

## 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].

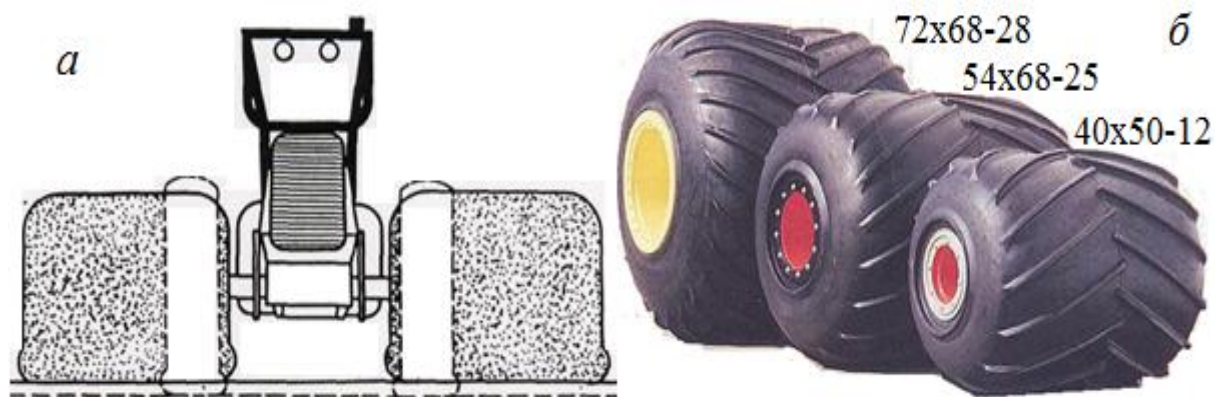


Рис. 2. Оснащение скиддера John Deere 540В пневмокатками Rolligon 54x68-25 (а) и основные модели пневмокатков компании Rolligon (б)

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/с<sup>2</sup>;

$F$  – площадь опорной поверхности движителя, м<sup>2</sup>.

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 м<sup>2</sup> и наименьшее давление 48,61 кПа. Несколько меньше значения данных показателей у катка 54×68-25 (1,24 м<sup>2</sup> 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 пневмокотка, 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 <sup>2</sup>	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 м<sup>2</sup>.

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.

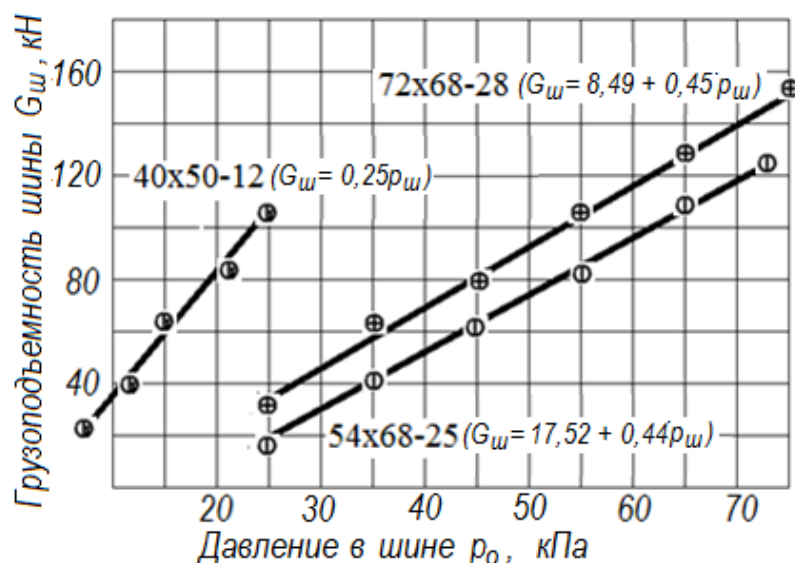


Рис. 3. Изменение грузоподъемности шины  $G_w$  в зависимости от давления воздуха в ней  $p_w$

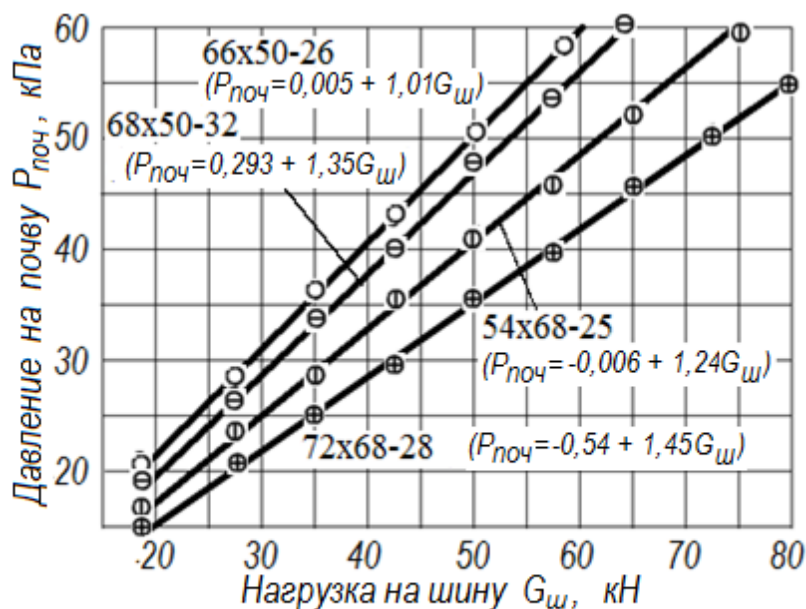


Рис. 4. Изменение давления на почву  $P_{поч}$  в зависимости от нагрузки на шину  $G_{ш}$

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 показатели значимости, как отдельных коэффициентов, так и регрессий в целом. Полученные значения каждого показателя у всех уравнений мало отличаются друг от друга:

- коэффициенты корреляции  $r = 0,996...0,999$  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.rolligon.com>.
2. Ardco 6x6 with terratires. [Электронный ресурс]. – URL: [www.ncrs.fs.fed.us](http://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](http://www.olofsfors.se).