

УДК 629.3.014.2

ПРОХОДИМОСТЬ КОМПЛЕКСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНО-ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА ТРЕЛЕВОЧНЫХ ВОЛОКАХ

²Бурмистров Д.В., ¹Арутюнян А.Ю., ¹Бурмистрова О.Н.

¹ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет»,

Ухта, e-mail: otimohova@ugtu.net;

²АО «Транснефть – Север», Ухта, e-mail: otimohova@ugtu.net

В данной статье указаны ограничения проходимости трелевочно-транспортных систем, что, в свою очередь, позволяет рассматривать систему: машина – естественная (грунтовая) ездочная поверхность. Разработаны вопросы оценки проходимости колесных трелевочно-транспортных машин по грунтам и проежаемости трелевочных волоков. Получены расчетные формулы, позволяющие установить оптимальное значение величины удельного давления колесных машин на ездочную поверхность и диаметра колеса. Расчеты демонстрируют, что, зная оптимальное значение удельного давления на ездочную поверхность, можно определить основные параметры комплексных трелевочно-транспортных систем, при которых можно получить наибольшую величину удельной свободной силы тяги на каждый квадратный сантиметр опорной поверхности. При этом предельная величина вертикальной деформации колеса позволяет определить диаметр колеса комплексных трелевочно-транспортных систем.

Ключевые слова: лес, древесина, трелевка, волок, масса, дорога, грунт

THE PERMEABILITY OF SKIDDING OF INTEGRATED TRANSPORT SYSTEMS ON SKID ROWS

²Burmistrov D.V., ¹Arutyunyan A.Y., ¹Burmistrova O.N.

¹Ukhta State Technical University, Ukhta, e-mail: otimohova@ugtu.net;

²Transneft – Sever, Ukhta, e-mail: otimohova@ugtu.net

This article lists the limits of maneuverability of the skid-transport systems, which in turn allows us to consider the system: machine – natural (dirt) surface mount. Developed the evaluation of patency of wheeled skidder-vehicles for soils and proyezzhayemost skid trails. Formulas that allows you to set the optimum value of specific pressure wheeled vehicles on surface mount and wheel diameter. Calculations show that knowing the optimal value of the specific pressure on the saddle surface, we can define the basic parameters for an integrated skid-transport system, in which you can get the greatest value of the specific loose traction on every square centimeter of support surface. When this limit value of vertical deformation of the wheel allows to determine the diameter of the wheel skid integrated transport systems.

Keywords: forest, timber, timber harvesting, skidding, skid, weight, road, soil

Повысить производительность лесо-транспортных машин можно методом активного увеличения проходимости за счет управления несущей способностью путей первичного транспорта леса. В свою очередь, ресурсы для увеличения несущей возможности путей ограничиваются способностями древостоя, биопродуктивность которого определяется режимом увлажнения и рельефом местности, другими словами, категорией местности. Проходимость рассматриваем как способность лесозаготовительной машины совершать технологическую работу без нарушения (в допустимых границах) плодородия лесной земли и возможностью преодоления разных препятствий (пней, валунов, валежника) [2, 3, 7, 8]. В работах ученых [1–3, 5–6], приведены зависимости проходимости гусеничных и колесных машин в меняющихся грунтовых критериях. Тут проходимость машин первичного транспорта леса определяется коэффициентами: сопротивления

качению, сопротивления от наклона, сцепления и буксования, также удельным давлением на грунт и несущей способностью грунта. В главном исследователи уделяли внимание технической проходимости, т.е. возможности лесозаготовительных и лесотранспортных машин передвигаться по лесосеке с определенной силой тяги [4, 5]. Но эти зависимости не позволяют оценить воздействие на производительность лесных машин. Проходимость комплексных трелевочно-транспортных систем (КТТС) ограничивается [1, 2, 3, 4]:

– особенностями конструкции ходовой части, величиной массы и ее распределением на опорные части;

– путевыми условиями или, при работе без дорог, особенностями местности и другими природными факторами, в первую очередь:

1) почвенно-грунтовыми условиями;

2) рельефом местности;

3) наличием естественных непреодолимых препятствий.

С учетом этого при оценке проходимо-сти машины следует рассматривать систе-му: машина – естественная (грунтовая) ез-довая поверхность.

Взаимодействие этой системы описы-вается уравнением

$$F_{изб} = F_{сц} - W_{пол} \quad (1)$$

где $F_{изб}$ – избыточная (свободная) сила тяги, которая может быть использована на прео-доление уклонов и перевозку сортиментов, Н; $F_{сц}$ – максимальная сила тяги (по сцепле-нию), Н; $W_{пол}$ – сопротивление движению машины (Н/Т), величину которого можно принять равной

$$W_{пол} = kb \frac{h^{\mu+1}}{\mu+1}. \quad (2)$$

Величина h , в свою очередь,

$$h = \left(\frac{p}{k} \right)^{\frac{1}{\mu}}. \quad (3)$$

Таким образом,

$$F_{изб} = \omega c + 1000 gm_o \operatorname{tg} \varphi - \frac{kb \left(\frac{p}{k} \right)^{\frac{1}{\mu}}}{\mu+1}. \quad (4)$$

Разделив $F_{изб}$ на ω , получим

$$\Delta = \frac{F_{изб}}{\omega} = c + p \operatorname{tg} \varphi - \frac{p^{\frac{\mu+1}{\mu}}}{l(\mu+1)k^{\frac{1}{\mu}}}, \quad (5)$$

где l – суммарная длина отпечатков ко-лес КТТС, м.

В формуле (5) величина Δ зависит от удельного давления колеса – p (Н/см²).

Отношение $\Delta:p$ в известной мере харак-теризует конструкцию машин и ее пригод-ность для данной ездовой поверхности.

Оптимальное значение $\Delta:p$ может быть получено дифференцированием вы-ражения (5).

Однако в правой части (5) имеется вели-чина l , зависящая от p . Ее можно найти из равенства

$$\omega = n\varepsilon l^2,$$

где ε – отношение средней ширины следа к его длине; n – количество колес у КТТС.

$$\Delta = 1,5 + 16 \cdot 0,36 - \frac{16}{1,5 \cdot 7^2} \left(\frac{4}{1000 \cdot 9,81 \cdot 8} \right)^{1/2} = 1,5 + 5,75 - \frac{13000}{73,52} \cdot \frac{2}{80} = 1,5 + 5,75 - 1,31 = 5,94 \text{ Н/см}^2.$$

В то же время

$$\omega = \frac{1000mg}{p}, \quad (6)$$

где m – масса КТТС, т.

С учетом этого

$$l = \left(\frac{1000gm}{n\varepsilon p} \right)^{1/2}.$$

Таким образом,

$$\Delta = c + p \operatorname{tg} \varphi - \frac{p^{\frac{3\mu+2}{2\mu}}}{(\mu+1)k^{\frac{1}{\mu}}} \left(\frac{n\varepsilon}{1000gm} \right)^{1/2}. \quad (7)$$

Дифференцируя, будем иметь

$$\frac{d\Delta}{dp} = \operatorname{tg} \varphi - \frac{(3\mu+2)p^{\frac{\mu+2}{2\mu}}}{2\mu(\mu+1)k^{1/\mu}} \left(\frac{n\varepsilon}{1000gm} \right)^{1/2}.$$

Приравняв $\frac{d\Delta}{dp} = 0$, получим

$$p_{опт} = \left[\frac{2\mu(\mu+1)k^{1/\mu} \operatorname{tg} \varphi \left(\frac{1000gm}{n\varepsilon} \right)^{1/2}}{3\mu+2} \right]^{\frac{2\mu}{\mu+2}}, \quad (8)$$

где c – сцепление, Н/см²; k – коэффициент, характеризующий физико-механические свойства грунта; μ – коэффициент, характе-ризующий состояние грунта; φ – угол вну-треннего трения грунта (коэффициент про-порциональности между максимальными касательными и нормальными напряжения-ми при разрушении грунта).

Приняв $n = 4$ м и $\mu = 0,5$, будем иметь

$$p_{опт} = 0,7 \operatorname{tg}^{1/2,5} \varphi \left(\frac{250gm}{\varepsilon} \right)^{1/5} c^{0,8}. \quad (9)$$

Например, при $\operatorname{tg} \varphi = 0,36$, $m = 8$ т; $k = 7$; $\varepsilon = 1$

$$p_{опт} = 0,7 \cdot 0,87 \cdot 7,34 \cdot 4,7 = 16 \text{ Н/см}^2.$$

Зная оптимальное значение удельного давления на ездовую поверхность, можно определить основные параметры КТТС, при которых можно получать наибольшую величину удельной свободной силы тяги на каждый квадратный сантиметр опорной по-верхности [5].

При $c = 1,5$ Н/см² будем иметь по фор-муле (7), что

Величина опорной поверхности (суммарной площади всех отпечатков колес) равна

$$\omega = \frac{1000gm}{p} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 8}{16} = 4900 \text{ см}^2.$$

а свободная сила тяги по сцеплению

$$F_{\text{св}} = 4900 \cdot 5,94 = 29100 \text{ Н.}$$

Соответственно, касательная сила тяги у такой машины должна быть равна

$$F_{\text{сц}} = c\omega + 1000g \cdot m \cdot \text{tg}\varphi = \\ = 1,5 \cdot 4900 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 8 \cdot 0,36 = 36150 \text{ Н.}$$

Соппротивление КТТС самопередвижению определится

$$W_{\text{кол}} = 36150 - 29100 = 7050 \text{ Н,}$$

а удельное сопротивление движению

$$W_{\text{уд}} = \frac{7050}{8} = 880 \text{ Н/т.}$$

Коэффициент сцепления

$$\varphi = \frac{36150}{1000 \cdot 9,81 \cdot 8} = 0,46.$$

Изложенная ниже методика позволяет подойти и к определению неизвестного показателя pD для КТТС. Диаметр эквивалентного круга

$$D = \sqrt{\frac{4\omega}{n\pi}} = \sqrt{\frac{4900 \cdot 4}{4 \cdot 3,14}} = 39,5 \text{ см.}$$

Таким образом, оптимальное значение

$$pD = 16 \cdot 39,5 \text{ Н/см.}$$

Задаваясь предельной величиной вертикальной деформации колеса, можно определить диаметр колеса КТТС. Пользуясь известной формулой Хедекеля, можно написать

$$\omega_1 = \pi h \sqrt{D_k B_k}, \quad (10)$$

где ω_1 – площадь следа одного колеса, см^2 ; h – вертикальная деформация шины колеса, см; D_k – диаметр колеса, см; B_k – ширина беговой дорожки (0,85...0,9 ширины профиля шин), см.

В то же время

$$\omega_1 = \frac{1000gm}{np}. \quad (11)$$

У трелевочных тракторов величина h , зависящая от D_k , колеблется в узких пределах и может быть принята равной $h = aD_k$, где $a = 0,04 \dots 0,048$.

Имея это в виду и приравняв друг другу правые части равенств (10) и (11), можно получить, что

$$D_k = 215 \sqrt{\frac{m^2}{n^2 a^2 p^2 B_k}}. \quad (12)$$

При $m = 8 \text{ т}$; $n = 4$; $a = 0,042$; $p = 16 \text{ Н/см}^2$ и $B_k = 45 \text{ см}$ получим

$$D_k = 215 \sqrt{\frac{8^2}{4^2 \cdot 0,042^2 \cdot 16^2 \cdot 45}} = 126 \text{ см.}$$

Полученные зависимости характеризуют влияние физико-механических свойств грунта и его состояния (влажности) на величину сцепления ведущих колес машин с ездовой поверхностью и позволяют установить оптимальные значения среднего удельного давления колеса трелевочно-транспортной системы, диаметра колеса и, следовательно, величины pD , характеризующей воздействие системы на ездовую поверхность, а также минимальный радиус проходимости и другие характеристики.

Таким образом, получены расчетные формулы, которые позволяют установить оптимальное значение величины удельного давления колесных машин на ездовую поверхность и диаметра колеса.

Список литературы

1. Барахтанов Л.В. Проходимость автомобиля / Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков, В.Н. Кравец. – Н. Новгород: НГТУ, 1996. – 200 с.
2. Бит Ю.А. К вопросу о колееобразовании и уплотнении трелевочного волока: межвуз. сб. науч. тр. / И.А. Бит, И.В. Григорьев, О.И. Григорьева // Лесосеч., лесосклад. работы и трансп. леса. – СПб.: ЛТА, –2002. – С. 38–45.
3. Галактионов О.Н. Исследование взаимосвязи технологической проходимости лесозаготовительных машин с параметрами лесной среды [Электронный ресурс] / О.Н. Галактионов, А.В. Кузнецов // Инженерный вестн. Дона: Электрон. журнал. – 2012. – Т. 22. – № 4–1. URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1145>.
4. Герц Э.Ф. Обоснование и разработка методов определения напряжений и деформаций в поперечном сечении многослойного хворостяного настила трелевочного волока / Э.Ф. Герц, А.Ф. Кулиничев, А.В. Мехренцев // Лесосеч., лесосклад. работы и трансп. леса: Межвуз. сб. науч. тр. – СПб.: ЛТА, – 2002. – С. 69–76.
5. Цыпук А.М. Определение глубины колеи лесных машин / А.М. Цыпук, А.В. Родионов // Лес. пром-ть. – 2004. – № 2. – С. 21–22.

6. Скрыпник В.И. Имитационные испытания и моделирование работы валочно-треповочно-процессорной машины в реальных природных условиях / В.И. Скрыпник, А.В.Кузнецов, О.Э. Степанищев // Трактора и сельхозмашины. – 2013. – Вып. 3. – С. 26–28.

7. Шегельман И.Р. Состояние нагруженности волокон при функционировании комплексных лесосечных систем / И.Р. Шегельман, О.Н. Галактионов, А.В. Кузнецов // Вестник МАНЭБ. – 2009. – № 14(1). – С. 68–72.

8. Шегельман И.Р. Работа лесных машин в трудных природнопроизводственных условиях / И.Р. Шегельман, В.И. Скрыпник, А.В. Кузнецов // Известия СПбГЛТА. – 2010. – Вып. 190. – С. 87–97.

References

1. Barahtanov L.V. Prohodimost avtomobilja / L.V. Barahtanov, V.V. Beljakov, V.N. Kravec. N. Novgorod: NGTU, 1996. 200 p.

2. Bit Ju.A. K voprosu o koleeobrazovanii i uplotnenii trelevochnogo voloka: mezhvuz. sb. nauch. tr. / I.A. Bit, I.V. Grigorev, O.I. Grigoreva // Lesosech., lesosklad. raboty i transp. lesa. SPb.: LTA, –2002. pp. 38–45.

3. Galaktionov O.N. Issledovanie vzaimosvjazi tehnologicheskoi prohodimosti lesozagotovitelnyh mashin s para-

metrami lesnoj srede [Jelektronnyj resurs] / O.N. Galaktionov, A.V. Kuznecov // Inzhenernyj vestn. Dona: Jelektron. zhurnal. 2012. T. 22. no. 4–1. URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1145>.

4. Gerc Je.F. Obosnovanie i razrabotka metodov opredelenija naprjazhenij i deformacij v poperechnom sechenii mnogostojnogo hvorostjanogo nastila trelevochnogo voloka / Je.F. Gerc, A.F. Kulnichev, A.V. Mehrencev // Lesosech., lesosklad. raboty i transp. lesa: Mezhvuz. sb. nauch. tr. SPb.: LTA, 2002. pp. 69–76.

5. Cypuk A.M. Opredelenie glubiny kolei lesnyh mashin / A.M. Cypuk, A.V. Rodionov // Les. prom-t. 2004. no. 2. pp. 21–22.

6. Skrypnik V.I. Imitacionnye ispytaniya i modelirovanie raboty valочно-треповочно-processornoj mashiny v realnyh prirodnyh uslovijah / V.I. Skrypnik, A.V.Kuznecov, O.Je. Stepanishhev // Traktora i selhoz mashiny. 2013. Vyp. 3. pp. 26–28.

7. Shegelman I.R. Sostojanie nagruzhennosti volokov pri funkcionirovanii kompleksnyh lesosechnykh sistem / I.R. Shegelman, O.N. Galaktionov, A.V. Kuznecov // Vestnik MANJeB. 2009. no. 14(1). pp. 68–72.

8. Shegelman I.R. Rabota lesnyh mashin v trudnyh prirodnoпроизводственных uslovijah / I.R. Shegelman, V.I. Skrypnik, A.V. Kuznecov // Izvestija SPbGLTA. 2010. Vyp. 190. pp. 87–97.