

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПНЕВМОКАТКОВ НА ЛЕСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ МАШИНАХ

Обоснована целесообразность использования пневмокотков в ходовых системах трелевочных машин для работы на грунтах с низкой несущей способностью в отечественных природно-производственных условиях.

Ключевые слова: пневмокотки, движитель, лесная трелевочная машина.

A.V. Andronov, V.D. Valyazhonkov, A.A. Kovalenko, Vu Hay Kuan

THE PNEUMOROLLER USE EFFICIENCY ON THE FOREST SKIDDING MACHINES

The pneumoroller use reasonability in the skidder running gear for working on soils with low bearing capacity in the domestic production-natural conditions is substantiated.

Key words: pneumorollers, track mover, forest skidding machine.

Введение. Мягкие зимы, весенние и осенние распутицы в Северо-Западном регионе России в последние годы ограничивают доступ лесозаготовительной техники в обширные лесные массивы на болотистых и переувлажненных почвах. Существующие колесные трелевочные машины высокой проходимости с колесными схемами 4К4, 6К6 и 8К8, предназначенные для движения по дорогам низкого качества и бездорожью, имеют пределы проходимости на лесных площадях с переувлажненными почвами. Имеют пределы проходимости также и болотные гусеничные модификации тракторов. Все они наносят значительный ущерб биоценозу лесной среды на многие годы.

Одним из способов повышения экологической совместимости ходовых систем и почвы является правильный выбор движителей для тех или иных природно-производственных условий. Выбор ходовой системы должен быть обоснован не только с эксплуатационной, но и с экологической точки зрения. Здесь необходимо учесть, что лесная почва, подвергаясь воздействию движителем, должна претерпевать настолько малые изменения, насколько это возможно с позиции экономико-эксплуатационных характеристик трелевочных машин.

Цель исследования. Обоснование и выбор перспективного колесного движителя для трелевочных машин с высокой проходимостью.

Для успешной работы в лесных условиях эксплуатации должны применяться высокоманевренные машины с низким давлением на опорную поверхность и плавным ходом без буксования. Наиболее соответствуют этому колесные машины с шинами сверхнизкого давления (пневмокотками), шарнирно-сочлененной рамой, с гидравлической или электрической трансмиссией, которые имеют достаточно высокую грузоподъемность.

Задачи исследования:

- установить характер изменения давления движителя на грунт в зависимости от площади опорной поверхности пневмокотков;
- установить характер изменения грузоподъемности пневмокотков в зависимости от давления воздуха;
- выявить достоинства и недостатки применения пневмокотков в качестве движителя для трелевочных машин на основании отечественного и зарубежного обзоров их применения;
- обосновать целесообразность применения пневмокотков на отечественных трелевочных машинах в качестве перспективного движителя.

Пневмокотки созданы для обеспечения работы вездеходной техники на грунтах со слабонесущей способностью. Они представляют собой тонкостенные бочкообразные оболочки с эластичным каркасом беговой части и боковин с числом слоев корда от 2 до 6, со значительной шириной профиля, равной или больше наружного диаметра катка. Такие катки имеют увеличенную высоту профиля с грунтозацепами высотой 20 мм. Рисунок протектора минимизирует скольжение и позволяет максимально использовать мощность двигателя. Открытый профиль рисунка катка хорошо самоочищается и обеспечивает устойчивое сцепление со скользкой или мягкой поверхностью грунта.

Физические процессы при работе движителей с пневмокотками характеризуются следующими особенностями: большим снижением давления на почву, существенным ослаблением ее деформации в зоне

контакта и значительным снижением избыточных деформаций и энергетических потерь в оболочке катка. Это позволяет минимизировать глубину колеи, энергетические потери на качение колеса и потери в оболочках в сравнении с шинами общего назначения, благодаря чему обеспечивается сохранение легкоранимых дерновых и почвенных покровов слабонесущих грунтов.

Производство машин на пневмокатках для трелевки леса распространено в Северной Америке. Лидерами в этой области являются компании Foremost (Канада) и Rolligon (США), которыми создано несколько моделей вездеходов грузоподъемностью 10...30 тонн и с различной колесной формулой. Для трелевки древесины выпущены машины Challenger (рис. 1), Deep Forest 670 и Ardco с колесной формулой 6К6 и ряд других моделей [1, 2].



Рис. 1. Машина Challenger на пневмокатках Rolligon 72x68-28 при трелевке хлыстов

Для успешной эксплуатации серийной трелевочной техники на почвах с низкой несущей способностью в Северной Америке производят замену обычных лесных шин на пневмокатки. Одним из примеров такой модернизации является оснащение скиддера John Deere 540В пневмокатками Rolligon 54x68-18 (рисунок 2, а) [3]. Наибольшее распространение имеют пневмокатки компании Rolligon (рис. 2, б) [1].

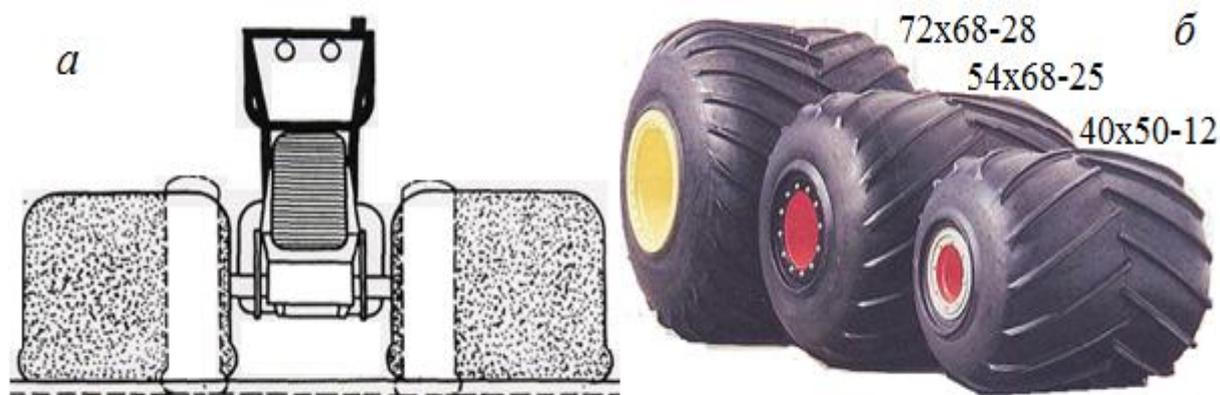


Рис. 2. Оснащение скиддера John Deere 540В пневмокатками Rolligon 54x68-25 (а) и основные модели пневмокатков компании Rolligon (б)

Производство машин подобного типа в отечественной практике очень редкое явление. В конце 1980-х годов компанией ААП Ленлес было выпущено несколько лесных моделей различных типов машин СОФИТ, которые были созданы в советско-финском содружестве. Опыт их использования в Ленинградской области показал наличие у них многих положительных эксплуатационных свойств. Например, при работе на волоках со сложными почвенными условиями и расстоянии трелевки около 500 метров форвардер СОФИТ-4Ф показал высокую проходимость и устойчивость, что дало возможность работать ему с хорошей производительностью и топливной экономичностью. В большинстве случаев машины обеспечили сохранение почвы и дернового покрова [4].

В то же время из-за высокого колееобразования, частых буксований, повышенного сопротивления передвижению и низкого скоростного режима применение форвардеров с обычными лесными шинами в данных условиях практически было невозможным.

В настоящее время в России созданы опытные образцы вездеходных машин «Муромец» (ООО «Омские Вездеходы») и «Брагар» (ООО «ОКБ ВТС», г. Москва) с шинами низкого и сверхнизкого давления. Машины выполнены с колесной формулой 8К8 по сочлененной схеме и имеют грузоподъемность соответственно 18,0 и 21,0 тонн. Их трелевочные модификации, вполне возможно, будут успешно работать в лесах с заболоченными и переувлажненными почвами.

К колесным движителям трелевочных машин с пневмокатами предъявляются следующие специальные требования: обеспечение экологичности за счет низких давлений на опорную поверхность (до 15...30 кПа); создание повышенных сцепных качеств посредством изменения давления воздуха в пневмокатке, а также его эластичности; повышение плавности хода машины обеспечением хороших упругих и амортизирующих свойств; создание динамической и статической уравновешенности.

Значения давлений движителей на почву лесопромышленных тракторов, лесосечных машин, тракторов промышленного назначения и сельскохозяйственных мобильных машин регламентированы стандартами. Методы испытаний для определения давлений различных машин на опорную поверхность приведены в ГОСТе. В лесоводственных требованиях и в ГОСТ 7057-81 (Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний) регламентируются средние значения давления трактора на почву, которое определяется отношением эксплуатационной массы к площади контакта движителя с опорной поверхностью

$$q_{cp} = \frac{m_3 g}{10^3 F}, \quad (1)$$

где m_3 – эксплуатационная масса трактора, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

F – площадь опорной поверхности движителя, м².

Обобщающими оценочными показателями пневмокатков являются: наружный диаметр D , ширина профиля B и посадочный диаметр d ; максимально допустимая нагрузка на движитель G_w и соответствующее этой нагрузке давление в шине p_w ; параметры геометрической формы.

Показатели параметров геометрической формы пневмокатков изменяются в следующих диапазонах: коэффициент профиля $H/B = 0,1...0,4$; коэффициент баллонности $D/d = 2,0...4,0$; коэффициент ширины $B/D = 0,9...2,0$; коэффициент ширины обода $v/B = 0,9...1,0$. Значения данных коэффициентов пневмокатков изменяются в сравнении со значениями широкопрофильных эластичных шин следующим образом: H/B уменьшается в 2,5...7,5 раза, а D/d , B/D и v/B увеличиваются соответственно в 1,3; 4,3...5,0 и 1,3...1,4 раза. Кроме того, установлена величина площади отпечатков у катков в 2,0...2,5 раза выше, чем у широкопрофильных эластичных шин. Столь разительные отличия указывают на своеобразии геометрических форм пневмокатков.

Техническая характеристика пневмокатков представлена в таблице 1. Каткатки Rolligon, Firestone и United – наиболее применяемые на лесозаготовках Северной Америки. Украинским пневмокатком Днепрошина оснащались машины СОФИТ. Модели разнятся своими габаритно-массовыми параметрами. Наименьший диаметр 137,2 см из приведенных пневмокатков имеет каток 54×68-25, наибольший диаметр 183,0 см – 72×68-28. Эти катки имеют наибольшую ширину, которая составляет соответственно 173,7 и 172,7 см. Большие габаритные параметры позволили иметь катку 72×68-28 внушительную площадь опорной поверхности 1,44 м² и наименьшее давление 48,61 кПа. Несколько меньше значения данных показателей у катка 54×68-25 (1,24 м² и 56,45 кПа). У пневмокатков Firestone, Днепрошина и United, имеющих малоразличимые габаритно-массовые параметры, опорная площадь и опорное давление примерно одинаковы. Опорное давление у них в 1,2...1,4 раза выше, чем у шин Rolligon.

Техническая характеристика распространенных пневмокатков

Показатель	Производитель				
	Rolligon	Rolligon	Firestone	Днепрошина	United
Обозначение	54×68-25	72×68-28	66×50-26	71×47-25	68×50-32
Размер пневмокатка, см:					
-наружный диаметр	137,2	183,0	167,6	180,0	174,5
-ширина/высота профиля	173,7/45,8	172,7/56,0	127,0/50,8	124,0/49,0	128,3/46,6
Отношение Н/В	0,264	0,324	0,4	0,395	0,363
Посадочный диаметр, см	45,7	71,1	66,0	82,0	81,3
Площадь опоры(при заглубл.шины на 10см), м ²	1,24	1,44	1,01	1,03	1,04
Опорное давление (при нагрузке в 70 кН), кПа	56,45	48,61	69,31	67,96	67,31
Масса с диском, кг	270	390	320	350	340

К настоящему времени в России налажено ограниченное производство двух моделей пневмокатков с максимально допустимой нагрузкой до 15 и 20 кН. Это модели И-245 1000×1000-250 (НИИШП, НАМИ) и Я-194 1200 ×1200-508 (ЯШЗ), имеющие диаметр соответственно 1000 и 1200 мм и опорную поверхность при заглублении в почву на 10 см – 0,6 и 0,8 м².

Соотношение между нормальной нагрузкой на шину и внутренним давлением воздуха в ней оценивается через важнейшие эксплуатационные свойства шины – грузоподъемность. Наиболее полно грузоподъемность шины характеризуется зависимостью изменения данного показателя от влияния воздуха в ней p_w . Для пневмокатков Rolligon, приведенных на рисунке 2,б, зависимости $G_w = f(p_w)$ получены в графическом и регрессионном виде (рис. 3). Для этого были использованы материалы работы [1]. В таком же виде получены зависимости изменения давление на почву под воздействием нагрузки на шину $P_{поч} = f(G_w)$ для пневмокатков, представленных в таблице 1 (рис. 4). Зависимости имеют линейный характер изменения и описываются простым уравнением регрессии

$$Y = a + bX,$$

где X и Y – независимая и зависимая переменные; a и b – коэффициенты уравнения.

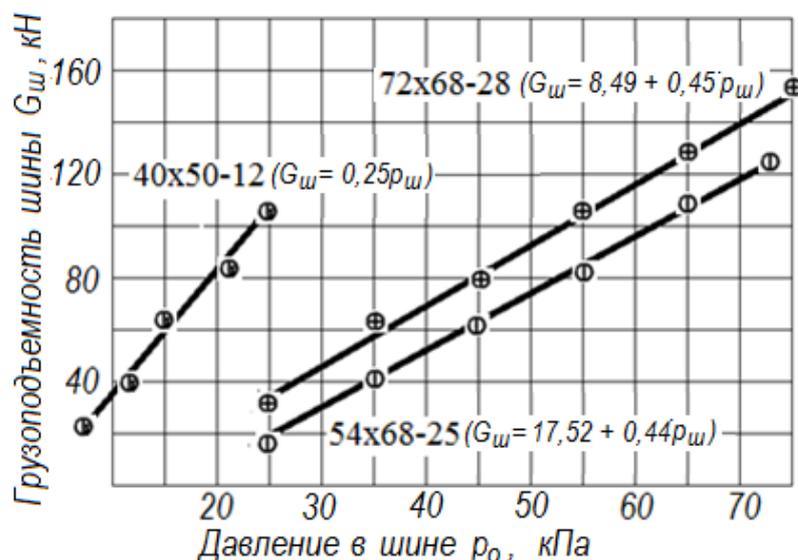


Рис. 3. Изменение грузоподъемности шины G_w в зависимости от давления воздуха в ней p_w

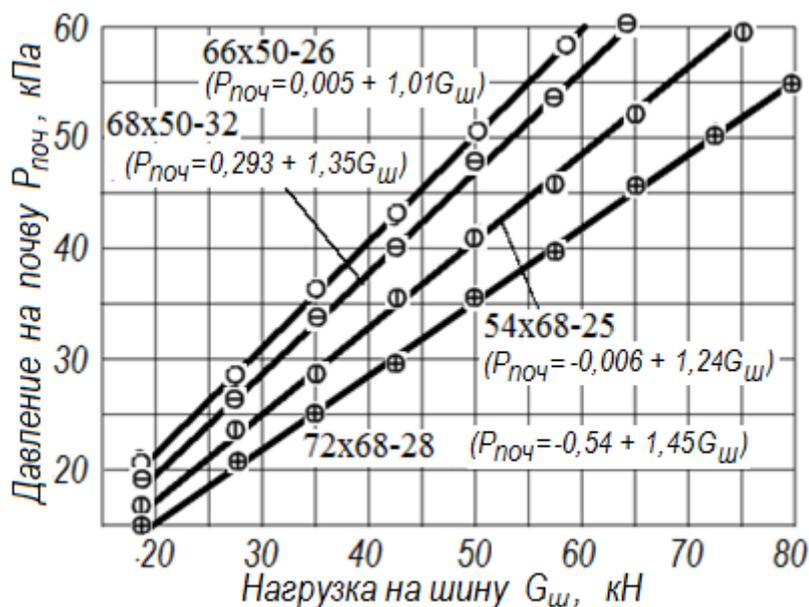


Рис. 4. Изменение давления на почву $P_{поч}$ в зависимости от нагрузки на шину $G_{ш}$

Полученные регрессионные уравнения дают возможность установить конкретно для каждого из рассматриваемых катков грузоподъемность и давление на почву при заданном давлении воздуха в нем и нагрузке.

В процессе анализа установлены коэффициенты регрессионных уравнений и показателей значимости, как отдельных коэффициентов, так и регрессий в целом. Полученные значения каждого показателя у всех уравнений мало отличаются друг от друга:

- коэффициенты корреляции $r = 0,996 \dots 0,999$ отражают тесную связь переменных;
- коэффициенты детерминации по своим значениям также близки к 1,0, показывая этим, что полученные точки хорошо ложатся на прямую линию;
- уровни значимости t -критерия для коэффициентов a и b (p -level) менее 0,05, значит, коэффициенты a и b достоверны на 5%-м уровне значимости;
- уровни значимости F -критерия, оценивающие достоверность регрессионных уравнений в целом, значительно меньше 0,05, что говорит о высокой степени достоверности полученных уравнений.

Установлена множественная линейная регрессия, отражающая зависимость изменения давления пневмокатка на опорную площадь $P_{поч}$ при изменении нагрузки на каток $G_{ш}$ и его опорной поверхности $F_{п-к}$ при заглублении в почву на 10 см

$$P_{поч} = 40,41 + 0,85G_{ш} - 33,86F_{п-к}. \quad (2)$$

Уровни значимости (p -level) значений коэффициентов уравнения указывают на их достоверность. Они менее 0,05. Высокие значения имеют коэффициент детерминации $R^2 = 0,981$ и достоверность всего уравнения регрессии $p < 0,00013$. Уравнение дает возможность прогнозировать давление на почву пневмокатками при изменении нагрузки на их опорную поверхность.

Давление воздуха в пневмокатках во всем диапазоне эксплуатационных условий устанавливается в пределах 10...60 кПа. Они имеют пневмосистемы с регулированием давления воздуха. Пневмокатки при сверхнизком давлении воздуха обладают большой площадью опоры и низким давлением на грунт 20...70 кПа, а также высокой амортизирующей способностью и плавностью хода в условиях неровной местности, что сводит к минимуму ущерб, наносимый дерновому покрову и почве, и создает комфортные условия оператору.

В таблице 2 дана характеристика несущей способности почво-грунтов с учетом проходимости. Характеристика составлена с использованием данных работы [5]. Сопоставляя технические параметры пневмокатков с данными характеристики несущей способности почво-грунтов, можно получить ответ о применении катков по проходимости в различных почвенных условиях.

Характеристика несущей способности почво-грунтов

Показатель	Характеристика				
	Переувлажненная	Влажная	Сырая (мягкая после дождя)	Сухая	Очень сухая
Механический состав	Глина	Суглинки, глина	Супеси, суглинки	Щебень, песок, супеси	Гравий, щебень
Вертикальная прочность на сжатие, кПа	$0,6 < \sigma < 6$	$6 < \sigma < 18$	$18 < \sigma < 60$	$60 < \sigma < 180$	$180 < \sigma$
Кол-во возможных проходов груженого трелевщика ($\Sigma M = 16$ т) на лесных шинах по одному следу	Попытка одного прохода с осторожностью	1...10	До 20	Более 30	Без ограничения
Проходимость	Очень низкая	Низкая	Умеренная	Высокая	Очень высокая

Помимо обеспечения высоких ходовых качеств трелевочной техники, пневмокотки должны противостоять повреждениям и выдерживать значительные нагрузки. Применение материала «Кевлар» прочностью, в два раза превышающей сталь, позволяет им надежно противостоять проколам, что способствует повышению безопасности движения машины. Грунтозацепы, наряду со своим основным назначением, повышают также прочность каркаса и устойчивость его формы. Края протектора (плечевая зона) способны выдерживать сильные нагрузки при маневрировании.

Выводы

1. Увеличенные размеры пневмокотков позволяют повысить площадь контакта ходовых систем с опорной поверхностью и, согласно формуле (1), уменьшить давление трелевочной машины на грунт, увеличить производительность при работе на топких и вязких грунтах.

2. Для прогнозирования давления на почву пневмокотками при изменении нагрузки на их опорную поверхность установлена множественная линейная регрессия (2), отражающая зависимость изменения давления пневмокотка на опорную площадь $P_{поч}$ при изменении нагрузки на каток $G_{ш}$ и его опорной поверхности $F_{п-к}$ при заглублении в почву на 10 см.

3. Характер изменения грузоподъемности пневмокотков в зависимости от давления воздуха, с установлением уравнения регрессии, приведен на рисунке 3. Как следует из данного рисунка, эта зависимость имеет линейный характер.

4. К достоинствам применения пневмокотков следует отнести минимум уплотнения и повреждения почвы (без образования колеи), дополнительную экономию топлива, отличную устойчивость на наклонной и холмистой местности, плавность хода, комфорт для оператора.

5. Недостатками пневмокотков являются: большой габарит по ширине трелевочной машины, высокая стоимость, увеличение нагруженности ведущих мостов и трансмиссии машины.

Литература

1. ROLLIGON CORPORATION. Low Ground Pressure Tires. – URL: <http://www.rolliqon.com>.
2. Ardco 6x6 with terratires. [Электронный ресурс]. – URL: www.ncrs.fs.fed.us.
3. Forest Industries. – 1986. – № 6. – P. 24–29.
4. Задиран А.М. Машины "Софит" на лесосеках предприятий "Ленлеса" // Лесозэксплуатация и лесосплав: обзор. информ. – М.: Изд-во ВНИПИЭлеспром, 1992. – Вып.9. – 33 с.
5. Gunnar Bygdén. Forest Technician Olofsfors AB. – URL: www.olofsfors.se.