

М. Т. Насковец, доцент; С. А. Севрук, ассистент; П. С. Бобарыко, доцент

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА, ПРИМЕНЯЕМОГО НА ВЫВОЗКЕ ЗАГОТОВЛЕННОГО ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ, С ГРУНТОВЫМИ ПОКРЫТИЯМИ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

The general characteristic of a transport network, and also the skidding and drawn stock, used by the factories of a sylvan complex of Belarus for haulage of the stored wood raw material is resulted. Interacting wheels of the motor transport with coatings of soil roads in view of a design and sizes of applied trunks, and also strength characteristics and type of soil is observed.

Введение. Транспортное освоение лесных массивов предполагает обязательное наличие двух компонентов – лесотранспортных путей, а также тягового и прицепного состава, оказывающих взаимное влияние друг на друга.

Для вывозки древесного сырья и движения лесохозяйственной техники в границах лесных массивов используются как существующая сеть лесных дорог, так и сеть дорог общего пользования.

На долю последних приходится около 7% от общей протяженности всех дорог в границах лесных массивов. Данные дороги характеризуются наличием усовершенствованных и переходных типов покрытий и способны обеспечить круглогодичное движение колесного лесотранспорта за исключением летнего периода, когда с целью недопущения разрушения покрытий при температуре окружающего воздуха выше 25°C вводится ограничение на движение транспортных средств с нагрузкой на ось более 6 т.

В то же время на долю лесохозяйственных и лесовозных дорог приходится 93% ($\approx 105\,500$ км) от общей протяженности всех дорог в границах лесных массивов. Из них грунтовыми являются 98,5%, остальные 1,5% имеют в основном переходные и низшие типы покрытий и являются дорогами круглогодичного действия.

Из приведенных показателей видно преобладание в лесных массивах грунтовых автомобильных дорог. На их долю приходится почти 92% от общей протяженности всех дорог и только 7,8% из них являются дорогами круглогодичного действия, а это лишь около 8000 км [1].

Процесс вывозки древесного сырья с территории лесосек предусматривает движение по подъездному пути с выходом на лесные дороги опорной (базовой) сети и дальнейшим движением по дорогам общего пользования. Наиболее уязвимым звеном в данной технологической цепи является первый тип лесотранспортных путей, поскольку в отличие от остальных двух имеет самые низкие прочностные показатели, что, в свою очередь, связано с их временным характером эксплуатации.

Тяговый и прицепной состав, применяемый на вывозке древесного сырья, характеризуется различной степенью воздействия на покрытия лесотранспортных путей вследствие разнообра-

зия весовых и габаритных параметров, а также конструктивных особенностей ходовой части.

Общая характеристика тягового и прицепного состава, применяемого на вывозке древесного сырья. В Республике Беларусь заготовку и вывозку древесного сырья осуществляют лесохозяйственные учреждения, являющиеся структурными подразделениями Министерства лесного хозяйства; лесозаготовительные предприятия, входящие в состав концерна «Беллесбумпром»; прочие организации и частные лица.

Вывозка заготовленной древесины с территории лесных массивов лесохозяйственными учреждениями в настоящее время осуществляется в основном автопоездами-сортиментовозами (около 90% от общего объема транспортировки лесных грузов). Оставшаяся часть перемещается преимущественно тракторами Минского тракторного завода (МТЗ-82Л) в сцепе с тележками, оборудованными гидроманипуляторами (двухзвенные погрузочно-транспортные машины), а также однозвенными погрузочно-транспортными машинами одноименного производителя. При этом первые могут использоваться на транспортировке сортиментов не только в пределах лесных массивов по подъездным путям к лесосекам, но и по дорогам общего пользования непосредственно на нижние склады и пункты отгрузки потребителям. Основные марки применяемых прицепных тележек – ПЛ-7, ПЛ-11, ПЛВ-9М, Tiger; форвардеров – МЛПТ-354, МЛ-131.

Доля хлыстовой вывозки в лесохозяйственных учреждениях на сегодняшний день не превышает 7%.

Парк автопоездов-сортиментовозов лесохозяйственных учреждений республики в основном представлен техникой марок Урал и МАЗ, менее распространены автомобили марок КамАЗ, ЗиЛ, МЗКТ. В некоторых лесхозах имеются также сортиментовозы зарубежного производства марок MAN, Scania, Magirus. Преобладающее большинство указанной выше колесной техники оснащено гидроманипуляторами для осуществления погрузочно-разгрузочных работ.

Лесозаготовительными предприятиями, входящими в состав концерна «Беллесбумпром», древесина заготавливается преимущественно в хлыстах (доля сортиментной вывозки

ни сегодняшний день находится в пределах 22–23%), что обусловлено спецификой технологического процесса нижних складов, числящейся на балансе лесозаготовительной и лесовозной техники, а также значительного среднего расстояния вывозки, которое выше, чем у структурных подразделений Министерства лесного хозяйства. Ввиду этого вывозка заготовленной древесины осуществляется в основном автопоездами для перевозки длинномерной древесины, при этом лишь незначительная их часть оснащена гидроманипуляторами. Основным транспортным средством, применяемым в настоящее время на вывозке заготовленного леса с территории лесосек, является тягач МАЗ-5434 в сцепе с прицепом-ропуском ГКБ-9383 или МАЗ-9008. В то же время продолжают использоваться автопоезда, у которых базовым автомобилем-тягачом являются МАЗ-509А, КрАЗ-255, КрАЗ-260Л, ЗиЛ-131, Урал-4320. Это связано с неблагоприятным финансовым положением многих предприятий концерна «Беллесбумпром», которое не позволяет проводить своевременное обновление подвижного состава, используемого на транспортировке древесины с территории лесных массивов на нижние склады [2].

Приведенные выше данные свидетельствуют о многообразии габаритных и весовых параметров колесного транспорта, применяемого на вывозке древесины. Наиболее явные отличия заключаются в количестве осей, нагрузках на ось, колее и количестве шин на оси (с односкатной либо двухскатной ошиновкой как на автомобиле, так и на прицепе или прицепе-ропуске) (рис. 1). В то же время применение различных моделей шин приводит к значительному варьированию такого важного параметра, как среднее удельное давление колеса на дорогу.

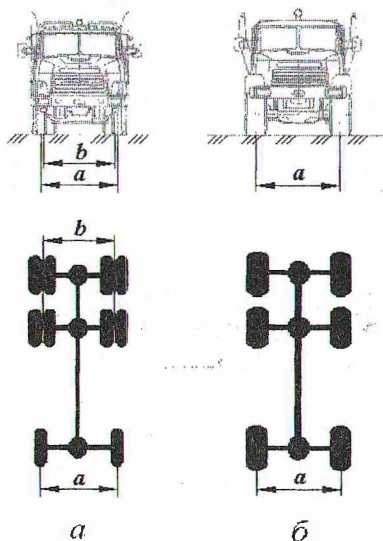


Рис. 1. Лесовозные автомобили-тягачи с двухскатной (а) и односкатной (б) ошиновкой колес тележки: а, б – колея колес

Взаимодействие пневматической шины с грунтом. При качении колеса в его передней части расположен грунтовый клин АБВ (рис. 2). Накатываясь, колесо сжимает грунт и заставляет его деформироваться в вертикальном, горизонтальном и боковом направлениях. С увеличением глубины колеи (высоты клина БВ) деформации грунта в горизонтальном направлении возрастают, что нередко приводит к возникновению бульдозерного эффекта – нагребанию грунта перед колесом [3].

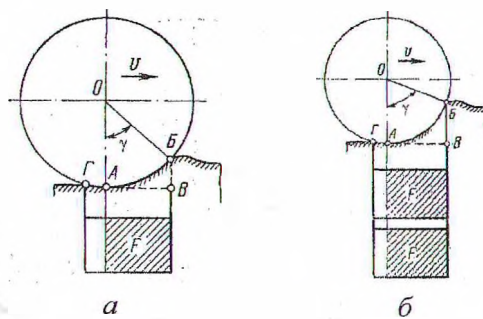


Рис. 2. Схема качения жесткого цилиндрического колеса различного радиуса по грунту: а – односкатного; б – двухскатного

На уплотняемых грунтах боковое выпирание грунта относительно невелико, а на влагонасыщенных и пластичных грунтах этот вид деформации резко возрастает. Грунт почти не уплотняется и при движении колеса выжимается в направлении движения и выпирается в стороны.

Увеличение ширины колеса затрудняет боковое выпирание грунта, повышает деформацию грунта в направлении движения.

Проекция поверхности контакта жесткого цилиндрического колеса с грунтом на горизонтальную плоскость имеет прямоугольную форму (рис. 2).

Контакт не имеет плоской зоны. Участок АГ является зоной восстановления упругих деформаций грунта. На этом участке контакта давления, приложенные от грунта к колесу, ничтожно малы и их обычно не принимают в расчет.

Угол γ является углом атаки колеса. Чем больше этот угол, тем больше результирующая горизонтальных напряжений, т. е. тем больше деформация грунта в горизонтальном направлении и тем меньше напряжения вертикального уплотнения.

Если горизонтальные силы превышают внутреннее трение в грунте, то наряду с уплотнением происходит и сдвиг грунта в направлении движения.

С увеличением скорости движения повышается динамическая прочность грунта, что

сопровождается уменьшением вертикального уплотнения грунта.

Несмотря на это, возрастают деформации сдвига грунта в направлении движения и бокового выпирания.

У катящегося колеса линия действия равнодействующей всех сил направлена под некоторым углом к вертикали. Из механики грунта известно [4], что при отклонении направления приложения нагрузки от вертикали сопротив-

ление грунта деформированию под штампом уменьшается, в результате чего сопротивление грунта деформированию под катящимся колесом меньше, чем под плоским штампом.

Схемы взаимодействия с грунтом ведомого автомобильного колеса с шиной обычной конструкции соответственно при глубине колеи больше высоты профиля шины показаны на рис. 3, при глубине колеи меньше половины высоты профиля шины – на рис. 4.

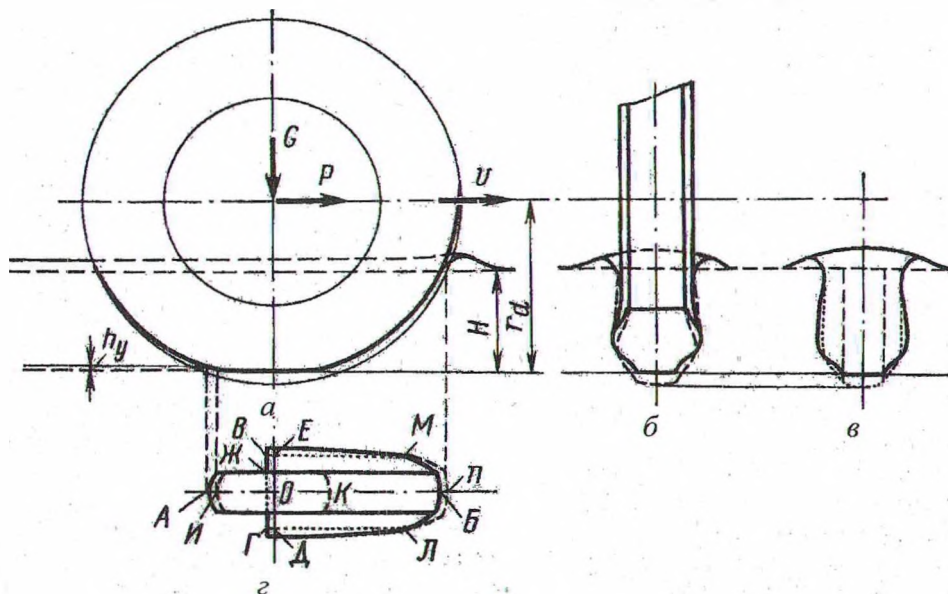


Рис. 3. Схема взаимодействия автомобильного колеса с грунтом при погружении его на глубину, большую высоты профиля шины:

a – в продольной плоскости; b – в поперечной плоскости; v – форма профиля колеи в поперечной плоскости; z – форма контакта (вид сверху); G – нагрузка; P – толкающая сила; v – скорость движения; H – глубина колеи; r_d – динамический радиус; h_y – упругая деформация грунта; h – деформация шины

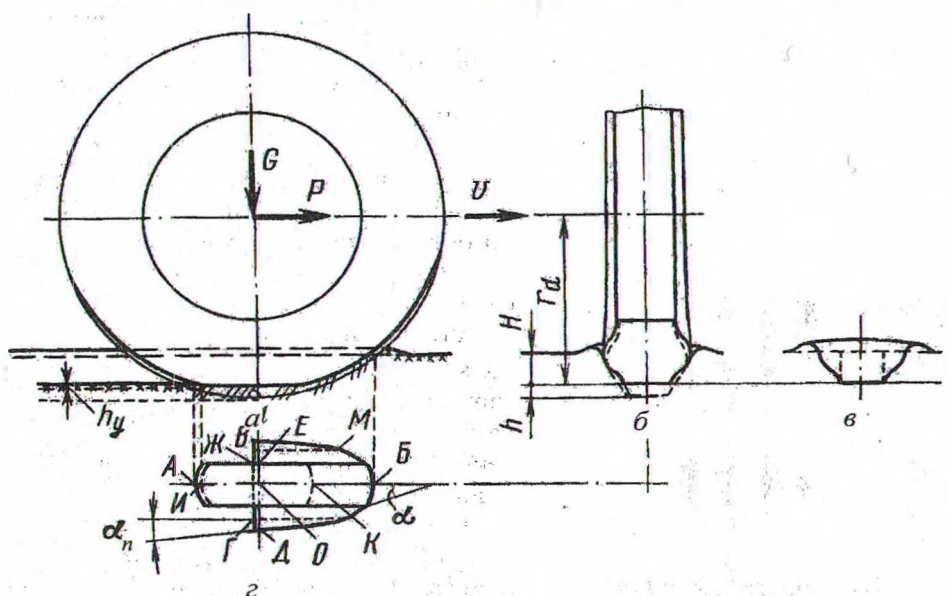


Рис. 4. Схема взаимодействия автомобильного колеса с грунтом при погружении его на глубину, меньшую половины высоты профиля шины:

a, b, v и z – обозначают то же, что и на рис. 3

В отличие от жесткого цилиндрического колеса профиль автомобильного колеса имеет клиновидную форму (рис. 4, б). В области плечевых зон протектора в грунте возникает концентрация местных напряжений, способствующая погружению колеса в грунт.

При погружении в грунт шина опирается не только протектором, но и боковинами, что приводит к значительному увеличению опорной площади колеса, уменьшению деформации шины. По результатам исследований шина при взаимодействии с влажным связным грунтом имеет форму, показанную на рис. 3, а, б. Эта форма мало отличается от формы шины при качении по твердой дороге. Опора на грунт боковинами приводит к некоторому увеличению их деформации в надконтактной зоне.

Шины высокого давления на связном грунте избыточной влажности почти не деформируются и при качении колеса ведут себя подобно жесткому телу. Их колея имеет форму, обозначенную пунктиром на рис. 3, в, и площадь контакта ЕМПЛД (рис. 3, г).

На более плотных грунтах пневматическая шина деформируется, но ее деформация значительно меньше, чем на дороге с твердым покрытием. При одной и той же нагрузке разница в величинах радиальной деформации шины на твердом покрытии и грунте зависит от жесткости шины, ее размеров и несущей способности грунта.

Радиальная деформация шин на грунте при заданной нагрузке увеличивается с уменьшением размера шин и понижением давления воздуха в них (рис. 5). Деформация шин уменьшается с уменьшением несущей способности грунта. На влажном суглинистом грунте она меньше, чем на сухом песке, а на сухом песке меньше, чем на асфальтобетонном покрытии.

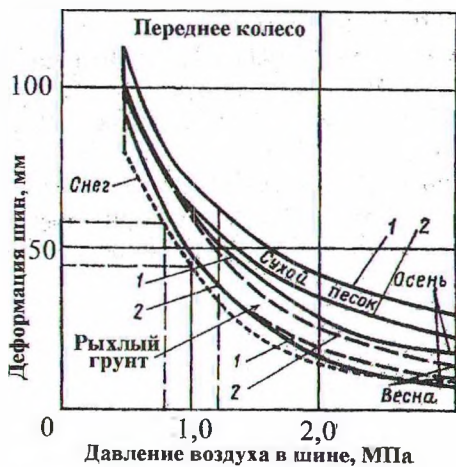


Рис. 5. Зависимость деформации шин от давления воздуха в них при движении по различным грунтам;

1 — шина 11,00—20; 2 — шина 14,00—20

При заданной нагрузке на одном и том же грунте глубина колеи увеличивается с уменьшением размера шин и повышением давления воздуха в них.

Примерно 70—80% глубины колеи образуется передними колесами (при первом проходе колеса).

Сопротивление качению колеса при его движении по грунту зависит не только от глубины колеи, но и от плотности и объема деформируемого грунта.

Деформация шины на мягком грунте приводит к увеличению угла клина профиля в вертикальной плоскости и появлению конусности профиля в продольной плоскости (угол α , на рис. 4, г). При этом проявляется собирательный эффект шины, который приводит к уплотнению грунта от краев к середине контакта. Увеличение клинообразности профиля шины (угла α) способствует уменьшению деформации грунта в вертикальном направлении, а появление конусности профиля в горизонтальном направлении способствует уплотнению и сдвигу грунта в боковом направлении.

При большом погружении колеса профиль колеи, образованный деформированной шиной, показан сплошной линией на рис. 3. В верхней части он имеет меньшую ширину, чем в нижней. Это способствует выпиранию грунта внутрь колеса (рис. 3, б) и повышению трения между шиной и грунтом в зоне выхода из контакта. Этот эффект достаточно сильно проявляется на переувлажненных и пластичных грунтах. На уплотняемых грунтах его можно не учитывать, особенно в связи с уменьшением конусности профиля при выходе из контакта. Контакт деформированной шины на влажном связном грунте (особенно с твердым подслоем) состоит из плоской (ИК) (рис. 3, г) и криволинейной частей. Криволинейная часть контакта увеличивается с увеличением глубины колеи, а плоская несколько уменьшается. Наиболее благоприятным режимом качения колеса по влажному связному грунту является такой, при котором глубина колеи не превышает половины высоты профиля шины. В этом случае плоская часть контакта составляет достаточно большую долю от его общей площади. Участки контакта АИ и ГД (рис. 3, г) обусловлены наличием упругой составляющей грунта. Силы, приложенные от грунта к шине, на этих участках относительно невелики. С увеличением скорости движения они становятся равными нулю, так как скорость восстановления упругой деформации грунта становится меньше скорости движения колеса.

Особенностью взаимодействия шин регулируемого давления и широкопрофильных шин с грунтом по сравнению с шинами обычной конструкции является значительно большая пло-

щадь контакта, и в первую очередь его плоской части; плоская часть контакта существенно больше его криволинейной зоны; за счет большей относительной деформации профиля увеличивается конусность контакта в продольной плоскости колеса, уменьшается клиновидный эффект в вертикальной плоскости, повышается интенсивность уплотнения грунта от краев к средней части контакта (рис. 6) [5]. Немного увеличивается уплотнение и сдвиг грунта в боковом направлении в зоне наибольшей ширины профиля шины и в направлении движения по ширине протектора.

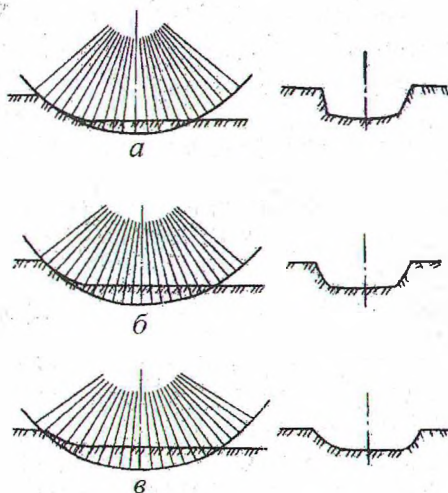


Рис. 6. Распределение давлений в плоскости контакта шины 12,00–20 регулируемого давления с грунтом (нагрузка номинальная): а – при давлении воздуха в шине 0,2 МПа; б – при 0,1 МПа; в – при 0,05 МПа

Шины с закругленной плечевой зоной обеспечивают более равномерную напряженность грунта в зоне контакта. Их называют грунтовыми шинами. Они хорошо работают на горизонтальных участках мягкого грунта, но имеют низкую боковую устойчивость на косогорах и грязных скользких дорогах. Ввиду этого предпочитают шины, имеющие профиль с четко выраженной плечевой зоной.

При больших величинах относительной деформации в контакте шины с грунтом, особенно в зоне его плоской части, протектор приобретает вогнутую форму. По мере

увеличения нормальной деформации шины обратная кривизна протектора в зоне контакта появляется вначале в направлении профиля, а затем и в продольной плоскости колеса. Такая форма контакта способствует интенсивному уплотнению грунта от краев к средней части контакта и уменьшению глубины колеи. Кроме того, на дне колеи образуется в результате этого уплотненный слой. Уплотненная корка на дне колеи позволяет более равномерно и на большую площадь распределять нагрузку, передаваемую колесом.

С увеличением ширины шины и понижением в ней давления воздуха уменьшаются напряжения в контакте, что приводит к уменьшению глубины колеи, при этом напряженным состоянием охватываются большие объемы грунта.

Заключение. На основании приведенных данных следует, что основными факторами, влияющими на параметры образующейся колеи, являются площадь контакта (форма, размеры и количество шин на каждой оси), осевые нагрузки, давление воздуха в шинах, а также состояние грунта покрытия (тип и влажность грунта). Также к этим факторам можно отнести рисунок и высоту протектора автопокрышек.

Литература

1. Вырко, Н. П. Где-то густо, а у нас пусто / Н. П. Вырко // Лесная промышленность Беларуси. – 2004. – № 1. – С. 26–28.
2. Насковец, М. Т. Анализ наличия и использования лесопогрузочных машин и механизмов основных предприятий лесного комплекса Республики Беларусь / М. Т. Насковец, А. А. Ермалицкий // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – 2005. – Вып. XIII. – С. 113–117.
3. Работа автомобильной шины / В. И. Кнороз [и др.]; под общ. ред. В. И. Кнороза. – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.
4. Бабков, В. Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов / В. Ф. Бабков, А. В. Гербург-Гейбович. – М.: Высшая школа, 1964. – 366 с.
5. Агейкин, Н. С. Вездеходные колеса и комбинированные движители (теория и расчет) / Н. С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.