

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК

УДК 631.3:629.3.014.2.033:636.085

ЛАПИК ВЛАДИМИР ПАВЛОВИЧ, докт. техн. наук, доцент¹

E-mail: v.p.lapick@mail.ru

КУЗНЕЦОВ АНДРЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ, инженер²

E-mail: kuznetsov@bryanskselmash.ru

ЛАПИК ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ, инженер¹

E-mail: lapik.pawel@mail.ru

¹ Брянский государственный аграрный университет, ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский р-н, Брянская обл., 243365, Российская Федерация

² ЗАО СП «Брянксельмаш», Московский проспект, 86, г. Брянск, 241020, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ С ЭЛАСТИЧНЫМИ ОПОРНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ НА НЕРАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ПОЧВУ

Основной задачей исследований является установление конструктивных параметров гусеничного движителя с резинокордными траками, способных снизить неравномерность распределения давления на переувлажненные пойменные почвы. Применение резинокордных траков в конструкциях гусеничных движителей в сравнении с металлическими и резиноармированной гусеницей показало более щадящее их воздействие на такие почвы. Для экспериментальных исследований в качестве гусеничной машины, в конструкции которой использовали два типа траков: серийные металлические и резинокордные – был выбран самоходный гусеничный кормоуборочный комбайн КСГ-3,2А (Амур-680). Исследования, проведенные на пойменных лугах учебно-опытного хозяйства Брянского государственного аграрного университета, показали, что значительные пики давления имеют место под опорными катками кареток на различных по влажности участках. Это говорит о возможности совершенствования, как конструкции трака, так и конструктивных элементов гусеничного движителя. В статье изложены особенности взаимодействия такого движителя с почвой, проведены теоретические и экспериментальные исследования буксования движителя, процессов формирования колеи в зависимости от конструктивных параметров движителя, таких как углы наклона гусеничной ветви, диаметр и ширина колес. Особое влияние оказывают параметры конструкции трака, вызванные увеличением его высоты. Эпюры давления на переувлажненную почву движителя с резинокордными и металлическими траками такие утверждения подтверждают. Определена зависимость для расчета максимального давления под колесами гусеничного движителя от их конструктивных параметров. В результате проведенных расчетов установлено, что для дальнейшего выравнивания неравномерности распределения давления гусеничного движителя на переувлажненные почвы необходимо оптимизировать конструкции гусеничных тележек, размеры опорных колес и элементы резинокордных траков.

Ключевые слова: гусеничный движитель, резинокордные траки, переувлажненные почвы, эпюры давления, опорные катки, колея.

Введение. В современных условиях ведения агробизнеса актуальной проблемой является получение качественной продукции как растениеводства, так и животноводства с наименьшими затратами финансовых средств. Одной из малозатратных тех-

нологий заготовки качественных по питательности кормов являются пойменные луга. Современный парк машин имеет самоходные кормоуборочные комбайны на гусеничном ходу с металлическими траками и резиноармированными гусеницами (РАГ)

для заготовки кормов на переувлажненных почвах с накопительной емкостью, выпускаемые заводами ОАО «Дальсельмаш» и ОАО «Гомсельмаш».

Воздействие гусеничного движителя на почву оценивается по давлению на почву, сохранению ее структуры в результате колееобразования и растительного покрова. Экспериментальные исследования взаимодействия гусеничного движителя с резиноармированными гусеницами с опорным основанием показали уменьшение глубины колеи, что сохраняет структуру почвы, но при этом, вследствие буксования, изгибной жесткости ленты и наличия увеличенных размеров грунтозацепов, в процессе передвижения по переувлажненным почвам происходит выдавливание поверхности почвы в разных направлениях. Это приводит к разрушению структуры почвы и уничтожению растительного покрова вместе с корневой системой. Уменьшение размеров грунтозацепов влечет за собой снижение тягово-сцепных свойств машины [1, 2].

В работе [3] была доказана эффективность применения резинокордных траков в конструкциях гусеничных движителей для работы на переувлажненных пойменных лугах.

Анализ теоретических и экспериментальных результатов показал, что применение резинокордных траков вместо металлических и резиноармированных гусениц по многим показателям, оценивающим гусеничные движители, соответствует агротехническим требованиям, предъявляемым к гусеничным машинам [4].

Цель исследования – установить влияние конструктивных особенностей гусеничных движителей с эластичными резинокордными траками на распределение давления на переувлажненные пойменные почвы по длине опорной поверхности движителя.

Материал и методы. Важнейшим моментом исследования эксплуатационных свойств гусеничных движителей является измерение неравномерности давления в зоне контакта движителя с почвой, деформационные свойства которой существенно зависят от влажности и плотности.

В качестве гусеничной машины, в конструкции которой использовали два типа траков: серийные металлические и резинокордные – был выбран самоходный гусеничный кормоуборочный комбайн КСГ-3,2А (Амур-680). Конструкция резинокордного трака (рис. 1) содержит протекторную часть шириной 0,633 м, контактирующую с почвой, две упругие стойки, представляющие собой трубчатые элементы, открытые с торцов и снабженные упорами. Опорные площадки, находящиеся на верхней части упругих стоек, имеют четыре отверстия для крепления к гусеничной цепи через промежуточные элементы. В экспериментальных исследованиях резинокордные траки прикреплялись к силовому поясу через отверстия.

Эксперименты проводили на пойменных лугах учебно-опытного хозяйства Брянского государственного аграрного университета.

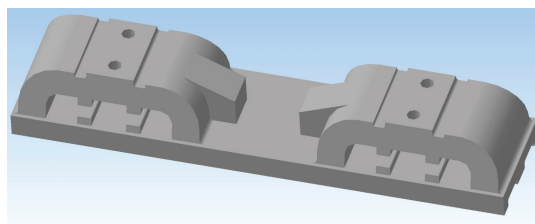


Рис. 1. Конструкция резинокордного трака

Результаты и обсуждение. Применение резинокордных траков в конструкциях гусеничных движителей для работы на переувлажненных пойменных лугах существенно изменяет характер деформирования почв, что влечет за собой уменьшение глубины колеи [5, 6]. Однако представленные на рисунке 2 эпюры распределения давления по длине гусеничного движителя с резинокордными траками показывают значительные пики давления под крайними опорными катками кареток, которые оказывают влияние на изменение глубины колеи, что и подтверждает отмеченные в работе [5] особенности взаимодействия такого движителя с переувлажненной почвой, вызванные увеличением высоты траков.

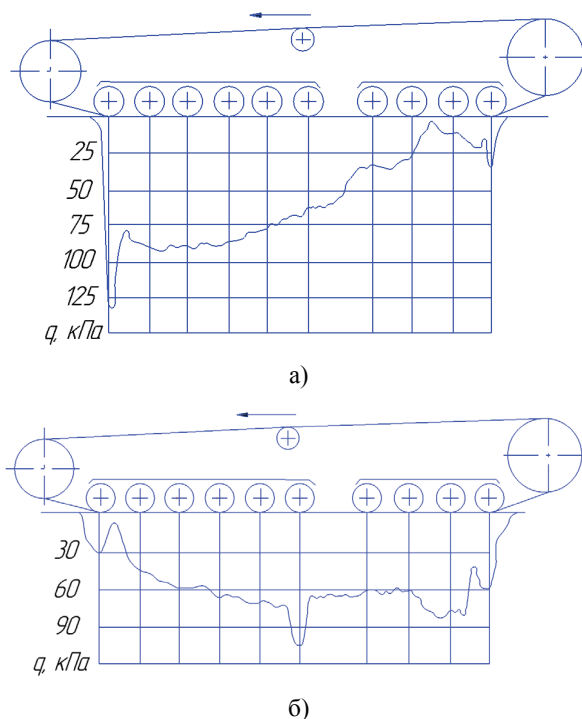


Рис. 2. Эпюры давления движителя с резинокордными траками на почвы различной влажности:
а – на почвы средней влажности;
б – на почвы повышенной влажности

Анализ такого взаимодействия показал, что деформация почвы осуществляется передней дуговой ветвью направляющего колеса и направляющим

участком при равномерном распределении давления по длине опорной поверхности.

Известно, что в любом случае деформация почвы проходит в пределах угла трения по направлению вектора абсолютной скорости перемещения деформатора [7], в данном случае гусеницами на направляющем участке и дуговой ветви направляющего колеса (рис. 3).

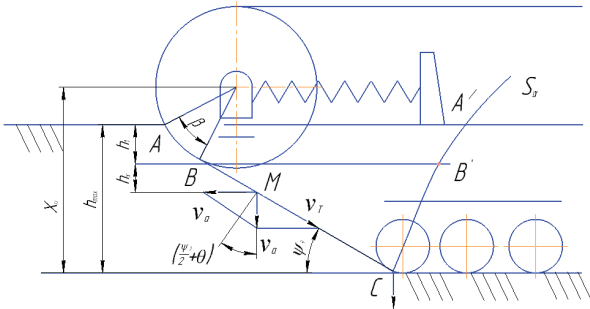


Рис. 3. Направление вектора абсолютной скорости гусеничной цепи при перемещении по участкам обвода

При этом возникает значительное буксование на дуге контакта направляющего колеса с почвой. Так, при $r_n = 0,377$ м и высоте резинокордных траков 0,1 м буксование составляет 27%. При стандартном значении угла наклона направляющего участка гусеницы для комбайна, равном $\psi_3 \approx 12,5^\circ$, и угле $(\beta + \psi_3) = 45^\circ$ для металлического движителя характерно появление перед направляющим колесом призмы волочения, которая создаёт большое сопротивление качению.

В случае же применения резинокордных траков вектор абсолютной скорости точек опорной поверхности траков составляет угол с нормалью к этой поверхности согласно формуле (1):

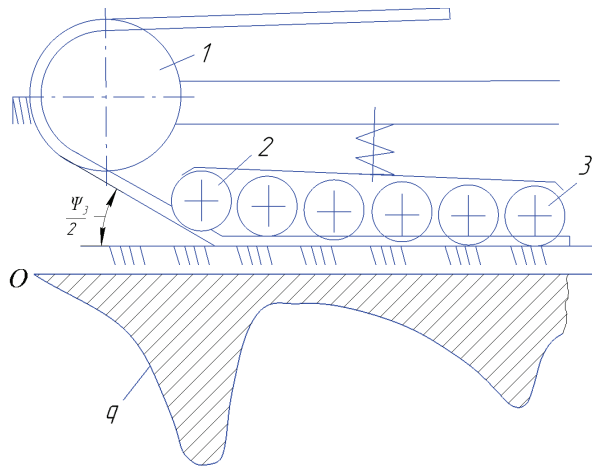
$$\cos\left(\frac{\beta + \psi_3}{2} + Q\right) = \frac{\delta \sin(\beta + \psi_3)}{\sqrt{\delta^2 - 2\delta \cos(\beta + \psi_3) + 1}}, \quad (1)$$

где $\left(\frac{\beta + \psi_3}{2} + Q\right) \approx 75^\circ$, т.е. вектор абсолютной скорости отклоняется от вертикали только на 15° и почти совпадает по направлению с вектором этой скорости на направляющем участке гусеницы. Вследствие высокого буксования направляющее колесо поднимает под себя почву и эффекта волочения не возникает. Направляющий участок гусеницы «всплывает» над почвой и, вследствие его податливости из-за отсутствия катков, почти не создаёт давления на почву. Эффект создания призмы волочения появляется перед первым опорным катком, что отражается в пике давления под передней его частью.

Первый опорный каток действует как катящееся на подъём колесо, создавая своим давлением колею. Угол подъёма при накатывании первого опорного катка на направляющий участок гусеницы равен

не ψ_3 , а $\psi_3/2$ вследствие одновременного оседания почвы [5].

Поскольку в передней тележке опорные катки связаны между собой жёстко, возникает схема нагружения почвы, показанная на рисунке 4. Давление на почву медленно нарастает вдоль направляющего участка, и под первым опорным катком имеет место пик давления. Затем давление, создаваемое лишь весом гусеницы, падает практически до нуля и снова нарастает вблизи последнего катка передней тележки, под которым следует снова пик давления, так как оно создаёт силу реакции, уравнивающую момент сил, действующих на первый каток. Это видно на приведенных выше эпюрах давления движителя на почву.



**Рис. 4. Схема формирования колеи первым опорным катком:
1 – направляющее колесо;
2 – первый опорный каток; 3 – последний опорный каток передней тележки**

Проявляется такая картина, в определённой степени, и на эпюрах для металлических траков, так как их высота также довольно значительна.

Если машина движется с положительным дифферентом, то вся описанная выше картина повторяется и на второй опорной тележке. Это также видно на эпюре давления.

Процесс взаимодействия первого опорного катка с почвой можно приближённо описать в рамках предложенной М.М. Танклевским [8] теории взаимодействия с почвой колеса, давление которого при движении сосредоточено в основном под передней его половиной. С учетом этой теории максимальное давление под колесом можно представить формулой (2):

$$q_{\max} = 1,13 \sqrt{\frac{Pk}{BD}}, \quad (2)$$

где P – сила, действующая на ось колеса, Кн; D – диаметр колеса, м; k – коэффициент пропорциональности между изменением давления и осадкой почвы; B – ширина колеса, м.

Выводы

Таким образом, считая, что сила P примерно постоянна, максимальное давление будет обратно пропорционально величине $\sqrt{r_0 + h_{mp}}$, где r_0 – радиус опорного катка; h_{mp} – высота трака. Отсюда следует, что для полного сглаживания эпюры, показанной на рисунке 2, необходимо:

1. Повысить упругие свойства стоек трак и увеличить жесткость подошвы, что было выполнено в работах [9, 10].

2. Увеличить высоту траков примерно на 0,15 м либо соответственно увеличить радиус первого опорного катка и снизить жесткость как опорных кареток, так и гусеничного движителя в целом.

Библиографический список

1. Лапик В.П., Стрельцов В.В., Адылин И.П. Характер деформирования переувлажненной пойменной почвы гусеничным движителем с резиноармированными гусеницами // Научное обозрение. 2014. № 8. С. 30-34.
2. Злобин Е.В. Исследование тягово-сцепных свойств движителя с резиноармированными гусеницами в условиях Дальнего Востока: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Благовещенск, 2006. 134 с.
3. Лапик В.П., Адылин В.П. Применение резинокордных траков в гусеничном движителе // Техника в сельском хозяйстве. 2013. № 1. С. 27.
4. Лапик В.П. Экологические аспекты воздействия гусеничных движителей на почву // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2010. № 2(41). С. 100-103.
5. Лапик В.П., Ерохин М.Н., Стрельцов В.В. Исследование динамических нагрузок гусеничной машины на почву // Техника и оборудование для села. 2015. № 2 (212). С. 9-12.
6. Лапик В.П. Особенности расчета глубины колеи гусеничной машины с резинокордными траками // Международный технико-экономический журнал. 2014. № 6. С. 15-19.
7. Старовойтов С.И., Старовойтова Н.П., Чемисов Н.Н. Коэффициент сопротивления деформации // Материалы IX Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы эксплуатации современных систем энергообеспечения и природопользования», 23-24 сентября 2015. Брянск: Издательство Брянского ГАУ, 2015. С. 246-251.
8. Танклевский М.М. Проходимость машин. Киев, 1990. 155 с.
9. Лапик В.П., Адылин И.П. Усовершенствование резинокордного трака гусеничного движителя // Сельский механизатор. 2015. № 3. С. 30-32.
10. Эластичный трак гусеницы транспортного средства: пат. 2554899 Рос. Федерации № 2012155435/11 / В.П. Лапик, И.П. Адылин; заявл. 19.12.2012, Бюл. № 18.

Статья поступила 23.03.2017

INFLUENCE OF DESIGN PARAMETERS OF CATERPILLAR MOVER WITH ELASTIC SUPPORTING DEVICES ON THE UNEVENNESS OF GROUND PRESSURE DISTRIBUTION

VLADIMIR P. LAPIK, DSc (Eng), Associate Professor¹

E-mail: v.p.lapick@mail.ru

ANDREY Ye. KUZNETSOV, Engineer²

E-mail: kuznetsov@bryanskselmash.ru

PAVEL V. LAPIK, Engineer¹

E-mail: lapik.pavel@mail.ru

¹ Bryansk State Agrarian University, 243365, bld. 2a, Sovetskaya street, Kokino, Vygonichi district, Bryansk region, Russian Federation

² Joint Venture “Bryanskselmash” Inc., 241020, bld. 86, Moskovskiy Ave., Bryansk, Russian Federation

The main research objective is the determination of the design parameters of a caterpillar mover with rubber-cord tracks which are capable of reducing the unevenness of pressure distribution on waterlogged floodplain soils. The use of rubber-cord tracks in the construction of caterpillar movers in comparison with metal and rubber caterpillar showed a more sparing effect on this kind of soil. For the experimental research, the self-propelled cartepillar forage harvester КСГ-3,2А (Amur-680) was selected as a caterpillar with two types of trucks used (serial metal and rubber-cord ones). The research conducted on the floodplain meadows

of the study and experimental farm of Bryansk State Agrarian University has shown that the considerable pressure peaks occur under the track roller group of carriages on different humidity areas. This suggests an opportunity of improving both truck construction and structural components of a caterpillar mover. The paper describes the specific features of the interaction of this mover type with soil. The paper outlines the theoretical and experimental studies of the mover hauling, the processes of track forming depending on the mover construction parameters, such as the truck group slope angle, the wheel diameter and width. Especially important are the truck structure parameters caused by the increase of its height. The pressure distribution diagrams for a mover with rubber-cord and metal trucks acting on waterlogged soil confirm such statements. The authors have determined the dependence to calculate the maximum pressure under the wheels of caterpillar tracks basing on their design parameters. As a result of the calculations they have determined the need to optimize the design of caterpillar trucks, the size of support wheels and rubber-shoe elements to further equalize the uneven distribution of the pressure of caterpillar tracks on waterlogged soil.

Key words: caterpillar mover, rubber-cord tracks, waterlogged soil, pressure distribution diagrams, track rollers, treadway.

References

1. Lapik V.P., Strel'tsov V.V., Adilin I.P. Kharakter deformirovaniya pereuvlazhnennoy poymennoy pochvy gusenichnym dvizhitelem s rezinoarmirovannymi gusenitsami [Pattern of Waterlogged Floodplain Soil Distortion by Rubber Reinforced Tracks]. *Scientific Review*, 2014, No. 8, pp. 30-34. (in Rus).
2. Zlobin Ye.V. Issledovanie tyagovo-scepnnykh svoystv dvizhitelya s rezinoarmirovannymi gusenitsami v usloviyakh Dal'nego Vostoka [Research of towing characteristics of a mover with rubber-reinforced caterpillars in the Far East]. PhD (Eng) thesis, Blagoveschensk, 2006. 134 p. (in Rus).
3. Lapik V.P., Adilin I.P. Primenenie rezinokordnykh trakov v gusenichnom dvizhitеле [Using rubber-cord tracks in a cartepillar mover]. *Tekhnika v Selskom Khozyaistve*. 2013. No 1. P. 27. (in Rus).
4. Lapik V.P. Ekologicheskie aspekty vozdeystviya gusenichnykh dvizhiteley na pochvu [Ecological aspects of the influence of rubber-cord movers on soil]. *Vestnik MGAU im. V.P. Goryachkina*, 2010, No. 2 (41), pp. 100-103. (in Rus).
5. Lapik V.P., Yerokhin M.N., Strel'tsov V.V. Issledovanie dinamicheskikh nagruzok gusenichnoy mashiny na pochvu [Study of dynamic loads of a caterpillar vehicle on soil]. *Tekhnika i Oboridovanie Dlya Sela*, 2015, No 2 (212), pp. 9-12. (in Rus).
6. Lapik V.P. Osobennosti rascheta glubiny kolei gusenichnoy mashiny s rezinokordnymi trakami [Specific features of calculating the depth of treadway of a caterpillar vehicle with rubber cord tracks]. *International Technical and Economic Journal*, 2014, No 6, pp. 15-19. (in Rus).
7. Starovoitov C.I., Starovojtova N.P., Chemisov N.N. Koeffitsient soprotivleniya deformatsii [Coefficient of Deformation Resistance]. *Materials of the IX International Scientific and Technical Conference "Current Issues of Operation of Modern Energy Supply Systems and Nature Management"*, September 23-24. 2015. Bryansk: Izdatel'stvo Bryansk GAU, 2015, pp. 246-251. (in Rus).
8. Tanklevskiy M.M. Prokhodimost' mashin [Vehicle cross-country ability]. Kiev, 1990, 155 p. (in Rus).
9. Lapik V.P., Adilin I.P. Uovershenstvovanie rezinokordnogo traka gusenichnogo dvizhitelya [Improvement of rubber-cord tracks of cartepillar movers]. *Sel'skiy Mekhanizator*. 2015. No. 3. Pp. 30-32. (in Rus).
10. Elastichniy trak gusenitsy transportnogo sredstva [Elastic cartepillar track of a transportation vehicle]. Pat. RF 2554899, No. 2012155435/11. Lapik V.P., Adilin I.P.; appl. 19.12.2012, bul. No. 18. (in Rus).

Received on March 23, 2017