

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ С КОМБИНИРОВАННЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ**

*Исаченков В. С.*<sup>1</sup>, ст. преп, *Клоков Д. В.*<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
*Лешкевич А.Ю.*<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
*Леонов Е. А.*<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: *ivsby\_minsk@mail.ru*

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: *klokov\_dm@bntu.by*

## **MATHEMATICAL MODEL OF A WHEELED MACHINE FOR HANDLING LONG LOADS IN SPECIAL WORKING CONDITIONS**

*V. Isachenkov*<sup>1</sup>, Senior Lecturer,

*D. Klokov*<sup>2</sup>, PhD in Engineering, Assistant Professor,

*A. Leshkevich*<sup>2</sup>, PhD in Engineering, Assistant Professor,

*E. Leonov*<sup>1</sup>, PhD in Engineering, Assistant Professor,

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus,  
*ivsby\_minsk@mail.ru*

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,  
e-mail: *klokov\_dm@bntu.by*

*При перемещении длинномерных грузов в особых условиях работы повышение тягово-динамических качеств колесных машин может быть достигнуто совершенствованием конструкции технологического оборудования. Такими изменениями можно добиться перераспределения нагрузок на несущую систему машины в процессе движения, снизить динамическую нагруженность, увеличить долговечность узлов и агрегатов.*

*В статье представлена математическая модель движения колесной машины с комбинированным технологическим оборудованием, которая позволяет определить оптимальные параметры машины для конкретных природно-климатических условий работы. Это снизить энергетические затраты, время технологического цикла и увеличить производительность машины в процессе транспортировки длинномерных грузов.*

*Ключевые слова: математическая модель, движение, колесная машина, технологическое оборудование, динамическая нагруженность, энергозатраты.*

*When moving long loads in special working conditions, an increase in the traction and dynamic qualities of wheeled vehicles can be achieved by improving the design of technological equipment, the correct choice of which is due to the natural and climatic conditions of work. With such changes, it is possible to achieve a redistribution of loads on the supporting system of the machine in the process of movement, to reduce the dynamic load, to increase productivity and durability.*

*The article presents the results of theoretical studies of the movement of a wheeled vehicle with technological equipment in the form of a mounted pincer gripper, which made it possible to determine the parameters of the machine, minimize dynamic loading and energy costs during the transportation of long cargo.*

*Keywords: mathematical model, motion, wheeled vehicle, technological equipment, dynamic loading.*

## **Введение**

Процесс перемещения длинномерных грузов в особых условиях работы, в частности на почвогрунтах со слабой несущей способностью, включает в себя взаимосвязанные последовательные операции, таких как холостой ход колесной машины, формирование пачки длинномерного груза, рабочий ход и разгрузку пачки.

В Республике Беларусь для указанных условий работы в настоящее время предлагается использовать колесные машины (КМ) с шарнирно-сочлененной рамой АМКОДОР 2243, на заднем технологическом модуле которой установлен полноповоротный гидроманипулятор с грейферным захватом для сбора деревьев и хлыстов и укладки

их в гидрозажимной коник (НКН), а так же АМКОДОР 2243В с навесным канатно-чокерным технологическим оборудованием (НКЧ) (рисунок 1).



а) АМКОДОР 2243; б) АМКОДОР 2243 В

Рисунок 1 – Типаж машин АМКОДОР с технологическим оборудованием различных компоновочных решений.

Для преодоления участка дорожного полотна со слабой несущей способностью почвогрунта при буксовании для этих машин в технологическом оборудовании выявлены существенные недостатки, в частности, для канатно-чокерного оборудования во время рабочего хода используется прием сброса пачки с последующим ее подтаскиванием, что существенно снижает производительность.

В качестве решения данной задачи предлагается объединить на базе одной машины оба варианта, а также изменить конструкцию для канатно-чокерного технологического оборудования установкой дополнительной опорной системы с возможностью использования в качестве как навесного (НКЧ), так и прицепного варианта (ПКЧ).

Это позволит разделить перемещаемую пачку длинномерного материала в оптимальном соотношении, перераспределить нагрузку на несущую систему в процессе движения, тем самым снизить динамическую нагруженность и повысить производительность труда.

В начальный момент буксования технологическое оборудование переводится из навесного положения в прицепное, что позволяет КМ не теряя темпа работы преодолевать проблемный участок дорожного полотна. После преодоления указанного участка КМ, канатно-чокер-

ного технологического оборудование переводится в навесное положение, что значительно снижает энергетические потери во время преодоления участков дорожного полотна с удовлетворительной несущей способностью почвогрунта.

Таким образом, существует необходимость проведения комплексных исследований по обоснованию параметров КМ, оснащенной комбинированным технологическим оборудованием.

Основным методом теоретических исследований в настоящее время является разработка математических моделей движения специальных транспортных средств различного назначения на основе методов системного подхода и синтеза.

## **Основная часть**

Основные принципы построения расчетных схем и составления математических моделей движения КМ оснащенной комбинированным технологическим оборудованием, имеют допущения, аналогичные математическому аппарату, представленному в ранее выполненных работах. На рисунке 3 приведена расчетная схема динамической системы КМ, разработанная с учетом принятых допущений на основе анализа ее конструкции и кинематики движения звеньев [1–5].

Разработка расчетной схемы и соответствующих ей уравнений движения КМ является одним из основных этапов исследования ее динамики и обоснования параметров. Они отражают сложное взаимодействие подсистем КМ (двигатель, трансмиссия, ходовая часть), технологического оборудования и предмета труда (пачки длинномерного груза), а также учитывают реальные возмущающие воздействия внешнего и внутреннего характера (неровности микропрофиля дорожного полотна, крутящий момент двигателя и т. д.).

Такой подход предполагает нахождение независимых, изменяющихся во времени координат (степеней свободы), определяющих положение всех масс данной машины при рассмотрении переходных и установившихся режимов движения, что позволяет наряду с задачами общей динамики решать круг вопросов, связанных с нагруженностью узлов и агрегатов.

Для представленной КМ характерна раздельно-агрегатная компоновка. В расчетной схеме двигатель, трансмиссия, ведущие мосты

и т. д. представлены как подсистемы, соединенные между собой упругими элементами.

Представленная расчетная схема динамической системы имеет девятнадцать степеней свободы, описывающих колебания системы в продольной вертикальной плоскости (рисунок 2) [7–11].

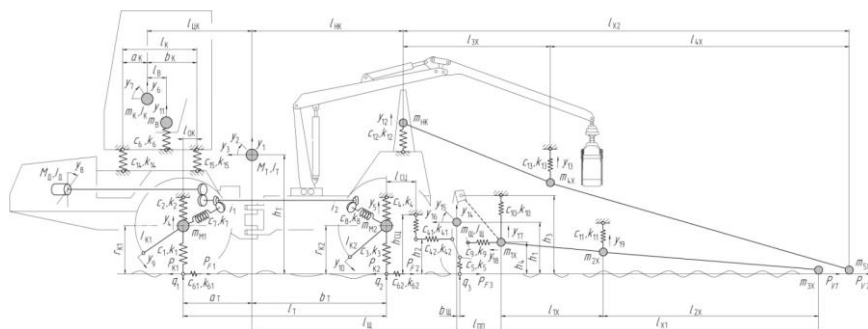


Рисунок 2 – Расчетная схема динамической системы КМ с НКН и ПКЧ

Положение колесной машины (КМ) с комбинированным технологическим оборудованием, состоящим из манипулятора с клещевым захватом, навесным гидрозажимным коником (НКН) и прицепным канатно-чокерным оборудованием (ПКЧ), определяется следующими обобщенными координатами: вертикальным, угловым и продольным перемещением центра тяжести КМ –  $y_1$ ,  $y_2$  и  $y_3$ ; вертикальным перемещением центра тяжести переднего и заднего мостов КМ –  $y_4$  и  $y_5$ ; вертикальным и угловым перемещением центра тяжести кабины –  $y_6$  и  $y_7$ ; углом поворота коленчатого вала двигателя –  $y_8$ ; углами поворота передних и задних колес КМ –  $y_9$  и  $y_{10}$ ; вертикальным перемещением центра тяжести водителя и сидения –  $y_{11}$ ; вертикальными перемещениями дискретных масс НКН и верхней пачки длинномерного груза –  $y_{12}$ ,  $y_{13}$ ; вертикальным, угловым и продольным перемещением центра тяжести ПКЧ –  $y_{14}$ ,  $y_{15}$  и  $y_{16}$ ; вертикальными и продольными перемещениями дискретных масс нижней пачки длинномерного груза –  $y_{17}$ ,  $y_{18}$  и  $y_{19}$ .

Основными возмущающими воздействиями внешнего и внутреннего характера, влияющим на динамику КМ, являются неровности дорожного полотна и крутящий момент двигателя.

Возмущающие воздействия внешнего характера принято представлять в виде дискретных массивов микропрофилей неровностей дорожного полотна, которые задаются с помощью значений ординат, снятых с наиболее характерных опытных реальных участков. Эти массивы выражаются как функция времени, с учетом запаздывания задних колес КМ по отношению к передним.

Для рассматриваемых динамических системы КМ принята модель двигателя, в которой  $M_d$  является функцией от частоты вращения колечатого вала, а выбор значений крутящего момента производился по регуляторной характеристике.

Посредством математического аппарата и на основе системы высокоуровневого программирования *MATLAB 7.11.0 (R2010b)* можно получить матрицы численных значений отклонений степеней свободы моделей, первые и вторые производные этих отклонений и соответствующие им моменты времени протекания процесса. Полученные в результате теоретических исследований данные позволяют определить все необходимые параметры оценки динамической нагруженности КМ оснащенной комбинированным технологическим оборудованием при перемещении длинномерного груза в особых условиях работы.

## **Заключение**

Разработанная математическая модель движения колесной машины с комбинированным технологическим оборудованием позволяет определить оптимальные параметры для конкретных природно-климатических условий работы, тем самым добиться перераспределения нагрузок на несущую систему машины в процессе движения, снизить динамическую нагруженность, увеличить долговечность узлов и агрегатов, уменьшить энергетические затраты и время технологического цикла, увеличить производительность машины для транспортировки длинномерных грузов.

## **Литература**

1. Протас, П. А., Клоков, Д. В. Аналитическое исследование процесса взаимодействия колесных трелевочных машин с пачкой хлыстов и волоком // Актуальные направления научных исследований

XXI века : теория и практика. 2014. – Т. 2. – № 5–4. – С. 256–260.  
DOI : 10.12737/7110.

2. Кононов, А. М. Исследование реализации тягово-сцепных качеств и агротехнической проходимости колесных тракторов на суглинистых почвах Беларуси: автореф. дис. д-ра техн. наук. – Горки: БСХА, 1974. – 41 с.

3. Соколова, В. А., Петров, И. П. Исследование взаимодействия арочного колеса с опорной поверхностью // Труды НАМИ. – 1962. Вып. 54. – С. 64 – 72.

4. Хайлис, Г. А. К теории качения пневматического колеса // Тракторы и сельхозмашины. – 1963. – № 3. – С. 5–7.

5. Исаченков, В. С., Симанович, В. А. Обоснование параметров канатно-чokerного технологического оборудования // Труды БГТУ. 2012. – № 2: Лесная и деревообrab. пром-сть. – С. 39–42.

6. Исаченков, В. С., Симанович В. А. Обоснование параметров прицепного технологического оборудования колесных трелевочных машин // Труды БГТУ. 2016. – № 2: Лесная и деревообrab. пром-сть. С. 23–27.

7. Лагранж, Ж. Аналитическая механика / Ж. Лагранж. – М. : Гос. изд-во техн.-теорет. лит-ры, 1950. – 440 с.

8. Леонов, Е. А. Специфика двухступенчатой трелевки древесины на предприятиях лесного комплекса / Е. А. Леонов, Д. В. Клоков, В. С. Исаченков [и др.] // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн : материалы 85-й научно-технической конференции с международным участием, Минск. – Минск : БГТУ, 2021. – С. 87–89.

9. Исаченков, В. С. Математическая модель колесной трелевочной машины / В. С. Исаченков, В. А. Симанович // Труды БГТУ. № 2. Лесная и деревообrabывающая промышленность. – 2011. – № 2. – С. 75–81.

10. Исаченков, В. С. К вопросу выбора типа прицепного технологического оборудования колесных трелевочных машин / В. С. Исаченков, В. А. Симанович // Труды БГТУ. – Серия 1 : Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2020. – № 2 (234). – С. 199–204.

11. Клоков, Д. В. Оценка соответствия типов компонентов ходовой части колесных скиддеров / Д. В. Клоков, А. А. Гарабажиу,

Е. А. Леонов // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сборник научных статей. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 174–181.

Статья поступила 06.12.2021

УДК 656.13

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МАРШРУТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ПРИМЕНЕНИЕМ СЕКТОРАЛЬНОГО МЕТОДА**

*Семченков С. С.*, ст. преп., *Капский Д. В.*, декан, д-р тех. наук, доц.,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: *d.kapsky@bntu.by*

## **IMPROVING THE EFFICIENCY OF ROUTE PASSENGER TRANSPORT USING THE SPECTRAL METHOD**

*S. Semtchenkov*, senior lecturer,  
*D. Kapski*, Dean, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus,  
e-mail: *d.kapsky@bntu.by*

*В составе затрат предприятий транспорта доля заработной платы водителей эксплуатационного парка составляет 30–50 %, формируется интерес к рассмотрению данной статьи затрат в части именно эффективности организации перевозочного процесса (снижение непроизводственных затрат, повышение средней эксплуатационной скорости и т. д.), так как условия оплаты труда водителей транспортных средств ни в коем случае не должны быть ухудшены. Для снижения уровня непроизводственных затрат на ос-*