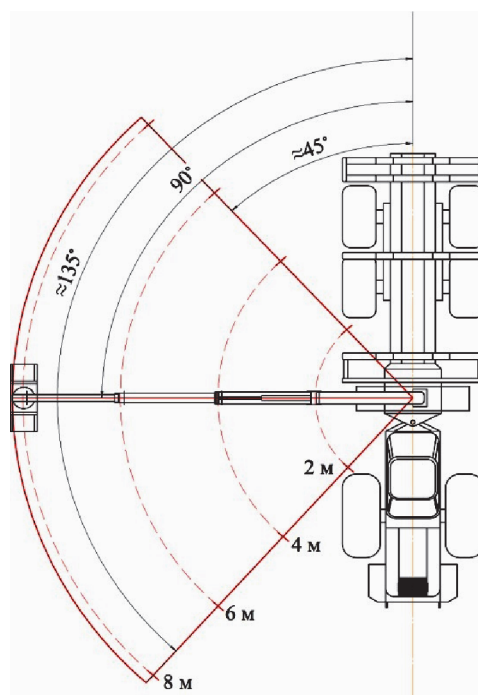


Рис. 3. Схема изменения положения манипулятора форвардера

Дальнейшие измерения повторялись для полностью загруженного и на половину загруженного форвардера. При этом в каждом случае определялись параметры отпечатков всех колес. Суть измерения заключалась в нахождении длины и ширины отпечатка колеса на опорное основание при варьировании внутреннего давления воздуха в шине. Так как отпечаток колеса представляет собой продолговатый эллипс (рис. 4), то площадь отпечатка определялась по формуле

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot L \cdot B,$$

где L – длина отпечатка, м; B – ширина отпечатка, м.

Перемещение манипулятора осуществлялось с правой стороны форвардера, поэтому основные нагрузки приходились на правые колеса передней и задней осей.

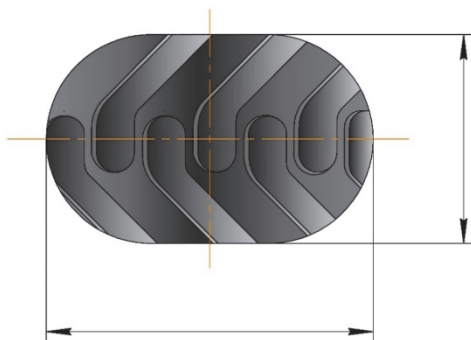


Рис. 4. Отпечаток колеса

Результаты проведенных исследований показаны в табл. 2–4.

Проведенный анализ табл. 2 показал, что максимальное значение давления колеса (5651 кг) возникло при угле поворота манипулятора на 135° со стороны работы манипулятора под передним правым колесом. Также было отмечено изменение давления колес при изменении вылета манипулятора с 2 до 8 м. Так, давление правого колеса передней оси в среднем увеличилось на 4,5%, правых задних колес – на 12%. Давление левого колеса передней оси снизилось на 3,6%, а задних левых – в среднем на 21%.

Проанализировав данные, представленные в табл. 3, можно отметить: по мере увеличения

массы трельюемых сортиментов распределение нагрузки на оси форвардера изменялось в сторону увеличения для задней оси и уменьшения для передней. Наиболее равномерное распределение нагрузок на оси происходило при загрузке грузовой платформы форвардера на половину. При полностью загруженной грузовой платформе давление передних колес уменьшается в 2,2 раза, а переднего и заднего тандемов увеличивается соответственно на 3,8 и 5,9%.

Результаты исследований оценки влияния внутреннего давления воздуха в шине и рейсовой нагрузки на площадь отпечатка колеса на жесткое основание, представленные в табл. 4, показывают:

1) при снижении внутреннего давления воздуха в шине площадь отпечатка контакта колеса с жестким основанием увеличивается;

2) влияние геометрических размеров на величину площади контакта колеса зависит от рейсовой нагрузки. Так, при порожнем форвардере площадь контакта передних колес, чьи размеры больше, чем задних, составляет 0,389 м² для правого колеса и 0,419 м² для левого. Для задних колес (передний тандем / задний тандем) соответственно 0,276 / 0,286 м² и 0,268 / 0,268 м².

Таблица 2

Нагрузка колес форвардера при изменении положения манипулятора

Вылет манипулятора, м	Передние колеса		Колеса переднего тандема		Колеса заднего тандема	
	правое	левое	правое	левое	правое	левое
Угол поворота манипулятора 45°						
2	4693	3834	2664	1797	2432	1421
4	4739	3647	2877	1666	2600	1324
6	4763	3563	2929	1637	2736	1248
8	4785	3467	3090	1519	2909	1157
Распределение нагрузки на max. вылете, %	48,8		27,2		24,0	
Угол поворота манипулятора 90° (без груза)						
2	4952	3955	2650	1715	2321	1320
4	5051	3860	2580	1648	2377	1244
6	5168	3744	2619	1605	2460	1145
8	5274	3640	2806	1422	2593	1012
Распределение нагрузки на max. вылете, %	53,2		25,3		21,5	
Угол поворота манипулятора 90° (с грузом)						
2	5040	3968	2585	1683	2357	1313
4	5182	3828	2746	1522	2480	1188
6	5330	3684	2930	1339	2663	1003
8	5510	3510	3147	1129	2900	783
Распределение нагрузки на max. вылете, %	53,1		25,2		21,7	
Угол поворота манипулятора 135°						
2	5060	4245	2578	1568	2277	1221
4	5284	4145	2635	1453	2375	1079
6	5438	4068	2744	1304	2498	913
8	5651	3967	2613	1477	2608	744
Распределение нагрузки на max. вылете, %	56,4		24,0		19,7	

Таблица 3

Нагрузка от колес и их распределение на оси форвардера при изменении рейсовой нагрузки

Колеса форвардера		Степень загрузки форвардера		Порожний форвардер		Полузагруженный форвардер		Загруженный форвардер	
		нагрузка, кг	%	нагрузка, кг	%	нагрузка, кг	%		
Передние колеса	Правое	4339	50,7	3805	31,9	3864	27,9		
	Левое	4206		3618		3919			
Колеса переднего тандема	Правое	2196	26,4	3802	32,4	5586	38,3		
	Левое	2255		3723		5107			
Колеса заднего тандема	Правое	1996	22,9	4327	35,7	5133	33,8		
	Левое	1854		3969		4307			
<i>Итого</i>		16846	100	23244	100	27916	100		

Таблица 4

Определение площади отпечатка колес форвардера

Колеса форвардера		Порожний форвардер			Полузагруженный форвардер			Загруженный форвардер		
		длина / ширина, м	площадь, м ²	внутреннее давление в шине, кПа	длина / ширина, м	площадь, м ²	внутреннее давление в шине, кПа	длина / ширина, м	площадь, м ²	внутреннее давление в шине, кПа
Передние колеса	Правое	0,8/0,62	0,389	140–200	0,64/0,5	0,251	130–205	0,63/0,54	0,267	130–220
	Левое	0,82/0,65	0,419	–	0,77/0,62	0,375	–	0,72/0,55	0,311	–
Колеса переднего тандема	Правое	0,64/0,55	0,276	80–85	0,65/0,57	0,291	70–80	0,74/0,58	0,337	90–100
	Левое	0,62/0,55	0,268	–	0,65/0,55	0,281	–	0,77/0,62	0,375	–
Колеса заднего тандема	Правое	0,65/0,56	0,286	70	0,70/0,56	0,308	70	0,71/0,60	0,335	70–100
	Левое	0,62/0,55	0,268	–	0,63/0,57	0,282	–	0,71/0,57	0,318	–

По мере увеличения рейсовой нагрузки площадь контакта изменяется в сторону увеличения для задних колес и уменьшения для передних. Уже при полностью загруженном форвардере площадь контакта для передних колес соответственно составляет 0,267 м² и 0,311 м², для задних – 0,337 / 0,335 м² и 0,375 / 0,318 м².

Износ шин. Одним из ключевых элементов взаимодействия колесного движителя и лесного почвогрунта являются шины лесных машин, так как непосредственно через них осуществляется контакт колеса с опорной поверхностью движения транспортной системы.

Шины являются важным и дорогостоящим элементом конструкции транспортных средств. В зависимости от конструкции, грузоподъемности и условий эксплуатации автомобиля на приобретение, обслуживание и ремонт шин приходится 6–15% себестоимости транспортной работы. Несоблюдение параметров технического состояния шин приводит к росту расхода топлива до 15%. По данным НИИ шинной промышленности, около 50% шин отказывает в работе из-за разрушения конструктивных элементов в результате неправильной эксплуатации [11].

Основными причинами износа шин становятся:

- 1) несоблюдение установленных производителем значений внутреннего давления воздуха;
- 2) превышение допустимой нагрузки;
- 3) нарушение правил эксплуатации;
- 4) нарушение балансировки колес;
- 5) несвоевременное прохождение технического обслуживания автомобиля;
- 6) нарушения при монтаже шин;
- 7) использование съемных гусениц, цепей противоскольжения и др.

В то же время при организации работы колесной техники в тяжелых условиях лесозаготовители предусматривают ряд мер для повышения проходимости машин и снижения их негативного влияния на почвогрунт. К основным и наиболее эффективным из них относятся снижение внутреннего давления воздуха в шине и установка съемных гусениц.

Главной эксплуатационной характеристикой шины является внутреннее давление воздуха, так как данный параметр влияет практически на все основные эксплуатационные показатели машины [12] и непосредственно на срок службы шины [13].

В зависимости от типов и параметров шины производителями устанавливаются соответствующие значения минимального, оптимального и максимально допустимого внутреннего давления воздуха в ней. Эти цифры рассчитываются с учетом полной массы нагруженной машины, требований к устойчивости техники при работе и других особенностей ее эксплуатации.

Сравнивая работу техники при минимальном и максимальном внутреннем давлении воздуха в шинах, в компании Trelleborg отмечают, что в первом случае несомненными плюсами являются лучшая тяга машины и повышенный комфорт оператора. Также вследствие большей площади пятна контакта резины с поверхностью земли на грунт передается меньшее усилие, а это значит, что ему причиняется меньший ущерб. Минусы этого режима работы: пониженная устойчивость машины, повышенный расход топлива, преждевременный износ шин и риск их повреждения. В числе достоинств эксплуатации техники при высоком давлении воздуха в шинах можно назвать высокую устойчивость машины, а также более эффективную совместную работу протектора и гусениц (гусеницы устанавливаются дополнительно, см. ниже). Меньшая тяга при аналогичной мощности двигателя, сильное повреждение почвы и низкий уровень комфорта оператора – недостатки этого режима.

Исследования компании Bridgestone (выпускает лесные шины под маркой Firestone) доказывают существенное влияние несоблюдения рекомендуемых производителем максимально и минимального внутреннего давления воздуха в шинах на их долговечность.

Если предположить, что срок службы шины при правильной эксплуатации составляет десять лет, то при эксплуатации шины с давлением ниже минимального и с превышением максимально допустимого давления прослеживается следующая закономерность, которая показана в табл. 5 [14]:

Таблица 5

Влияние внутреннего давления воздуха в шине, ее срок службы

Давление	Срок службы, лет
Рекомендованное	10
Ниже /выше нормы на 10%	9
Ниже / выше нормы на 20%	7,5
Ниже / выше нормы на 30%	5

В последнее время широкое применение находят шины с регулируемым внутренним давлением воздуха. В случае, если приходится часто осуществлять переезды между лесосеками по автомобильным дорогам общего пользова-

ния и лесным дорогам, давление в шинах должно адаптироваться к постоянно изменяющимся условиям движения. Решением может стать полностью автоматизированное устройство, регулирующее давление в шинах, с помощью которого накачивание шины при небольших скоростях может быть изменено из кабины водителя. Оснащение машин устройствами, регулирующими давление в шинах, несмотря на высокие капитальные затраты с экономической точки зрения целесообразно, так как в этом случае в зависимости от условий эксплуатации увеличивается количество рабочих дней в течение года [15].

Уже неотъемлемым элементом обеспечения работы колесных лесозаготовительных машин на заболоченных участках является использование съемных гусениц на колесах тандемных тележек.

Существуют специализированные компании, которые уже несколько десятилетий занимаются разработкой и производством таких изделий, например шведская фирма Olofsfors и шотландская фирма Clark.

У гусеничных лент несколько аспектов применения. С технической точки зрения главное назначение гусениц – защита шин и повышение эффективности работы машины в особо тяжелых условиях. При эксплуатации шин со съемными гусеницами обеспечивается хорошее сцепление колес с грунтом, а площадь их опоры увеличивается вдвое, что гарантирует:

- увеличение силы тяги и грузоподъемности машины;
- повышенную скорость движения и проходимость машин;
- высокую устойчивость и стабильную работу техники на снегу, мягких и болотистых грунтах;
- облегчение заготовки леса на труднодоступных участках.

Существенное повышение производительности лесозаготовительной техники – это основа экономической выгоды лесопромышленного предприятия. За счет уменьшения сопротивления качения снижается расход топлива (в среднем на один литр в час). Защита шин от повреждений значительно увеличивает срок их эксплуатации, а повышение плавности хода на пересеченной местности положительно влияет на состояние ходовой части и трансмиссии машины, снижает риск поломок.

При работе в лесу важен и экологический фактор. Использование гусениц позволяет распределить вес техники на большую площадь опоры, что существенно уменьшает давление машины на грунт и препятствует образованию глубокой колеи.

Благодаря такому щадящему режиму работы, не нарушается надпочвенный покров и сохраняется корневая система кустарников и молодых деревьев, а значит, ускоряется процесс восстановления лесного массива.

Эксплуатация гусениц и цепей также имеет свои особенности.

В ходе эксплуатации шин с этими приспособлениями боковые части протектора постепенно стачиваются. А неправильно подобранные или плохо установленные цепи или гусеницы могут и вовсе серьезно повредить шину. Для избежания этого следует соблюдать рекомендации производителей. Приобретая шины, надо обращать внимание на специальную маркировку, означающую возможность или невозможность использования гусениц. При установке гусениц на шины следует еще раз убедиться в их соответствии друг другу: расстояние между боковой поддержкой гусеницы и наружной стороной шины должно быть около 15 мм. Правильное натяжение гусениц также немаловажно для эффективной работы, допус-

тимое провисание гусениц между колесами не должно превышать 50 мм. В процессе работы требуется внимательно следить за внутренним давлением в шинах: накачивать их строго до значения, рекомендованного для работы с использованием гусениц, и не экспериментировать с повышением и понижением давления [14].

Заключение. Возможность применения колесного движителя на грунтах с низкой несущей способностью зависит от многих факторов, одними из них являются характеристики колеса и шины.

Первоначальные результаты экспериментальных исследований показывают, что существует проблема в обеспечении равномерного распределения нагрузки на оси форвардера как при выполнении погрузочно-разгрузочных операций, так и по мере загрузки форвардера лесоматериалами.

Также серьезным вопросом является задача снижения износа шин лесотранспортных машин, осуществляющих работу в тяжелых условиях.

Литература

1. Протас П. А., Мисуно Ю. И. Структурная схема и критерии оценки эксплуатационно-экологической совместимости лесных машин с почвогрунтами // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184). С. 248–253.
2. Протас П. А., Мисуно Ю. И. Особенности разработки труднодоступного лесосечного фонда с учетом соответствия технологий и систем машин принципам лесной сертификации // Труды БГТУ. 2015. № 2 (166). С. 55–58.
3. Bekakos C. A., Papazafeiropoulos G., O'Boy D. J., Prins J. Pneumatic tyres interacting with deformable terrains. 13th International Conference on Motion and Vibration Control, University of Southampton, July 3–6, 2016.
4. Агейкин Я. С., Вольская Н. С. Теория автомобиля: учеб. пособие. М.: МГИУ, 2008. 318 с.
5. Агейкин Я. С., Вольская Н. С., Чичекин И. В. Проходимость автомобиля: учеб. пособие. М.: МГИУ, 2010. 275 с.
6. Яценко Н. Н. Поглощающая и сглаживающая способность шин. М.: Машиностроение, 1978. 132 с.
7. Вольская Н. С., Левенков Я. Ю., Русанов О. А. Моделирование автомобильной пневматической шины, взаимодействующей с твердой неровной опорной поверхностью // Наука и образование. 2013. № 5. С. 107–124.
8. Протас П. А., Федоренчик А. С. Давление движителей трелевочных машин МТЗ на почвогрунты // Труды БГТУ. 2001. Вып. IX, Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 18–23.
9. Вадбольская Ю. Е., Азаренок В. А. Снижение воздействия лесных машин на почву при рубках ухода // Леса России и хозяйство в них. 2015. № 3. С. 36–40.
10. Федоренчик А. С., Герман А. А., Протас П. А. Лесные машины «Амкодор»: учеб.-метод. пособие. Минск: БГТУ, 2013. 240 с.
11. Симанович В. А., Демидов В. А., Клоков Д. В. Колеса и шины лесных и лесотранспортных машин: учеб.-метод. пособие. Минск: БГТУ, 2005. 84 с.
12. Kucera M., Helexa M., Molenda M. Selected tire characteristics and their relation to its radial stiffness // MM Science Journal, December 2016.
13. Балабин И. В., Чабунин И. С., Груздев А. С. Влияние внутреннего давления воздуха в шинах на их нагрузочный режим // Журнал автомобильных инженеров. 2014. № 5 (85). С. 32–35.
14. Складенко М. Шины для лесозаготовительной техники // Леспроминформ. 2012. № 3 (85). С. 78–80.
15. Redaktion waldwissen.net. LWF. Neue Wege beim Bodenschutz [Электронный ресурс]. 2015. Режим доступа: http://www.waldwissen.net/technik/holzernte/boden/lwf_wege_bodenschutz_neu/index_DE. (дата доступа: 22.04.2015).

References

1. Protas P. A., Misuno Yu. I. Structural scheme and the criteria for assessing the operational and environmental forest machines compatible with soils. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 248–253 (In Russian).
2. Protas P. A., Misuno Yu. I. Features of the development of the remote forest fund with consideration for conformity of the technologies and systems of machines to principles of forest certification. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 55–58 (In Russian).
3. Bekakos C. A., Papazafeiropoulos G., O'Boy D. J., Prins J. *Pneumatic tyres interacting with deformable terrains*. 13th International Conference on Motion and Vibration Control, University of Southampton, July 3–6, 2016.
4. Ageykin Ya. S., Vol'skaya N. S. *Teoriya avtomobilya* [Theory of the car]. Moscow, MGIU Publ., 2008. 318 p.
5. Ageykin Ya. S., Vol'skaya N. S., Chichekin I. V. *Prokhdimost' avtomobilya* [Passableness of the car]. Moscow, MGIU Publ., 2010. 275 p.
6. Yacenko N. N. *Pogloshchayushchaya i sglazhivayushchaya sposobnost' shin* [Absorbing and smoothing ability of tires]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1978. 132 p.
7. Vol'skaya N. S., Levenkov Ya. Yu., Rusanov O. A. Modeling an automotive pneumatic tire that interacts with a hard uneven bearing surface. *Nauka i obrazovaniye* [Science and education], 2013, no. 5, pp. 107–124 (In Russian).
8. Protas P. A., Fedorenchik A. S. Pressure of propellers of logging machines MTZ on soil. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2001, issue IX, pp. 18–23 (In Russian).
9. Vadbol'skaya Yu. E., Azarenok V. A. Reducing the impact of forest machinery the soil in the conducting of the improvement thinning. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and economy in them], 2015, no. 3, pp. 36–40 (In Russian).
10. Fedorenchik A. S., German A. A., Protas P. A. *Lesnye mashiny «Amkodor»* [Forest machines “Amkodor”]. Minsk, BGTU Publ., 2013. 240 p.
11. Simanovich V. A., Demidov V. A., Klovov D. V. *Kolesa i shiny lesnykh i lesotransportnykh mashin* [Wheels and tires of forest and logging vehicles]. Minsk, BGTU Publ., 2005. 84 p.
12. Kucera M., Helexa M., Molenda M. Selected tire characteristics and their relation to its radial stiffness. *MM Science Journal*. December, 2016.
13. Balabin I. V., Chabunin I. S., Gruzdev A. S. Influence of the internal air pressure in the tires on their load conditions. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov* [Journal of Automotive Engineers], 2014, no. 5, pp. 32–35 (In Russian).
14. Sklyarenko M. Tires for forest machinery. *Lesprominform* [Lesprominform], 2012, no. 3, pp. 78–80 (In Russian).
15. *Neue Wege beim Bodenschutz* [New approaches to the protection of soil]. Available at: http://www.waldwissen.net/technik/holzernte/boden/lwf_wege_bodenschutz_neu/index_DE (accessed 22.04.2015).

Информация об авторах

Протас Павел Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Protas77@rambler.ru

Мисуно Юлия Игоревна – магистрант кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Julia.misuno@yandex.ru

Information about the authors

Protas Pavel Aleksandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Protas77@rambler.ru

Misuno Yuliya Igorevna – Master's degree student, the Department of Forest Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Julia.misuno@yandex.ru

Поступила 21.04.2017