

Литература

1. Проблемы энергосбережения в АПК [Электронный ресурс] // http://sisupr.mrsu.ru/2012-4/PDF/Potarov_Grechishnikova.pdf.
2. Овсепян В.М. Гидравлический таран и таранные установки. – М.: Машиностроение, 1968. – 124 с.
3. Пташкина-Гирина О.С., Гусева О.А. Гидроэнергетический потенциал напорных гидроузлов Челябинской области // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 8. – С. 66–68.
4. S.A.R.L. Walton. Hydraulic Ram [Электронный ресурс] // <http://www.walton.fr/hydraulic-ram>.
5. Бакунин В.В. Оптимизация подбора и регулировки гидротарана на максимальную производительность // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 5. – С. 74–86.
6. Бакунин В.В. Повышение эффективности гидротаранной установки путем автоматизации ее конструкции // Наука ЮУрГУ: мат-лы 65-й науч. конф. – Челябинск, 2013. – С. 162–165.
7. Бакунин В.В., Пташкина-Гирина О.С. Повышение энергетической эффективности низконапорных гидроузлов посредством использования гидротаранной установки // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 7 – С. 175–180.
8. Comparison Between DTU and Commercial Hydraulic Ram Pump Performance // Development Technology Unit/ Department of Engineering Warwick University. – 1992. – 39 p.



УДК 630.37:001.891

В.Н. Холопов, В.А. Лабзин

ПАРАМЕТРЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ С ПРЕПЯТСТВИЕМ

В статье рассмотрено движение двухгусеничной лесной машины при наезде и переезде через препятствие в виде вертикальной стенки. Получены аналитические зависимости и условия преодоления препятствия.

Ключевые слова: лесная машина, гусеницы, пороговое препятствие, вертикальная стенка, угол наклона, натяжное колесо, сцепление, параметры уравнения.

V.N. Kholopov, V.A. Labzin

INTERACTION PARAMETERS OF THE CATERPILLAR VEHICLE WITH THE OBSTACLE

The movement of the two-caterpillar forest vehicle at the tripping-over and moving through the obstacle in the form of the vertical wall is considered in the article. The analytical dependences and conditions of the obstacle overcoming are received.

Key words: forest vehicle, caterpillars, threshold obstacle, vertical wall, tilt angle, tightening wheel, coupling, equation parameters.

Введение. Лесные гусеничные машины используются в различных равнинно-горных условиях с различной захламленной опорной поверхностью, препятствиями, в том числе и выступающими препятствиями [1, 2]. Для выполнения лесохозяйственных работ используются модификации лесных машин, способных выполнять технологические операции с преодолением различных лесных препятствий [2]. Преодоление порогового препятствия при нахождении гусеничной машины на склоне и её движении вверх или вниз по склону имеет свои особенности и в настоящем исследовании не рассматривается.

Цель исследований. Определение параметров взаимодействия двухгусеничной машины с вертикальной стенкой.

Задачи исследований. Разработать расчетные схемы преодоления гусеничной машиной порогового препятствия; создать математическую модель взаимодействия гусениц трактора с препятствием; определить влияние параметров гусеничной машины на возможность преодоления препятствия.

Методика и результаты исследований. При исследовании использовались методы математического анализа, теоретической механики и моделирования взаимодействия гусениц трактора с пороговым препятствием.

Наиболее сложным из преодолеваемых препятствий является вертикальная стенка. С подъемом передней части гусеничной машины на вертикальную стенку увеличивается угол наклона машины и уменьшаются при этом необходимые для этого подъема тяговые усилия гусеницы.

Определим соотношение скоростей движения оси ведущей звездочки по горизонтальной поверхности и оси натяжного колеса по вертикальной стенке. Будем считать, что такое движение гусеничной машины является плоскопараллельным.

Из теоретической механики известно, что в плоскопараллельном движении проекции скоростей двух точек фигуры на прямую, соединяющую эти точки, равны между собой. Следовательно, проекции скоростей натяжного катка и ведущей звездочки на гусеницу должны быть равны.

Из рис. 1 видно, что

$$V_{зв} \cos \beta = V_{нк} \cos(90^\circ - \beta) = V_{нк} \sin \beta, \quad (1)$$

или

$$V_{нк} = V_{зв} \frac{\cos \beta}{\sin \beta} = V_{зв} \operatorname{ctg} \beta, \quad (2)$$

где $V_{зв}$ – горизонтальная скорость движения ведущей звездочки гусеницы;
 $V_{нк}$ – горизонтальная скорость движения натяжного катка гусеницы;
 β – угол наклона гусеничной машины.

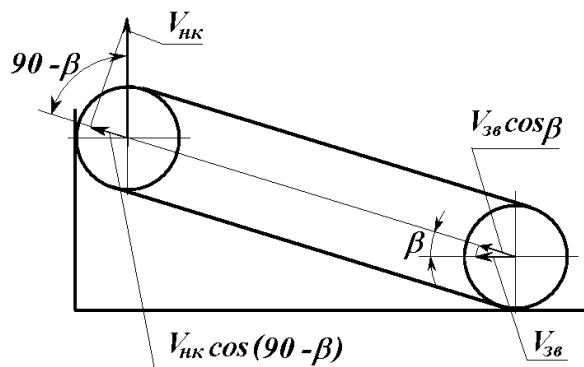


Рис. 1. Схема движения гусеничной машины на вертикальную стенку

Уравнение (2) показывает, что в начале подъема натяжного катка на вертикальную стенку скорость движения оси ведущей звездочки значительно превышает скорость оси натяжного колеса. Скорость же гусеницы одинакова как у ведущей звездочки, так и у натяжного колеса. Это означает, что, поскольку гусеница у натяжного колеса не может проскальзывать по вертикальной стенке и должна развивать тяговое усилие, гусеница относительно горизонтальной поверхности должна интенсивно пробуксовывать, полностью реализуя свои сцепные возможности. По мере увеличения угла наклона гусеничной машины при подъеме на вертикальную стенку интенсивность буксования гусеницы по горизонтальной поверхности будет уменьшаться. При угле наклона гусеничной машины, равном 45° , $\operatorname{ctg} \beta = 1$. Это означает, что гусеница движется по вертикальной и горизонтальной поверхностям либо без буксования, либо с пробуксовкой одинаковой интенсивности. Если угол

наклона гусеничной машины превысит 45° , то с пробуксовкой будет перемещаться гусеница по вертикальной поверхности. По горизонтальной же поверхности гусеница будет перемещаться без буксования. Последнее объясняется тем, что с увеличением угла наклона гусеничной машины увеличивается весовая нагрузка на ведущую звёздочку, а необходимая суммарная сила тяги по горизонтальной и вертикальной поверхностям уменьшается.

Определим предельную высоту порогового препятствия, которое может преодолеть гусеничная машина. Примем допущение, что гусеница не прогибается внутрь контура гусеницы. Схема преодоления порогового препятствия показана на рис. 2.

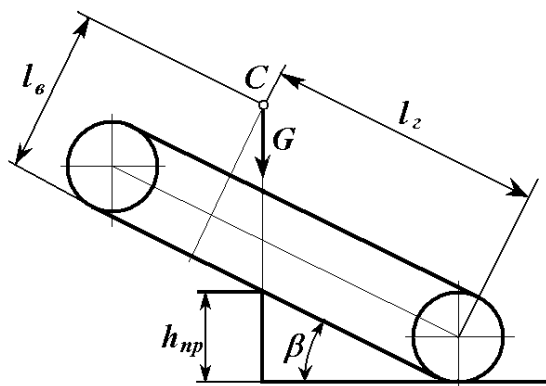


Рис. 2. Схема преодоления гусеничной машиной порогового препятствия: G – вес машины; l_6, l_2 – соответственно вертикальная и горизонтальная (относительно ветвей гусеницы) координаты центра тяжести гусеничной машины; C – центр тяжести гусеничной машины; h_{np} – высота порогового препятствия; β – угол наклона гусеничной ветви к горизонтальной поверхности

Из данных рис. 2 следует, что преодоление такого препятствия возможно тогда, когда линия действия силы тяжести машины пройдет через полку порога.

С целью упрощения решения поставленной задачи будем считать, что радиус ведущей звёздочки (рассматриваем гусеничную машину с задним расположением ведущей звёздочки) равен нулю. Тогда схему преодоления машиной порогового препятствия можно представить следующим образом (рис. 3).

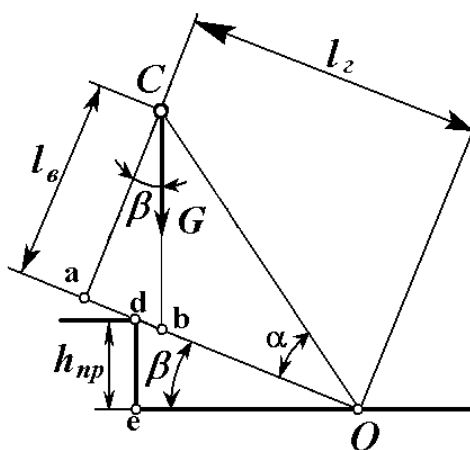


Рис. 3. Упрощённая схема преодоления гусеничной машиной порогового препятствия при условии, что радиус ведущей звёздочки равен нулю

Из данных, приведённых на рис. 1–3, становится очевидно, что гусеничная машина не преодолеет пороговое препятствие, если

$$ab + dO > aO = l_z. \quad (3)$$

Положение машины, при котором линия действия силы тяжести проходит через край порогового препятствия, определяется равенством

$$ab + dO = aO = l_z. \quad (4)$$

Машина преодолевает пороговое препятствие, если

$$ab + dO < aO = l_z. \quad (5)$$

Определим значения величин, входящих в вышеприведённые выражения. Треугольник aCb подобен треугольнику dOe , поскольку эти треугольники прямоугольные и имеют углы с взаимно перпендикулярными сторонами (углы β). Из этих треугольников получим:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{ab}{aC} = \frac{ab}{l_e}, \quad ab = l_e \operatorname{tg} \beta; \quad (6)$$

$$\sin \beta = \frac{de}{dO} = \frac{h_{np}}{dO}, \quad dO = \frac{h_{np}}{\sin \beta}. \quad (7)$$

Определим значение суммы этих отрезков, при которой линия действия силы веса гусеничной машины будет проходить через край порога.

$$ab + dO = l_e \operatorname{tg} \beta + \frac{h_{np}}{\sin \beta} = l_z. \quad (8)$$

Отсюда найдём

$$h_{np} = \sin \beta (l_z - l_e \operatorname{tg} \beta). \quad (9)$$

Разделив правую и левую части уравнения (9) на l_z , получим:

$$\bar{h}_{np} = \sin \beta (1 - \bar{l}_e \operatorname{tg} \beta). \quad (10)$$

В этом уравнении $\bar{h}_{np} = \frac{h_{np}}{l_z}$; $\bar{l}_e = \frac{l_e}{l_z}$. Графическое представление уравнения показано на рис. 4.

После наезда на пороговое препятствие угол β наклона машины при её дальнейшем движении будет увеличиваться. Соответственно будет увеличиваться и расстояние $\bar{h}_{np}$ от точки гусеницы, через которую проходит линия действия силы веса. Если это расстояние увеличиваться не будет, пороговое препятствие для гусеничной машины не будет преодолимым. Предельный угол наклона гусеничной машины ограничивается наступлением опрокидывания машины. Этот угол определяется прохождением линии действия силы веса машины через ось ведущей звёздочки. При этом

$$\beta_{пред} = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - \operatorname{arctg} \frac{l_e}{l_z}. \quad (11)$$

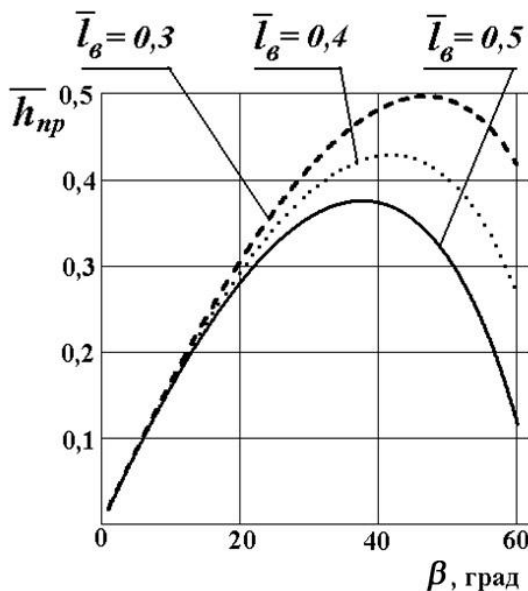


Рис. 4. Зависимость относительной высоты порогового препятствия от угла продольного наклона гусеничной машины по уравнению (10)

Для определения предельной допустимой высоты порогового препятствия (экстремума функции по уравнению (10)) продифференцируем уравнение (10) и полученную производную приравняем к нулю.

$$\frac{dh}{d\beta} = \cos \beta (1 - \bar{l}_g \operatorname{tg} \beta) - \bar{l}_g \sin \beta (1 + \operatorname{tg}^2 \beta). \quad (12)$$

$$\cos \beta (1 - \bar{l}_g \operatorname{tg} \beta) - \bar{l}_g \sin \beta (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) = 0. \quad (13)$$

Преобразуем уравнение (13).

$$\cos \beta - 2\bar{l}_g \sin \beta - \bar{l}_g \sin \beta \operatorname{tg}^2 \beta = 0. \quad (14)$$

$$\frac{1}{\operatorname{tg} \beta} - 2\bar{l}_g - \bar{l}_g \operatorname{tg}^2 \beta = 0. \quad (15)$$

$$\operatorname{tg}^3 \beta + 2\operatorname{tg} \beta - \frac{1}{\bar{l}_g} = 0. \quad (16)$$

Полученное кубическое уравнение имеет следующее решение.

$$\operatorname{tg} \beta = \sqrt[3]{\frac{1}{2\bar{l}_g} + \sqrt{\frac{8}{27} + \frac{1}{4\bar{l}_g^2}}} + \sqrt[3]{\frac{1}{2\bar{l}_g} - \sqrt{\frac{8}{27} + \frac{1}{4\bar{l}_g^2}}}. \quad (17)$$

Из уравнения (17) определяется и предельный угол наклона гусеничной машины при преодолении порогового препятствия.

$$\beta = \arctg \left(\sqrt[3]{\frac{1}{2\bar{l}_g} + \sqrt{\frac{8}{27} + \frac{1}{4\bar{l}_g^2}}} + \sqrt[3]{\frac{1}{2\bar{l}_g} - \sqrt{\frac{8}{27} + \frac{1}{4\bar{l}_g^2}}} \right). \quad (18)$$

Подставив значения $\operatorname{tg} \beta$ и предельного угла наклона гусеничной машины в уравнение (10), найдём предельную величину преодолеваемого порогового препятствия, меньшие значения кото-

рой гусеничная машина может преодолеть, а большие значения высоты порогового препятствия для неё непреодолимы.

$$\bar{h}_{np} = \sin \left(\arctg \left(\sqrt[3]{\frac{1}{2\bar{l}_e} + \sqrt{\frac{8}{27} + \frac{1}{4\bar{l}_e^2}}} + \sqrt[3]{\frac{1}{2\bar{l}_e} - \sqrt{\frac{8}{27} + \frac{1}{4\bar{l}_e^2}}} \right) \right) \times \\ \times \left(1 - \bar{l}_e \left(\sqrt[3]{\frac{1}{2\bar{l}_e} + \sqrt{\frac{8}{27} + \frac{1}{4\bar{l}_e^2}}} + \sqrt[3]{\frac{1}{2\bar{l}_e} - \sqrt{\frac{8}{27} + \frac{1}{4\bar{l}_e^2}}} \right) \right). \quad (19)$$

Уравнение (19) позволяет определить предельную высоту порогового препятствия, преодолеваемого одновременно двумя гусеницами, в зависимости от конструктивных параметров двухгусеничной машины. Кроме этого, взаимодействие гусениц с нескальным пороговым препятствием, которое имеют сминаемые кромки, позволяет гусеничной машине уменьшить угол наклона к горизонтальной поверхности и тем самым увеличить высоту преодолеваемого порога.

Следует отметить, что сочленённая гусеничная машина, включающая в себя две соединённые сцепным устройством гусеничные тележки, способна преодолевать пороговые препятствия, превышающие определённые выше значения [3, 4, 5]. Это объясняется наличием в сцепном устройстве механизмов, позволяющих изменять угол между продольными осями передней и задней тележек. Указанное обстоятельство обеспечивает возможность изменять угол между продольной осью передней тележки и горизонтальной поверхностью и приподнимать тем самым натяжное колесо передней тележки над горизонтальной поверхностью.

Заключение. Разработаны расчетные схемы преодоления гусеничным трактором порогового препятствия. Создана математическая модель взаимодействия гусеничной машины с пороговым препятствием, которая позволяет при известных конструктивных параметров машины определить предельно возможную высоту преодолеваемого порога. Исследование процесса преодоления порогового препятствия показало, что высота преодолеваемого порога зависит от положения центра тяжести гусеничного трактора.

Литература

1. Холопов В.Н., Лабзин В.А. Взаимодействие гусениц с препятствием при движении двухгусеничной машины // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 2. – С. 49–56.
2. Холопов В.Н., Невзоров В.Н., Лабзин В.А. Концепция машины для заготовки и транспортировки лесного недревесного растительного сырья // Хвойные бореальной зоны. – 2013. – № 1/2. – С. 149–154.
3. А.с. №1532415 СССР, МКИ⁴ В 62 D 53/02. Сцепное устройство сочленённого транспортного средства / В.А. Лабзин, В.Н. Холопов. – № 4407397/31-11; заявл. 11.04.88; опубл. 30.12.89, Бюл. № 48.
4. Полетайкин В.Ф., Холопов В.Н., Лабзин В.А. Некоторые параметры движения сочлененной машины через выступающие неровности // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 9. – С. 195–201.
5. Сергеев Л.В. Теория танка. – М.: Изд-во Академии бронетанковых войск, 1973. – 493 с.

