

## **АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ ТРАНСМИССИИ ПОЛНОПРИВОДНОГО ТРАКТОРА ТЯГОВОГО КЛАССА 3 ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРЕОДОЛЕНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ С ПЛУГОМ**

**Сониц О. А.**<sup>1</sup>, инж.-мех., **Сидоров С. А.**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
**Дрозд И. А.**<sup>2</sup>, инж.-мех.,

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск,  
Республика Беларусь, e-mail: *osonich@bntu.by*, *ssidorov@bntu.by*,

<sup>2</sup>ОАО «Минский тракторный завод»,  
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: *drozdigor2@mail.ru*

## **ANALYSIS OF THE LOAD OF THE TRANSMISSION OF THE TRACTOR OF CLASS 3 WHEN MODELING OVERCOMING OBSTACLES WITH THE PLOW**

**O. Sonich**<sup>1</sup>, engineer-mechanic,  
**S. Sidaraw**<sup>1</sup>, Ph.D. in Engineering, Associate professor,  
**I. Drozd**<sup>2</sup>, engineer-mechanic,

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus,  
e-mail: *osonich@bntu.by*, *ssidorov@bntu.by*,

<sup>2</sup>OJSC "Minsk Tractor Works", Minsk, Belarus,  
e-mail: *drozdigor2@mail.ru*

*Предложена модель трансмиссии полноприводного трактора в программном пакете LMS Imagine.Lab AMESim, являющаяся основой для изучения взаимосвязей между динамикой колесной машины, сцеплением на мягкой почве и трансмиссией. Модель включает под-модели источника крутящего момента, коробки передач, переднего и заднего ведущих мостов, межколесного и межосевого дифференциалов, карданных шарниров и колес. Модель предназначена для исследования нагрузок, возникающих в деталях трансмиссии при дви-*

жении колесного трактора на подъем или спуск при различных дорожных условиях. Проведен анализ нагруженности элементов трансмиссии.

Ключевые слова: трактор, трансмиссия, дифференциал, нагруженность, моделирование.

*The transmission model of an all-wheel drive tractor is designed in the LMS Imagine.Lab AMESim software package, is to starting point for exploring the interactions between wheel vehicle dynamics, traction on soft soil and the transmission. The model is includes submodels of the source of torque, gearbox, front and rear driving axles, inter-wheel and interaxle differentials, cardan joints and wheels. The model is designed to investigate the loads in the transmission parts when the wheeled tractor moves on a rise or descent under various road condition. The analysis of the load of parts of transmission is carried out.*

Key words: tractor, transmission, differential, load, modeling.

## **Введение**

Колесная машина представляет собой сложную динамическую систему, состоящую из ряда масс, соединенных между собой с помощью упругих соединений. Все узлы и соединения в процессе работы подвергаются определенным воздействиям от двигателя и дорожных условий, в результате чего возникают дополнительные перемещения отдельных деталей и узлов кроме тех, которые предусматриваются при проектировании. Такие перемещения происходят периодически и оказывают вредное воздействие на прочность и долговечность деталей и узлов силовой передачи, а тем самым на прочность и долговечность всей динамической системы. Полное исследование всех колебательных процессов, происходящих в колесной машине, трудно осуществить на практике. В связи с этим используются различные методы анализа системы транспортного средства [1].

Имитационное моделирование позволяет проработать на моделях большое количество дорожных ситуаций и вариантов конструкции и испытать их в стендовых условиях. Для имитационного моделирования в основном используется пакет Matlab/Simulink, обладающий большими возможностями решения нестандартных ситуаций и задания внешнего возмущения [2].

## Анализ нагруженности трансмиссии трактора

Работниками научно-исследовательской и испытательной лаборатории транспортных средств и кафедры «Автомобили» Белорусского национального технического университета разработана имитационная модель трансмиссии полноприводного колесного трактора (рисунок 1) [3].

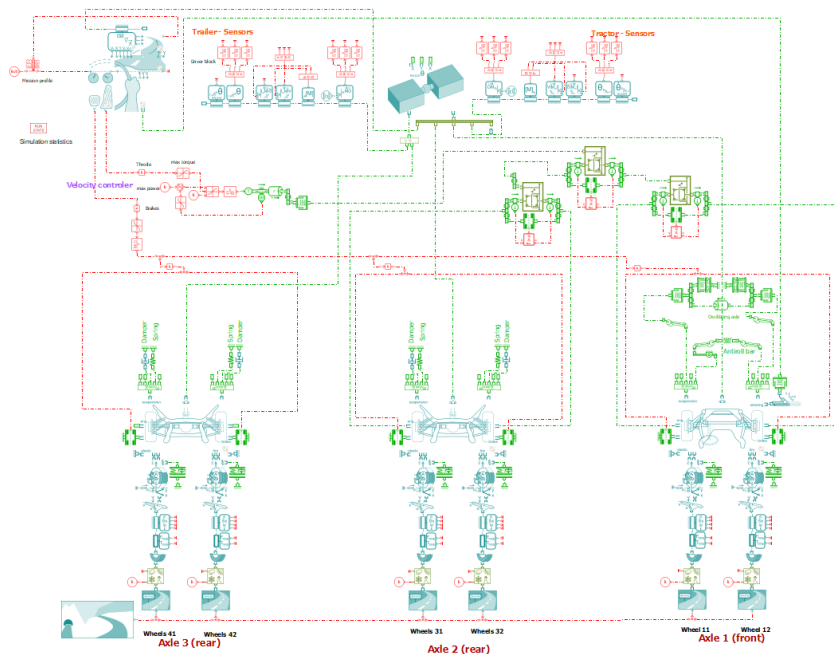


Рисунок 1 – Модель трансмиссии трактора

Модель отражает взаимодействия между двигателем, трансмиссией, шасси и шинами, которые возможно зафиксировать с помощью программного пакета LMS Imagine.Lab AMESim. Преимуществами данного пакета является достаточно обширная библиотека встроенных компонентов, представляющих модели узлов и агрегатов машин, что позволяет быстро создавать и рассчитывать поведение сложных мехатронных систем, возможность создания интуитивно понятного эскиза модели с помощью интерактивного графического

интерфейса, а также возможность взаимодействия с другими программами, например, MATLAB Simulink [4]. В качестве примера показан трактор с плугом по поверхности с неровностями высотой от +5 см до –5 см и длиной волны, примерно вдвое превышающей колесную базу. Такая модель является основой для изучения взаимосвязей между динамикой трактора, сцеплением на мягкой почве и трансмиссией.

Как известно, повышение силы тяги в наиболее распространенных случаях добиваются блокировкой межосевых и межколесных дифференциальных механизмов. Однако, как показали исследования, это приводит к ухудшению динамических и тормозных свойств машины [5].

В ходе разработки математической модели определены основные показатели, изменяя которые можно добиться результатов в зависимости от поставленной задачи, будь то исследование нагруженности трактора на ровной поверхности или при работе в поле, как в составе агрегируемой машины, так и отдельно.

В результате проведенного расчета машинотракторного агрегата – трактора и плуга, получены следующие результаты, графики которых представлены на рисунках 2–12.

Графики вертикальных нагрузок на шины во время движения в полевых условиях и перепадах высот в 6 градусов (рисунок 2), во время прохождения симуляции из которого отчетливо видно, что наибольшую нагрузку принимают задние колеса трактора.

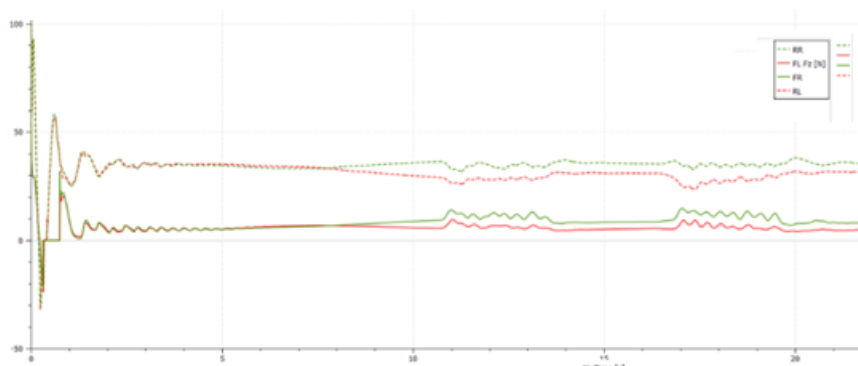


Рисунок 2 – Вертикальные нагрузки на шины

Исходя из полученных результатов, нагрузки на передние шины составляют в среднем 10 кН и колеблются в пределах от 5 до 15 кН·м, в то время как нагрузка на задние шины составляет в среднем 30 кН·м и колеблется от 20 до 35 кН·м.

Графики траектории колес показывают на сколько отклоняется каждое из колес от заданной траектории во время прохождения симуляции при работе в полевых условиях и реакции на неровности (рисунок 3).

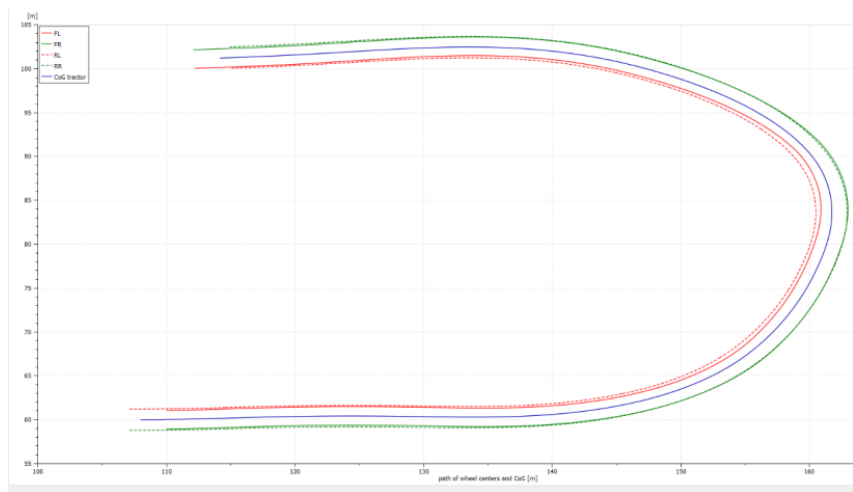


Рисунок 3 – Траектория колес

Скоростные показатели (рисунок 4) отражают изменение скорости вращения колес и скорость вращения двигателя во время прохождения симуляции.

Одним из источников динамических моментов в трансмиссии является двигатель (рисунок 5). Значение крутящего момента двигателя определялось с учетом условий движения: траектория, скорость, опорная поверхность [6].

Исходя из полученного графика можно выделить, что для поддержания средней скорости работы в поле 2,5 м/с двигатель развивает 1,2 кН·м крутящего момента и изменяется в пределах от 1 до 4 кН·м.

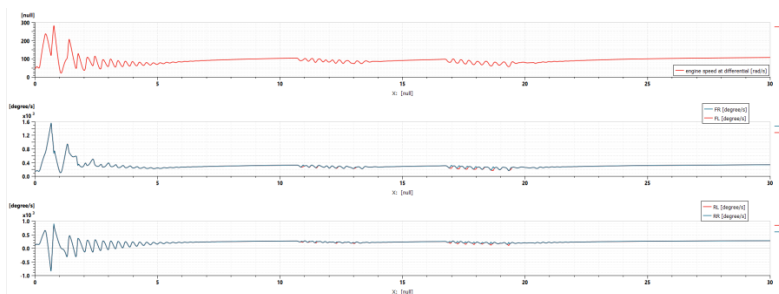


Рисунок 4 – Скоростные показатели

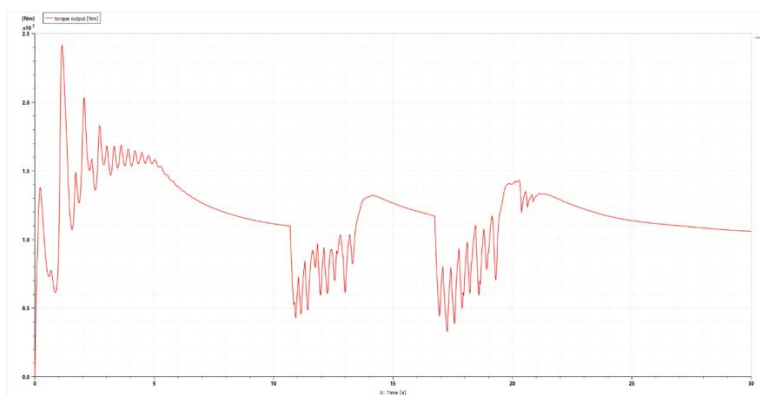


Рисунок 5 – Крутящий момент двигателя

На рисунке 6 представлены нагрузки непосредственно на зубчатых колесах главной передачи.

В среднем на главной передаче нагрузки достигают 21 кН·м и колеблются в пределах от 10, до 40 кН·м.

На рисунке 7 представлены нагрузки, приходящие на дифференциал переднего моста.

На рисунке 8 представлены нагрузки, приходящие на дифференциал заднего моста.

По полученным результатам можно выделить, что на дифференциал переднего моста в среднем приходится 6 кН·м крутящего момента, в то время как на задний – 17 кН·м, при колебаниях от 2 до 10 кН·м и от 10 до 30 кН·м соответственно.

На рисунке 9 представлены нагрузки, возникающие в левом и правом бортовом редукторе переднего моста во время прохождения симуляции.

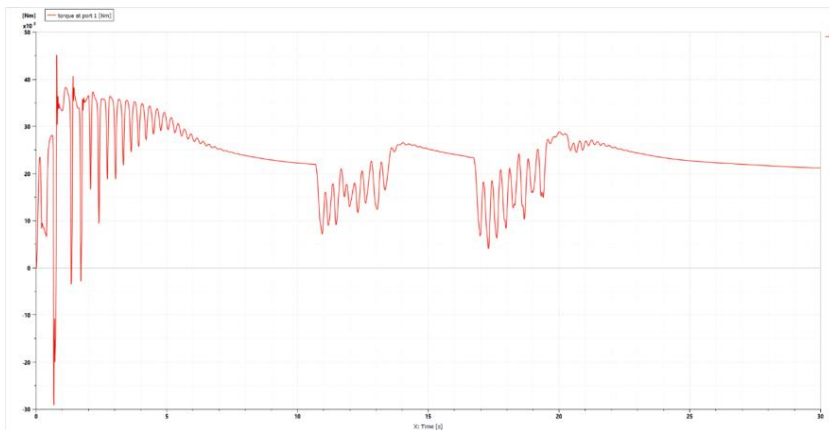


Рисунок 6 – Нагрузки на главной передаче

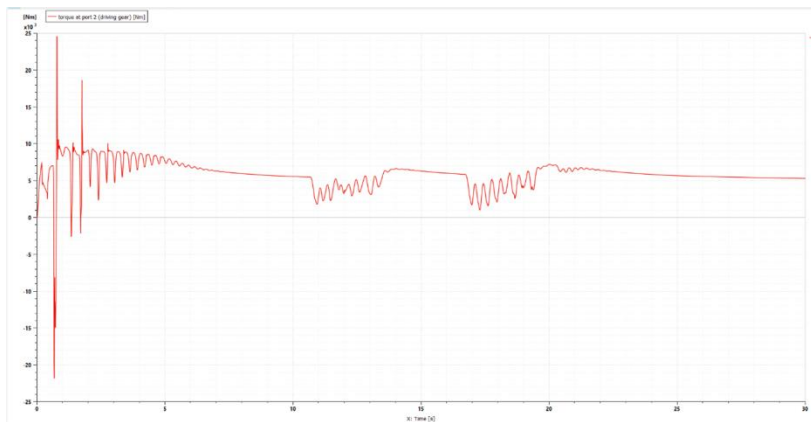


Рисунок 7 – Нагрузки на дифференциале переднего моста

По полученным графикам можно наблюдать, что нагрузки в бортовых редукторах переднего моста в среднем составляют 3 кН·м, однако по мере совершения поворота, можно отчетливо заметить, что большую нагрузку получают левые колеса, т. к. в работу включается дифференциал, распределяющий крутящий момент в связи с чем

крутящий момент на левом колесе колеблется от 1 до 5 кН·м, в то время как на правом периодически опускается до 0.

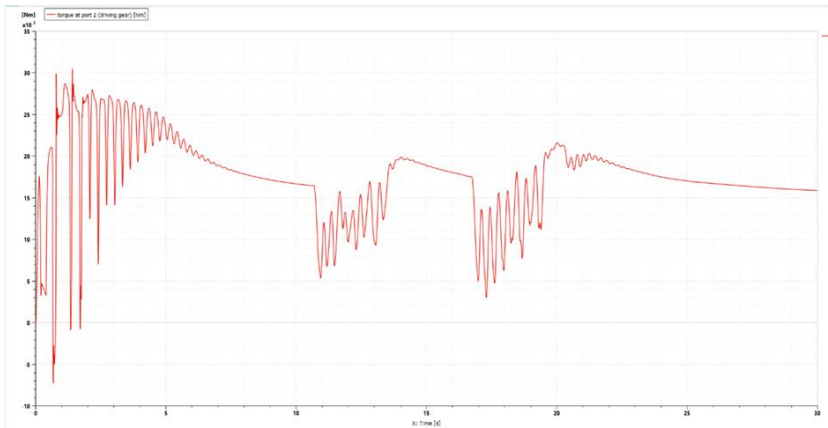


Рисунок 8 – Нагрузки на дифференциале заднего моста

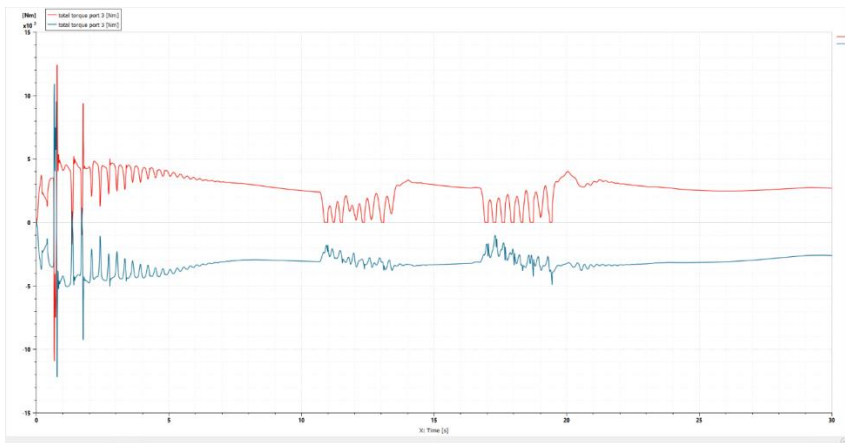


Рисунок 9 – Нагрузки в бортовых редукторах переднего моста

На рисунке 10 представлены нагрузки, возникающие в левом и правом бортовом редукторе заднего моста во время прохождения симуляции.



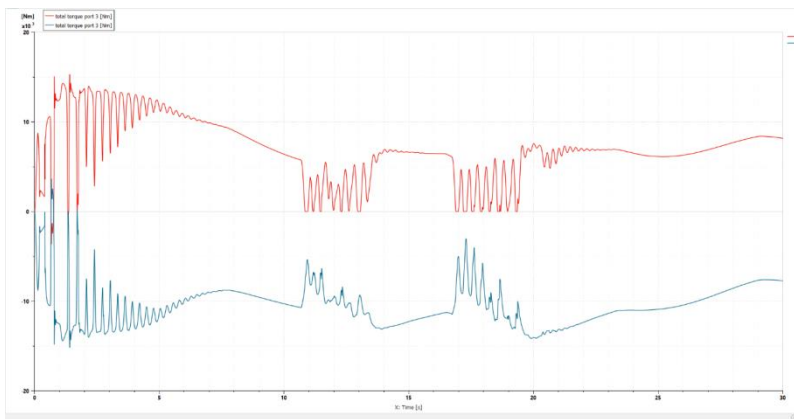


Рисунок 10 – Нагрузки в бортовых редукторах заднего моста

Примерно такая же картина наблюдается и на бортовых редукторах заднего моста, только в данном случае средняя нагрузка на левом редукторе составляет 10 кН·м, в то время как на правом – 7 кН·м, и колеблется в пределах от 5 до 14 кН·м и от 0 до 7 кН·м соответственно.

На рисунке 11 представлены нагрузки, приходящие на левое и правое колеса переднего моста.

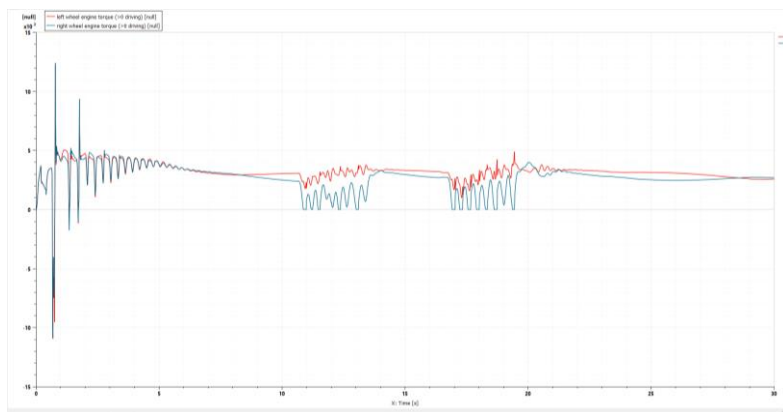


Рисунок 11 – Нагрузки колес переднего моста

На рисунке 12 представлены нагрузки, приходящие на левое и правое колеса заднего моста.

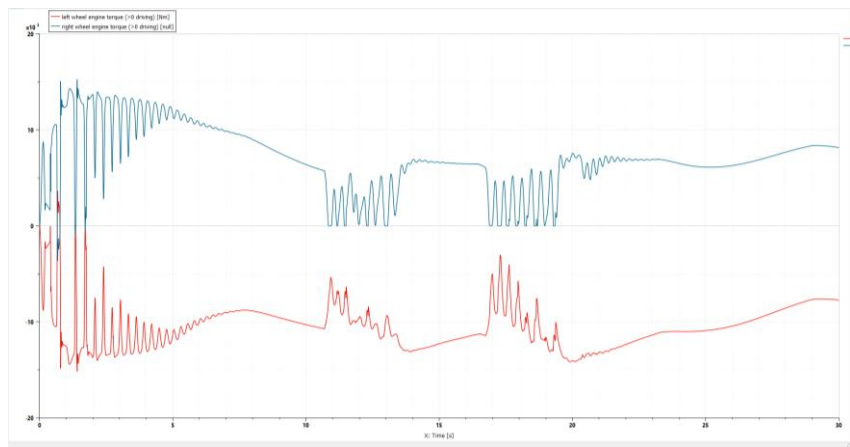


Рисунок 12 – Нагрузки колес заднего моста

В результате исследования нагруженности колес переднего и заднего моста мы, как и ожидалось, видим подобную ситуацию, что и с бортовыми редукторами, за тем исключением, что бортовой редуктор понижает крутящий момент, который на переднем мосту в среднем колеблется в пределах от 2 до 5 кН·м и от 0 до 4 кН·м на левом и правом колесах соответственно. В то время как на колесах заднего моста нагрузки на левом колесе в среднем достигают 10 кН·м, а на правом 7 кН·м и колеблются в пределах от 3 до 14 кН·м и от 0 до 7 кН·м соответственно.

## Выводы

Проведенное моделирование движения трактора при преодолении препятствия показало значительное превышение нагруженности элементов заднего моста в сравнении с передним. Для предохранения элементов заднего ведущего моста от преждевременного выхода из строя предлагается установка специальных устройств, снижающих пиковые нагрузки в трансмиссии. Одним из возможных вариантов является установка предохранительных фрикционных муфт.

Рекомендуется дальнейшее проведения исследований нагруженности трансмиссии тракторов различных тяговых классов.

## Литература

1. Микулик, Н. А. Основы теории динамических систем транспортных средств: монография / Н. А. Микулик. – Мн. : БНТУ, 2007. – 218 с.

2. Михайлов, В. Г. Компьютерное и имитационное моделирование автомобиля : монография по специальности 05.05.03 / В. Г. Михайлов. – Минск : 2020. – 315 с.

3. Дрозд, И. А. Имитационная модель трансмиссии полноприводного трактора тягового класса 3 с прицепом при преодолении препятствий // И. А. Дрозд, О. А. Сонич, С. А. Сидоров. – Автомобили и тракторостроение. Материалы Международной научно-практической конференции. В 2 томах. Том 1. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 202–206.

4. Гимадиев, А. Г. LMS Imagine.Lab AMESim как эффективное средство моделирования динамических процессов в мехатронных системах [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А. Г. Гимадиев, П. И. Грешняков, А. Ф. Синяков; – Электрон. текстовые и граф. дан. (4,8 Мбайт). – Самара : Изд-во СамНЦ РАН, 2014.

5. Сазонов, И. С. Динамика колесных машин / И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев : Беларус.-Рос. Ун-т, 2006. – 462 с.

6. Сидоров, С. А. Анализ нагруженности дифференциалов трансмиссии полноприводного трактора тягового класса 3 при моделировании преодоления препятствий с плугом // С. А. Сидоров, О. А. Сонич, И. А. Дрозд. Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: материалы международной научно-технической конференции / под общ. ред. Ш. М. Мерданова. – Тюмень : ТИУ, 2021. – С. 232–237.

7. Скойбеда, А. Т. Автоматизация ходовых систем колесных машин / А. Т. Скойбеда. – Мн. : Наука и техника, 1979. – 280 с.

8. Альгин, В. Б. Динамика трансмиссии автомобиля и трактора / В. Б. Альгин, В. Я. Павловский, С. Н. Поддубко; под ред. чл.-кор. АН БССР И. С. Цитовича. – Минск : Наука и техника, 1986. – 216 с.

Статья поступила 12.10.2021