

УДК 629.3.033:630*3

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАКОВ СЪЕМНЫХ ГУСЕНИЦ ПРОТИВОСКОЛЬЖЕНИЯ С ГРУНТОМ

Адамов Д.В., Любавский Н.А., Галактионов О.Н., Кузнецов А.В.

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, e-mail: ong66@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы взаимодействия колесного движителя, оснащенного съемной гусеницей, и грунта. Построена модель, учитывающая варианты взаимного расположения колеса и траков гусеницы. За основу расчета взята плоская задача в сечении, проходящем перпендикулярно оси колеса. Для расчетов принято, что трак имеет форму параллелепипеда. Цель расчетов – определить удельное давление траков на грунт. Рассмотрено взаимодействие элементарной модели трака с колесом и опорной поверхностью – грунтом. В процессе расчета рассматривались два типоразмера гусениц с расстоянием между траками 225 мм и 103 мм. Рассмотрены несколько случаев нагружения трака колесом: симметричное нагружение, со смещением трака относительно вертикальной оси колеса на четверть и половину его ширины. Для расчета выбран участок шины, деформированный до состояния плоской поверхности. Установлено, что при расстоянии между траками 225 мм каждый трак работает практически индивидуально и его удельное давление составляет 8%, 30%, 44,5% от давления невооруженного колеса. При расчете второй схемы расположения траков отмечена их совместная работа, а удельные давления составили 8%; 22%; 38%. Проведенные расчеты позволяют утверждать: увеличение числа траков в области контакта с грунтом снижает давление на почву; предлагаемая методика позволяет оценить давление на грунт, и на этой основе принимать конструктивные решения по изменению геометрии траков; центральная часть трака создает существенно меньшее давление на почву, чем его периферийная часть. В дальнейшем следует исследовать условия передачи давления в центральной части трака и предложить варианты изменения его геометрии.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, грунт, трак, съемные гусеницы противоскольжения, компьютерное моделирование

SIMULATION AND EVALUATION OF INTERACTION OF THE ANTI-SLIDING REMOVABLE WITH GROUND

Adamov D.V., Lyubavskiy N.A., Galaktionov O.N., Kuznetsov A.V.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: ong66@mail.ru

The article deals with the interaction of a wheeled propeller equipped with a caterpillar chain and soil. A model is constructed that takes into account the variants of the mutual arrangement of the wheel and the tracks. The basis of the calculation is a plane problem, in a section passing perpendicular to the axis of the wheel. For calculations it is assumed that the tractor has the form of a parallelepiped. The purpose of calculating the specific pressure of the tracks on the ground. The interaction of the elementary model of the track with the wheel and the supporting surface-ground is considered. In the calculation process, two caterpillar sizes were considered from the distance between the tracks of 225 mm and 103 mm. Several cases of loading the track with a wheel are considered: symmetrical loading, with a displacement of the trajectory relative to the vertical axis of the wheel by a quarter and half of its width. To calculate the selected tire segment, it is deformed to the state of a flat surface. It is established that at a distance of 225 mm each tractor is almost individual, and its specific pressure is 8%, 30%, 44.5% of the pressure of the unarmed wheel. In the calculation of the second scheme of the arrangement of the tracks, their joint work was noted, and the specific pressures were 8%; 22%; 38%. The calculations made allow us to state that the increase in the number of traffic in the area of contact with the ground is significantly paying for the soil; the proposed technique allows to assess the pressure on the ground, and on this basis to take design decisions to change the geometry of the tracks; the central part of the track creates significant pressure on the soil than its peripheral part. In the future, it is necessary to investigate the transmission conditions in the center of a part of the track, and to suggest variations in its geometry.

Keywords: stress-strain state, ground, tract, caterpillar tracks, computer simulation

В условиях современных лесозаготовок на трелевке древесины широко используются форвардеры с колесным или гусеничным движителем, предназначенные для сбора и транспортировки сортиментов в пределах лесосеки [1–3]. Форвардер, загруженный древесиной, имеет значительную массу, что вызывает уплотнение и разрушение лесной подстилки, а также является причиной потери несущей способности почвогрунтов. Для обеспечения долгосрочного сохранения несущей способности грунта в работах [4–6] предлагаются технические решения, направленные на увеличение проходимости лесозаготовительных машин,

в частности путем укрепления проезжей части транспортных путей лесосечными отходами и определение предельного количества проходов лесозаготовительной техники по волоку. При этом следует учитывать, что удельное давление на грунт трелевочных машин с гусеничным движителем меньше в 3,5–6 раз, чем с колесным [2, 3]. В тяжелых условиях эксплуатации колесные форвардеры сталкиваются с проблемой недостаточной проходимости при движении по почвогрунтам 3–4 категории. В этих условиях их оснащают съемными гусеницами и цепями для повышения проходимости и предотвращения буксования и застрева-

ния, которые ведут к интенсивному колееобразованию, эрозии почвенного покрова и разрушению лесной подстилки.

Один из частных способов уменьшения разрушения лесной подстилки – снижение давления от движителя лесозаготовительной техники. В связи с этим в качестве движителей используют шины широких профилей или гусеницы [7]. В данное время наибольшее распространение получила колесная техника, которая используется в сочетании с гусеницами и цепями противоскольжения [8]. Последние позволяют увеличить только сцепление с грунтом, в то время как гусеницы противоскольжения за счет грунтозацепов обеспечивают высокий коэффициент сцепления и снижение удельного давления на грунт.

В статье рассматривается конструкция цепей противоскольжения, используемая на форвардерах. Расчетная модель (рис. 1, а), включает в себя: 1 – шина 750/55–26,5; 2 – диск; 3 – трак; 4 – грунт.

Так как на исследуемой гусенице период расположения траков составил 225 мм, в контакте между шиной и почвой участвует только один элемент трака. В контактной зоне трак имеет форму параллелепипеда (рис. 1, б). В данной расчетной модели, шина не имеет протектора, поэтому счита-

ем, что трак контактирует с поверхностью шины равномерно.

Материалы контактирующих элементов (шина, трак, почва) характеризуются в расчете как упругие, линейные и изотропные. Их механические свойства представлены в таблице.

Внутренние поверхности шины и часть диска, находящаяся внутри нее, нагружены давлением 550 кПа [11]. Коэффициент трения скольжения между шиной и траком и между траком и почвой принят равным усредненному значению – 0,5 [12]. Нижняя часть элемента грунта закреплена от перемещений во всех направлениях.

Дальнейшие расчеты рассматриваются в статической постановке, с учетом того, что колесо воспринимает нагрузку от веса, приходящегося на одно колесо тележки форвардера. Нагрузка от силы тяжести, приходящейся на колесо, распределена неравномерно и имеет синусоидальное распределение нагрузки на поверхности диска:

$$F(a) = m_n \cdot g \cdot \sin(a),$$

где $m_n = 6000$ кг – масса, приходящаяся на каждое колесо форвардера, $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения, $a = 0^\circ \dots 180^\circ$ – угол изменения охвата диска (рис. 2).

Механические свойства контактирующих элементов

Наименование элемента	Механические свойства		
	Модуль упругости, E , Н/м ²	Коэффициент Пуассона	Предел текучести, МПа
Шина [9]	$4 \cdot 10^8$	0,49	–
Трак	$2,1 \cdot 10^{11}$	0,28	620
Почва [10]	$4 \cdot 10^7$	0,35	–

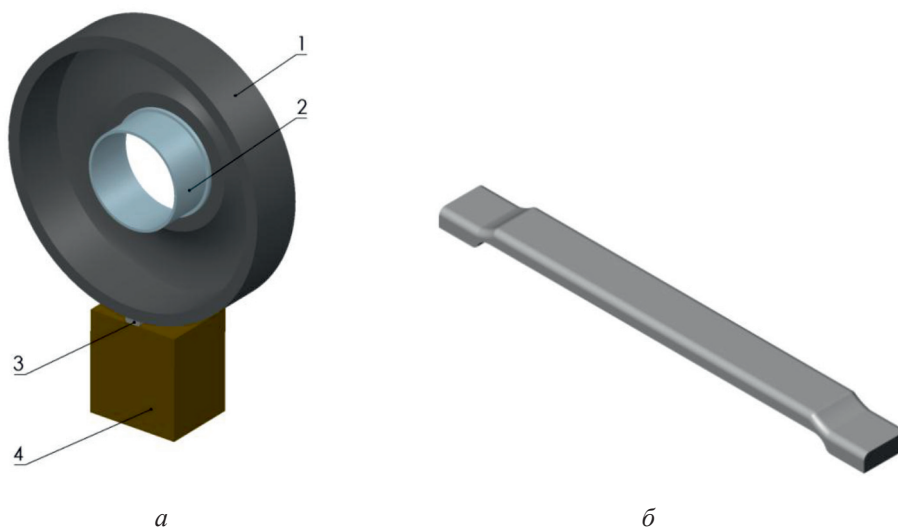


Рис. 1. 3Д-модели: а – расчетная сборка; б – трак гусеницы

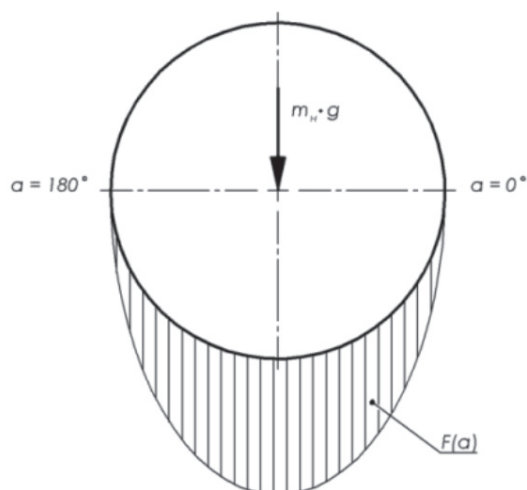


Рис. 2. Распределенная нагрузка на диск колеса

Исследованы три случая нагружения: 1 – продольные плоскости симметрии трака и колеса совпадают (рис. 3, а), 2 – продольная плоскость симметрии трака смещена на четверть его ширины от продольной плоскости симметрии колеса (рис. 3, б); 3 – продольная плоскость симметрии трака смеще-

на на половину его ширины от продольной плоскости симметрии колеса (рис. 3, в).

Конечно-элементная модель (рис. 4) содержит 36714 элемента и 60265 узлов. В местах контакта шины, трака и почвы, для улучшения точности расчета, элементы сетки измельчены.

Получены расчетные эпюры контактного давления на поверхность грунта (рис. 5).

Во время движения форвардера часть траков гусеницы, находящихся в области контакта, расположены как под поверхностью колеса, так и на поверхности грунта. Можем принять условие, что расстояние между траками по окружности (трак на колесе) равно расстоянию между ними по горизонтали. Для уменьшения контактного давления уменьшено расстояние между траками с 225 мм до 103 мм, что позволило перераспределить нагрузку между траками. Расстояние 103 мм обеспечивает движение гусеницы на всех участках, таким образом, чтобы обеспечивалось минимальное расстояние между траками с исключением их пересечения в динамике. Соединения между траками моделируется созданием жестких звеньев между торцевыми поверхностями, с помощью встроенной функции.

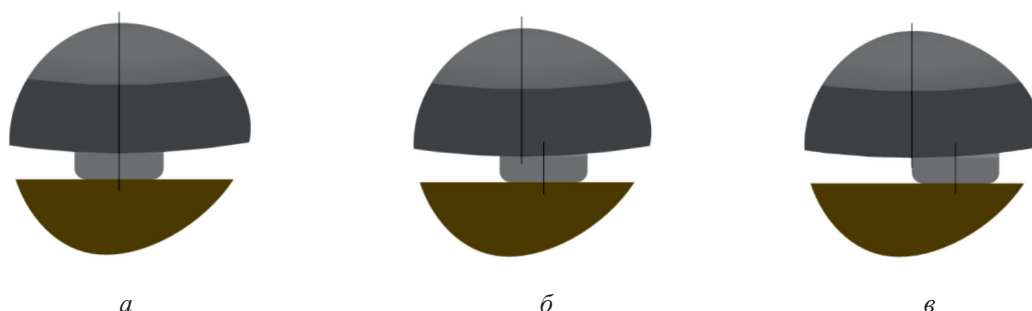


Рис. 3. Расчетные случаи нагружения: а – без смещения, б – смещение на четверть ширины трака; в – смещение на половину ширины трака

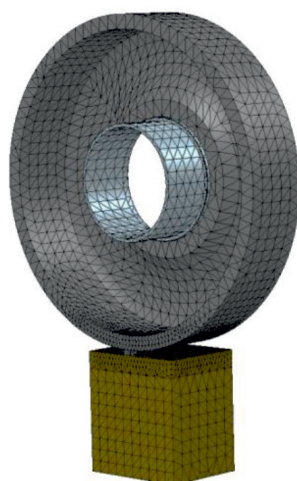


Рис. 4. Конечно-элементная модель

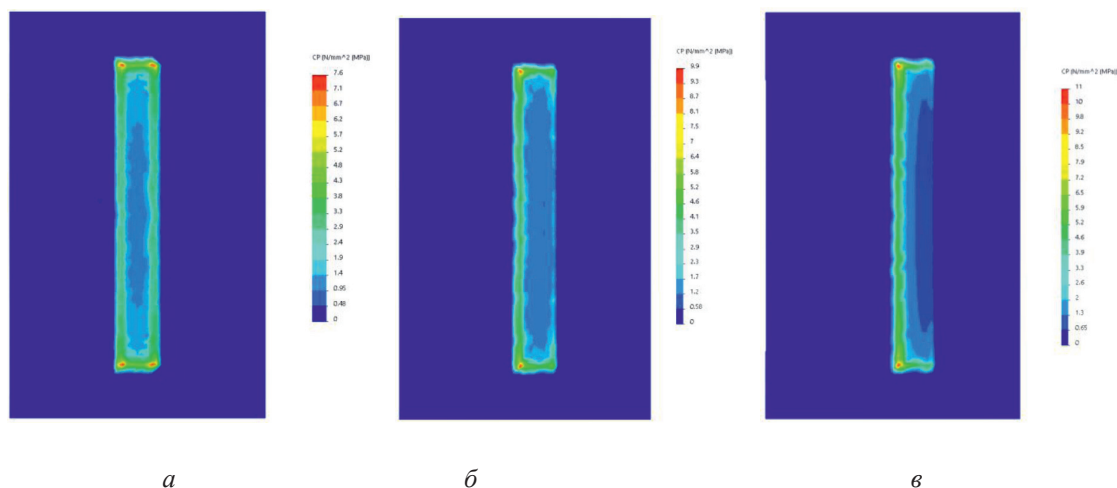


Рис. 5. Распределения контактного давления на поверхности грунта:
a – для первого случая нагружения; *б* – второго; *в* – третьего

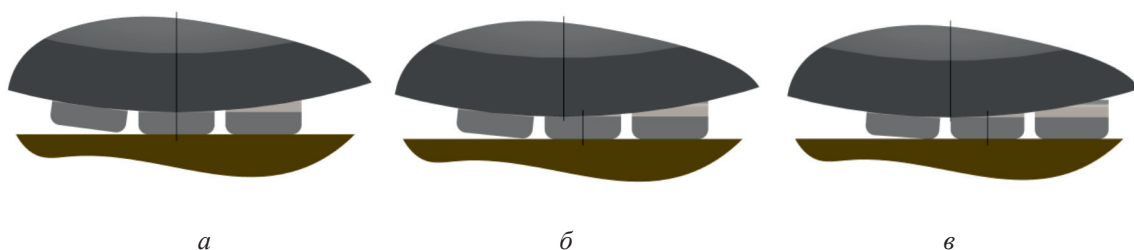


Рис. 6. Расчетные случаи нагружения: *a* – без смещения,
б – смещение на четверть ширины трака; *в* – смещение на половину ширины трака

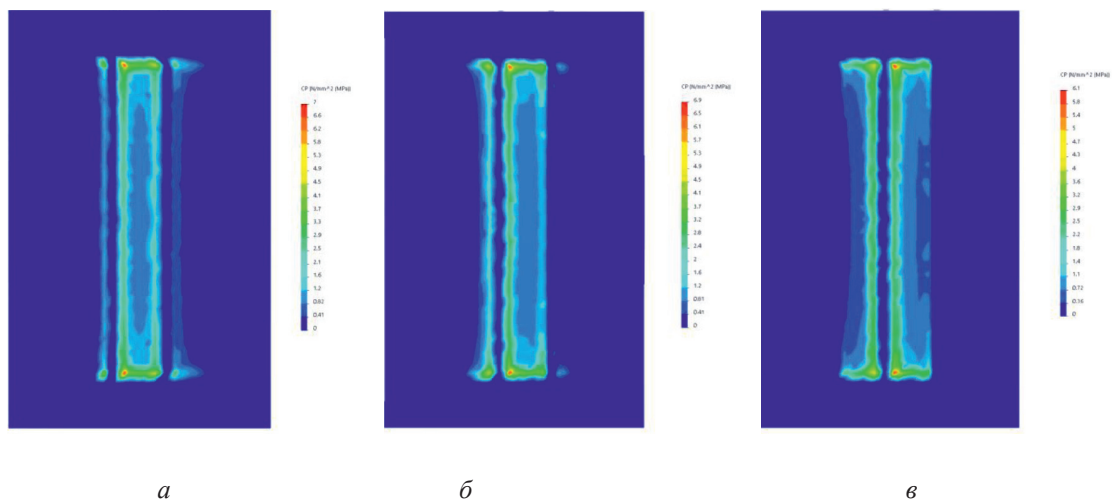


Рис. 7. Распределения контактного давления на поверхности грунта:
a – для первого случая нагружения; *б* – второго; *в* – третьего

Второй случай нагружения (рис. 6) аналогичен первому, за исключением того, что траки расположены с периодом 103 мм, обеспечивающим распределение контактного давления на поверхности

грунта между тремя (рис. 7, а–б) и двумя траками (рис. 7, в).

В обоих расчетных случаях нагружения, контактное давление передается на почву крайними контурами траков, в централь-

ной же части оно стремится к наименьшему значению. За счет уменьшения расстояния между траками достигается снижение максимального контактного давления: для первой схемы нагружения – на 8%; для второй схемы нагружения – на 30%; и для третьей – на 44,5%. Если же не учитывать точечное возникновение максимального давления (вызванное геометрическими параметрами модели трака), а судить по среднему напряжению контура траков, образующих некий периметр прямоугольной формы, то получатся следующие значения процентного снижения контактного давления. Для первой схемы нагружения – на 8%; для второй схемы нагружения – на 22%; и для третьей – на 38%.

По результатам расчета можно сделать ряд выводов. Во-первых, увеличение числа траков в области контакта с грунтом снижает давление на почву, за счет увеличения общей площади контактируемых элементов. С другой стороны – такое решение приводит к увеличению массы гусениц (из-за большего количества траков), а также – к увеличению крутящего момента, который необходимо подвести к колесам (за счет увеличения площади трения). Во-вторых, по предлагаемой методике возможно оценить давление на грунт, в зависимости от его упругих свойств, и на основании расчетов принимать конструкторские решения по увеличению (уменьшению) количества траков и (или) изменению их геометрии. В-третьих, по полученным эпюрам распределения контактного давления можно заключить, что центральная часть трака гусеницы передает давление на почву в разы меньше, чем часть, расположенная в зоне периметра контакта. Поэтому из соображений уменьшения массы трака в дальнейшем следует рассмотреть исключение передачи давления центральной частью трака, за счет изменения его геометрии.

Список литературы

1. Пятакин В.И. Технология и машины лесосечных работ / В.И. Пятакин, И.В. Григорьев, В.А. Иванов, А.К. Редькин, Ф.В. Пошарников, И.Р. Шегельман, Ю.А. Ширнин и др. – СПб.: СПбГЛТУ, 2012. – 362 с.
2. Шегельман И.Р. Анализ показателей работы и оценка эффективности лесозаготовительных машин в различных природно-производственных условиях / И.Р. Шегельман, В.И. Скрыпник, А.В. Кузнецов // Уч. зап. Петрозав. гос. ун-та. Сер.: Естеств. и техн. науки. – 2010. – № 4. – С. 66–75.
3. Шегельман И.Р. Работа лесных машин в трудных природно-производственных условиях / И.Р. Шегельман, В.И. Скрыпник, А.В. Кузнецов // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. – 2010. – № 190. – С. 87–97.
4. Галактионов О.Н., Кузнецов А.В. Исследование взаимосвязи технологической проходимости лесозаготовительных машин с параметрами лесной среды [Электронный ресурс] // Инженерный вестн. Дона: Электрон. журнал. – 2012. – Т. 22, № 4–1. URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n41y2012/1145>.
5. Галактионов О.Н. Формирование структуры лесотранспортных путей лесосеки на лесотипологической основе / О.Н. Галактионов, А.В. Кузнецов // Ученые записки ПетрГУ. – 2011. – № 8(121). – С. 81–84.
6. Щеголева Л.В., Пискунов М.А., Воропаев А.Н. К вопросу о размещении трелевочных волоков на лесосеке // Лесной вестник. Forestrybulletin. – 2008. – № 6. – С. 121–124.
7. Обоснование направлений совершенствования лесозаготовительных машин / В.И. Скрыпник, А.В. Кузнецов, А.С. Васильев, Д.В. Сапожков, В.Г. Зайцев. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2016. – 93 с.
8. Мохов С.П., Кононович Д.А., Арико С.Е., Голякевич С.А. Конструктивные способы повышения проходимости форвардеров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – № 2–1(13–1). – С. 266–269.
9. Щербаков С.С., Грибовский Г.В. Трибофатическая модель трехмерного напряженно-деформированного состояния и оценка повреждаемости системы «диск – многослойная шина – асфальтобетон» // Актуальные вопросы машиноведения. – 2015. – № 5. – С. 203–206.
10. Чернышев В.В., Арыканцев В.В. Моделирование взаимодействия стопы шагающего движителя с водонасыщенными грунтами // Научный журнал российского НИИ проблем мелиорации. – 2015. – № 4(20). – С. 21–38.
11. Покрышка NokianForestKingFSF 750/55-26.5 (20 сл.) // Техноком URL: <http://www.tehno.com.net/catalog/shiny-kamery/pokryshka-nokian-forest-king-f-sf-750-55-26-5-20sl> (дата обращения: 10.11.2017).
12. Коэффициенты трения скольжения // DPVA.info справочные таблицы для инженеров [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dpva.ru/Guide/GuidePhysics/Frication/FricationofSlicing> (дата обращения: 11.11.2017).