

DOI: 10.12737/8471

УДК 630*377.44

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ ДВИЖИТЕЛЯ ГУСЕНИЧНОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Работа выполнена при поддержке РФФИ №14-38-50749\14

кандидат технических наук, доцент **В. Е. Клубничкин**¹

кандидат технических наук, доцент **Е. Е. Клубничкин**¹

кандидат технических наук, доцент **Л. Д. Бухтояров**²

1 – ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»,

г. Москва, Российская Федерация

2 – ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»,

г. Воронеж, Российская Федерация

Проведено исследование многозвенного механизма на примере движителя гусеничной лесозаготовительной машины ЛЗ-5. Движитель гусеничной лесозаготовительной машины (ГЛЗМ) является многозвенным механизмом, так как состоит из гусеничных лент, включающих в себя большое количество траков, шарнирно соединенных друг с другом. Для проведения исследований нами была выбрана программа UM Tracked Vehicles, так как она наиболее приемлема для решения данной задачи. Основные нагрузки на трансмиссию ГЛЗМ оказывает двигатель внутреннего сгорания и движитель со стороны ведущих звездочек, которые в свою очередь взаимодействуют с траками и ходовой системой, на которые оказывает влияние микропрофиль пути и характеристики грунта. Первым шагом является задание структуры ходовой системы испытуемой ГЛЗМ с использованием заранее созданных твердотельных моделей элементов ходовой системы. Далее мы добавляем созданную твердотельную модель лесозаготовительной машины ЛЗ-5 в SolidWorks со всеми геометрическими и физическими параметрами и основными элементами. Следующий шаг, задание модели грунта, который будет использоваться при проведении экспериментальных исследований ГЛЗМ. Модель грунта выбирается из базы данных моделей грунтов. Затем рассматриваем модели силовых взаимодействий. Взаимодействие катка с гусеничной лентой. Данная модель обобщается на взаимодействие катка с ломаной, моделирующей внутреннюю поверхность гусеницы. Следующий шаг это построение модели взаимодействия ведущих звездочек ГЛЗМ с траками гусеничных лент. Далее рассматривалось внешнее воздействие на динамику движения ГЛЗМ. Учитывался микропрофиль пути кривизна пути. После создания модели и задания всех необходимых внешних условий проводились виртуальные экспериментальные исследования (испытания). На этапе разработки конструкторской документации, проведение таких виртуальных испытаний с экономической точки зрения выгоднее, чем натуральное испытания прототипа.

Ключевые слова: гусеничный движитель, многозвенный механизм, гусеничная машина, динамика движения, моделирование, ходовая система, программа.

INVESTIGATION OF THE KINEMATICS AND DYNAMICS OF PROPULSOR OF
TRACK HARVESTER

The work has been made with the support of Russian Foundation for Basic Research
No. 14-38-50749\14

Ph.D. in Engineering, Associate Professor **V. E. Klubnichkin**¹

Ph.D. in Engineering, Associate Professor **E. E. Klubnichkin**¹

Ph.D. in Engineering, Associate Professor **L. D. Bukhtoyarov**²

1 – FSBEI HPO Moscow State Forest University, Moscow, Russian Federation

2 – FSBEI HPO «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies»,
Voronezh, Russian Federation

Abstract

The research of multilink mechanism on the example of propulsor track harvester ЛЗ-5 was made. Propulsor of track harvester (CH) is a multilink mechanism, as it consists of track tracks, including a large number of tracks hingedly connected to each other. For research, we selected the program UM Tracked Vehicles, as it is most appropriate for the task. Internal combustion engine and propulsor from the drive sprockets has the main loads on the transmission of CH, which in their turn interact with the truck and the suspension system, which influences on microprofile of the route and characteristics of the soil. The first step is to define the structure of the propel system of testing CH using pre-existing elements of solid models of propel system. Next we add a solid model created by the forest machine ЛЗ-5 in SolidWorks with all the geometrical and physical parameters and basic elements. The next step is the task of model of soil that will be used for experimental studies of CH. Model of soil is selected from the database of models of soil. Then we consider models of force interactions. Interaction of roller with track tape. This model can be generalized to the interaction of roller with sloping simulating the inner surface of the track. The next step is to build a model of interaction with the leading sprockets of CH with caterpillar tracks. Next, we consider the external effects on the dynamics of movement of CH. Curvature of the path; route microprofile was taken into account. After creating the model and all the required environmental conditions virtual experimental studies (tests) were conducted. At the stage of development of the design documentation, such virtual testing in economic terms is more favorable than the natural prototype testing.

Keywords: track mover, multilink mechanism, tracked vehicle, driving dynamics, modeling, propel system, software.

Движитель гусеничной лесозаготовительной машины (ГЛЗМ) является многозвенным механизмом, так как состоит из гусеничных лент, включающих в себя большое количество траков шарнирно

соединенных друг с другом [2, 3]. Для проведения исследования кинематики и динамики движителя ГЛЗМ с последующей оценкой нагруженности элементов трансмиссии было рассмотрено несколько при-

кладных пакетов компьютерных программ способных реализовать подобного рода исследования, среди которых MSC ADAMS View, ADAMS Tracked Vehicle (ATV) Toolkit и UM Tracked Vehicles (Универсальный механизм) и т.д. [1, 4, 7, 8, 9]. По итогу обзора компьютерных программ нами была выбрана программа UM Tracked Vehicles, так как она наиболее приемлема для решения данной задачи. Рассмотрим использование данного пакета программ для исследования кинематики, динамики движителя и оценки нагруженности элементов трансмиссии ГЛЗМ при криволинейном движении и преодолении единичных препятствий. Основные нагрузки на трансмиссию ГЛЗМ оказывает двигатель внут-

реннего сгорания и движитель со стороны ведущих звездочек [5], которые в свою очередь взаимодействуют с траками и ходовой системой, на которые оказывает влияние микропрофиль пути и характеристики грунта [6, 10, 11, 12]. Поэтому первым шагом является задание структуры ходовой системы испытуемой ГЛЗМ с использованием заранее созданных твердотельных моделей элементов ходовой системы.

Пошаговое создание элементов ходовой системы с движителем представлено на рис. 1 – 6. На рис. 7 представлено наименование основных элементов ходовой системы.

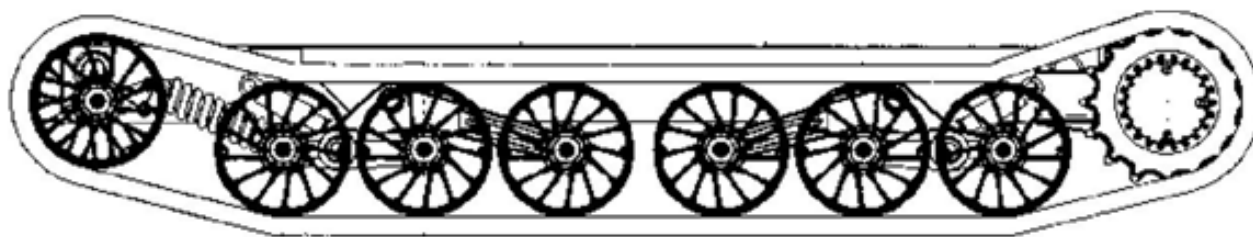


Рис. 1. Шаг. 1 Задание структуры

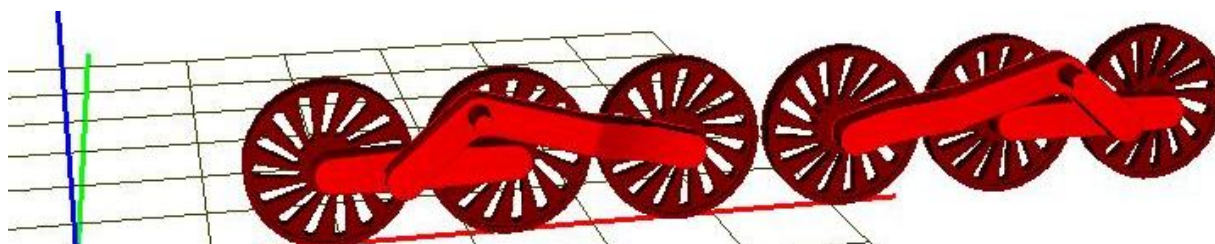


Рис. 2. Шаг. 2 Создание подвески (ходовой системы)

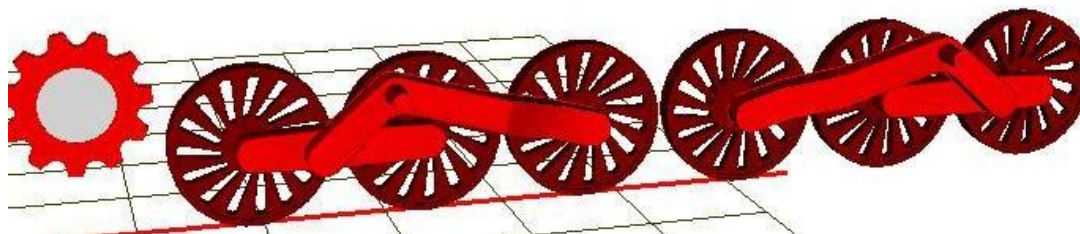


Рис. 3. Шаг. 3 Добавление ведущего колеса (звездочки)

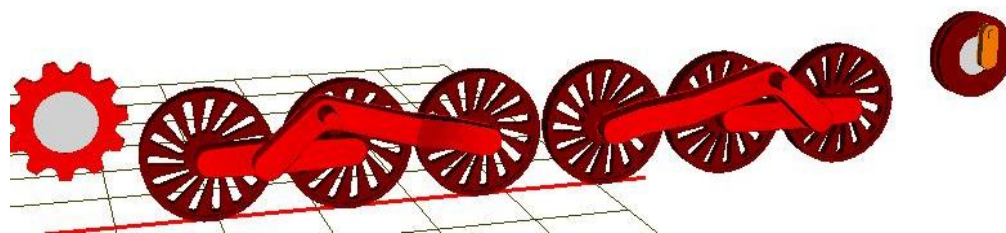


Рис. 4. Шаг. 4 Добавление направляющего колеса

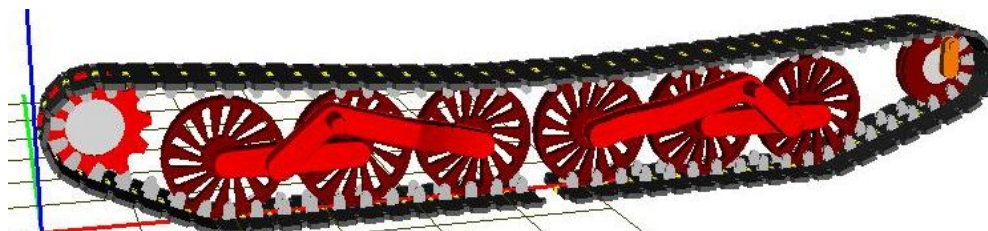


Рис. 5. Шаг. 5 Создание модели гусеничной ленты

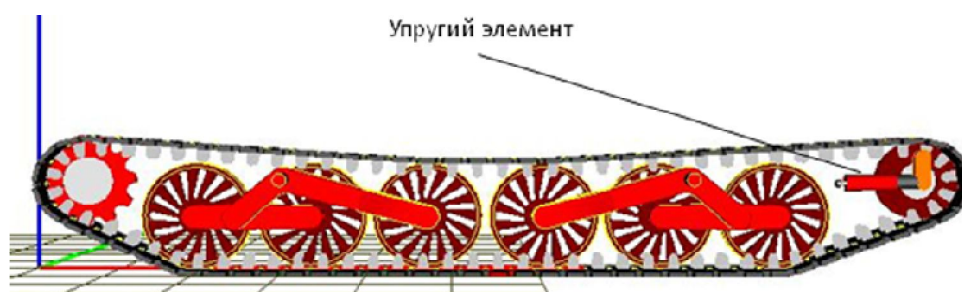


Рис. 6. Шаг. 6 Добавление упругих элементов

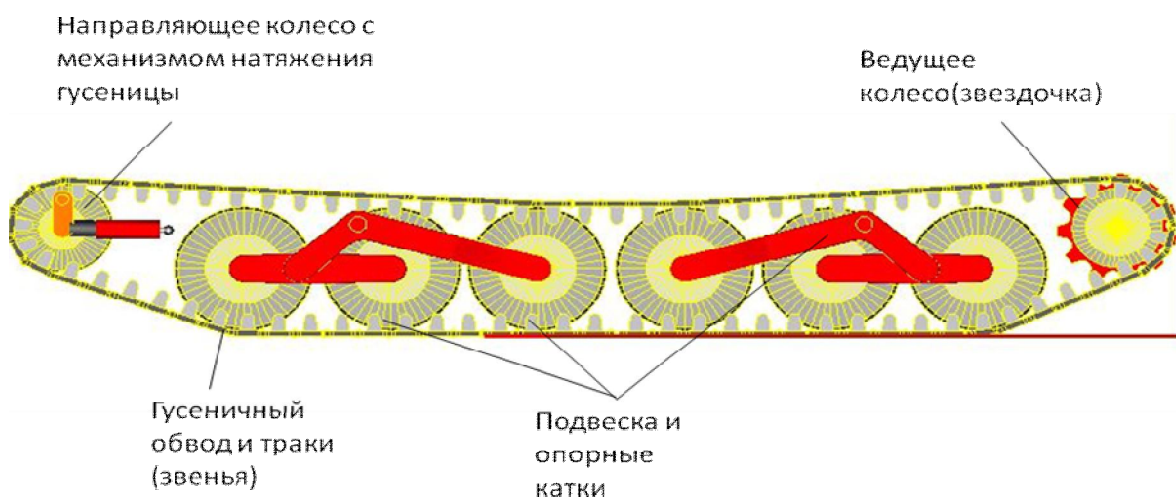


Рис. 7. Наименование основных элементов. Основная система координат ГЛЗМ

Далее мы добавляем заранее созданную твердотельную модель лесозаготовительной машины ЛЗ-5 из SolidWorks со всеми

геометрическими и физическими параметрами и основными элементами.

Следующий шаг, задание модели

грунта, который будет использоваться при проведении экспериментальных исследований ГЛЗМ. Модель грунта выбирается из базы данных моделей грунтов. Используются две основные модели грунта: жесткое основание (линейный упруго-диссипативный контакт и трение) и грунты с просадкой.

Затем рассматриваем модели силовых взаимодействий. Взаимодействие катка с гусеничной лентой.

В основе модели взаимодействия лежит предположение о пропорциональности силы площади жесткого внедрения S .

В результате получим следующую зависимость силы от внедрения:

$$F = P(\delta/\delta_0)^{3/2}, \quad (1)$$

$$c(\delta) = \frac{dF}{d\delta} = c(\delta/\delta_0)^{1/2}. \quad (2)$$

где δ_0 – прогиб под нагрузкой P ;

$c(\delta)$ – зависимость жесткости от прогиба.

На рис. 8-10 представлено взаимодействие катка с гусеничной лентой.

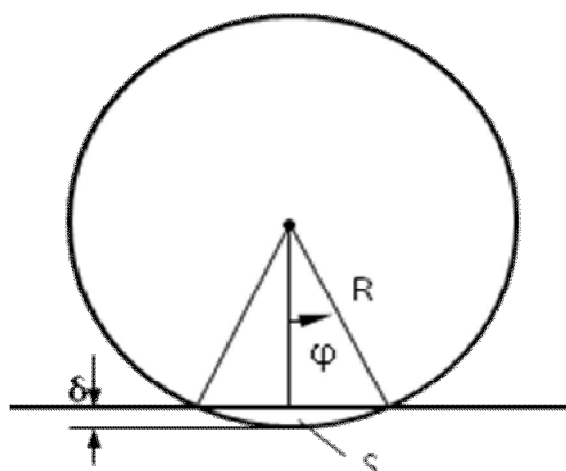


Рис. 8. Взаимодействие катка с гусеничной лентой

Данная модель обобщается на взаимодействие катка с ломаной, моделирующей внутреннюю поверхность гусеницы.

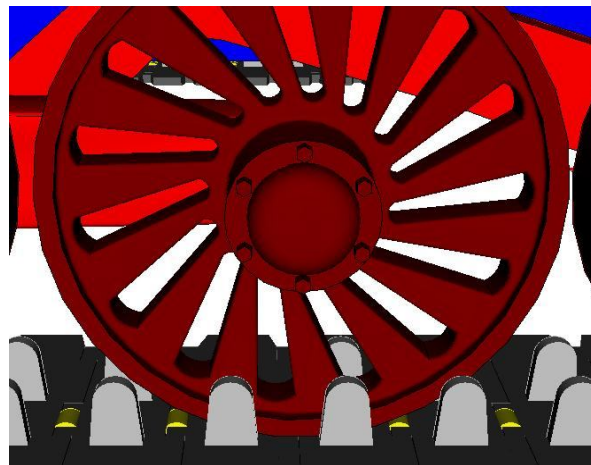


Рис. 9. Локальная обобщенная модель взаимодействия катка с гусеничной лентой

Нормальная сила складывается из сил взаимодействия катка с каждым отрезком ломаной (траком).

$$F_y = -c_y \Delta y - d_y \Delta \dot{y}, \quad (3)$$

$$M_x = -c_{ax} \alpha_x - d_{ax} \omega_x. \quad (4)$$

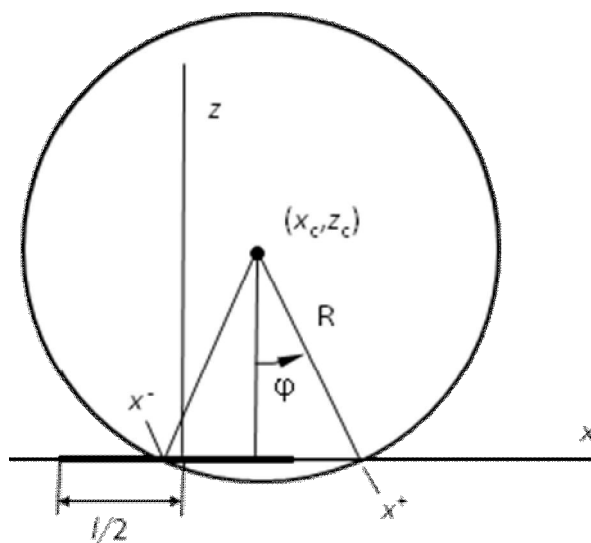


Рис. 10. Взаимодействие катка с каждым отрезком ломаной (траком)

Сила и момент препятствуют поперечному смещению трака и его повороту вокруг вертикальной оси (гребень трака) (рис. 11).

Следующий шаг это построение модели взаимодействия ведущих звездочек ГЛЗМ с траками гусеничных лент. Анализируется способ зацепления ведущего колеса (рис. 12). Определяется тип зацепления, цевочное, гребневое, зубовое. Производится расчет модели податливого контакта с трением. Учитывающим точную

геометрию профилей зуба, ведущего колеса.

Далее рассматривалось внешнее воздействие на динамику движения ГЛЗМ. Учитывался микропрофиль пути. Нормальный закон распределения представлен в формуле (5)

$$\varphi_s(y) = \frac{1}{y_y \sqrt{2p}} \exp\left(-\frac{y^2}{2y_y^2}\right) \quad (5)$$

где σ_y – среднее квадратическое отклонение микропрофиля.

Кривизна пути. Плотность распре-

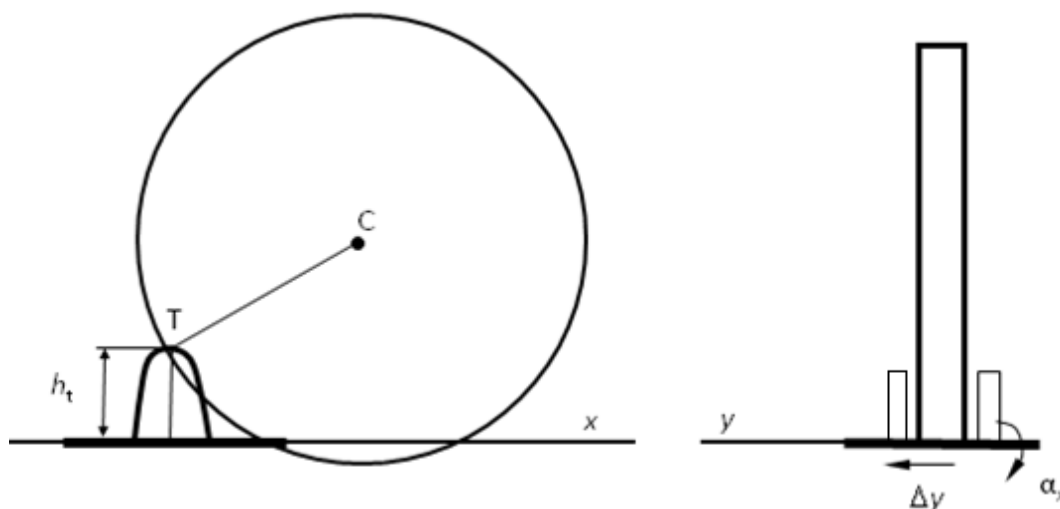


Рис. 11. Сила и момент препятствуют поперечному смещению трака

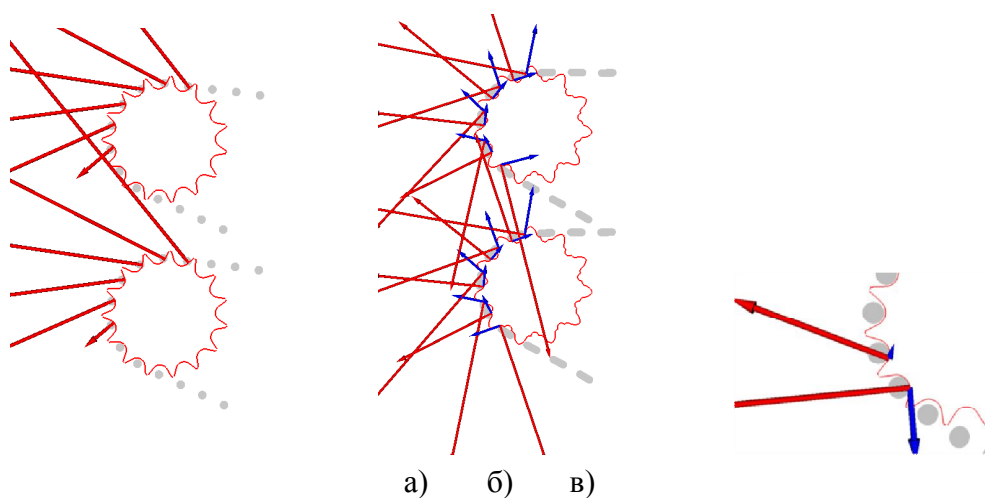


Рис. 12. Модель податливого контакта с трением, учитывающая точную геометрию профилей зуба звездочки и цевки. а, б, в различные типы зацепления.

деления вероятностей кривизны пути с достаточной для практических исследований точностью описывается нормальным законом:

$$\phi_s(\kappa) = \frac{1}{\sigma_k \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\kappa^2}{2\sigma_k^2}\right). \quad (6)$$

где κ – кривизна пути, по которому движется ГЛЗМ.

По аналогии с характеристикой микропрофиля, можно принять, что плотность распределения вероятностей угла наклона с учетом его максимально возможной величины, который способна преодолеть ГЛЗМ, описывается законом:

$$\phi_s(\alpha_o) = \exp\left(-\frac{\alpha_o^2}{2\sigma^2}\right) / \sqrt{2\pi\sigma^2}. \quad (7)$$

Коэффициент сопротивления прямолинейному движению $f_{ГР}$ является определенно положительной случайной величиной. Для оценки его плотности вероятностей можно использовать распределение Релея:

$$\phi_s(f_{ГР}) = f_{ГР} \frac{1}{\sigma_{ГР}^2} \cdot \exp\left(-\frac{f_{ГР}^2}{2\sigma_{ГР}^2}\right). \quad (8)$$

где σ_f – параметр распределения.

После создания модели и задания всех необходимых внешних условий проводились виртуальные экспериментальные исследования (испытания).

Согласно математической модели [5] в прикладном пакете компьютерных программ: UM Tracked Vehicles для отработки и проверки адекватности работы трехмерной твердотельной модели проводились следующие испытания. Вспомогательные испытания, включающие в себя: равновесие, натяжение гусениц и расчет начальных скоростей. Основные испытания: движение по прямой с преодолением единичных препятствий высотой 100, 200, 300 и 400 мм расположенных через каждые 6 метров, криволинейное движение, криволинейное движение со сменой знака кривизны и испытательная лесосека (рис. 13, 14). При проведении натуральных и виртуальных экспериментальных исследований использовались данные полученные при замере микропрофиля пути [12].

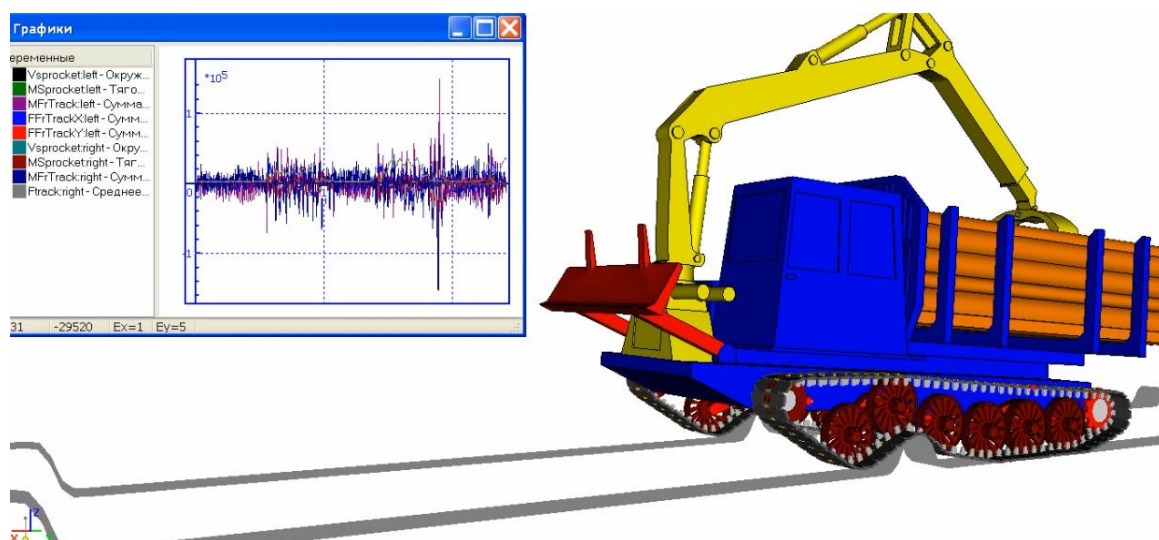


Рис. 13. Виртуальный эксперимент преодоление единичных препятствий высотой 100, 200, 300, 400 мм ГЛЗМ с пачкой сортиментов $Q_{п}=12\text{м}^3$

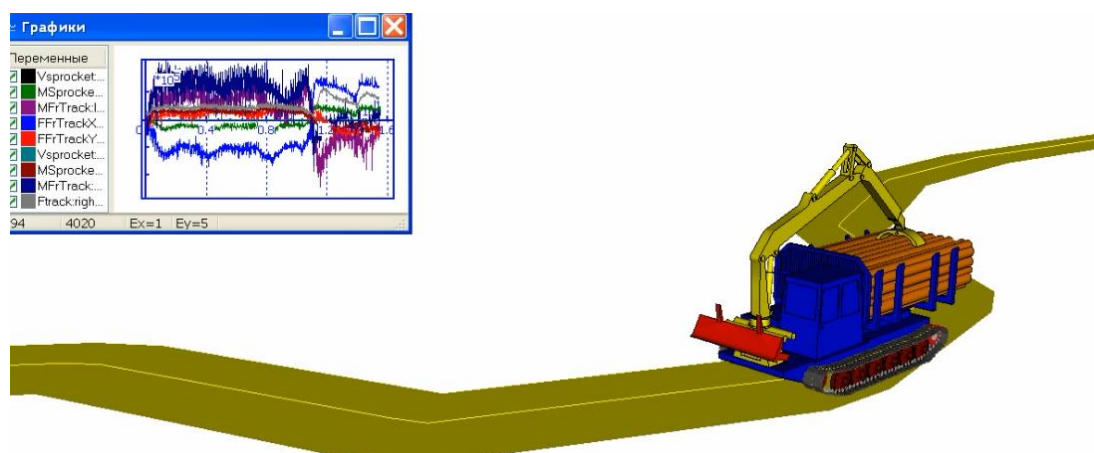


Рис. 14. Виртуальный эксперимент движения ГЛЗМ по криволинейной траектории с пачкой сортиментов $Q_{п}=12\text{м}^3$

По результатам проведенных исследований для установления закона формирования переменных нагрузок, действующих на элементы ГЛЗМ при её движении, использовались методы теории случайных функций. При нахождении названных выше статистических характеристик случайных функций, рассматривались в ряде сечений для равноотстоящих моментов времени с регистрацией значений переменных функций в эти моменты

времени. Все эти функции аппроксимированы соответствующими аналитическими выражениями, с последующим построением графиков эргодических стационарных процессов. Статистические характеристики исследуемых процессов зависели от начала отчета времени, до получения установившихся режимов. Фрагменты результатов проведенных исследований представлены для анализа в удобном графическом виде (рис. 15, 16).

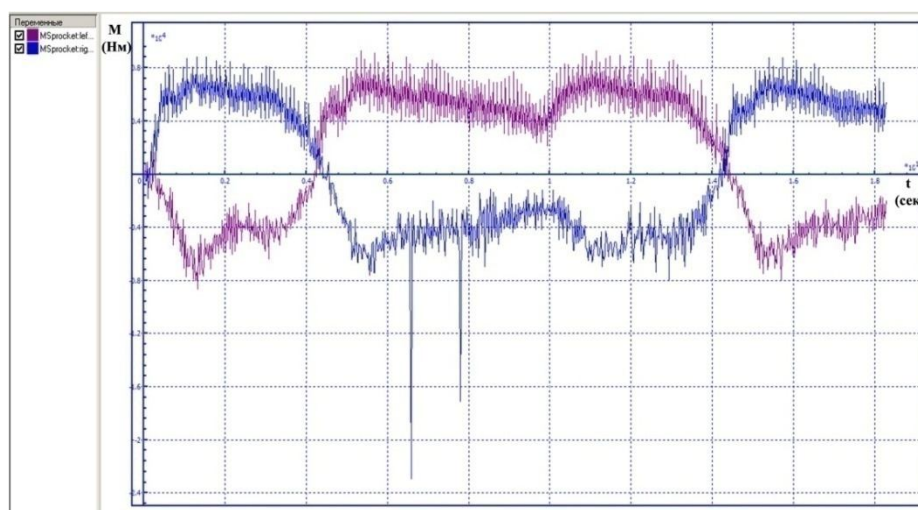


Рис. 15. Моменты на ведущих звездочках при криволинейном движении ГЛЗМ на 1-ой передаче с пачкой сортиментов $Q_{п}=12\text{м}^3$

■ – момент на правой ведущей звездочке (Нм); ■ – момент на левой ведущей звездочке (Нм)

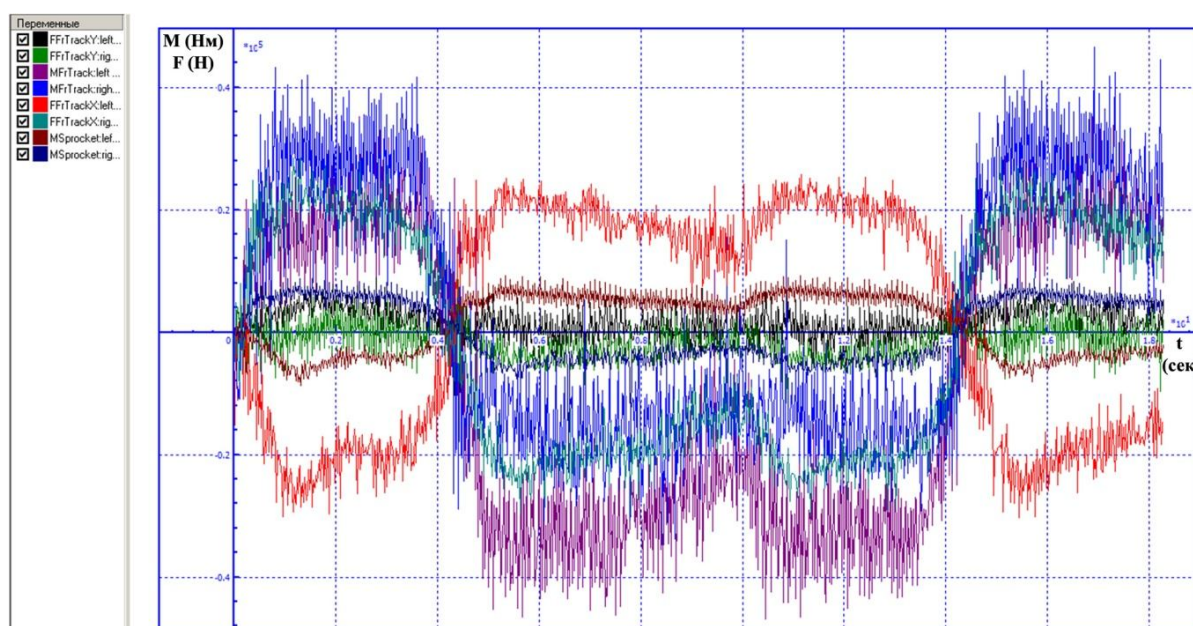


Рис. 16. Фрагмент результатов компьютерного моделирования процесса взаимодействия траков левой и правой гусениц с опорной поверхностью пути при криволинейном движении ГЛЗМ с учетом моментов на ведущих звездочках, $V_{тр} = 2,6$ км/ч; объем сортиментов $Q_{п} = 12 \text{ м}^3$

■ – суммарная сила взаимодействия траков левой гусеницы с опорной поверхностью пути по оси Y (Н); ■ – суммарная сила взаимодействия траков правой гусеницы с опорной поверхностью пути по оси Y (Н); ■ – суммарная сила взаимодействия траков левой гусеницы с опорной поверхностью пути по оси X (Н); ■ – суммарная сила взаимодействия траков правой гусеницы с опорной поверхностью пути по оси X (Н); ■ – суммарный момент взаимодействия траков левой гусеницы с опорной поверхностью пути (Нм); ■ – суммарный момент взаимодействия траков правой гусеницы с опорной поверхностью пути (Нм); ■ – момент на левой ведущей звездочке (Нм); ■ – момент на правой ведущей звездочке (Нм)

Вывод

Прикладной пакет UM Tracked Vehicles имеет специализированные возможности по моделированию окружающей среды, например почвы и снега. В рамках этой работы нами было описано использование пакетов прикладных компьютерных программ ADAMS View, ATV Toolkit, UM Tracked Vehicles для исследования кинематики и динамики

двигателя при движении гусеничной лесозаготовительной машины по криволинейной траектории и при преодолении единичных препятствий на микропрофиле пути. На этапе разработки конструкторской документации, проведение таких виртуальных испытаний с экономической точки зрения было гораздо выгоднее, чем натуральное испытания прототипа.

Библиографический список

1. Погорелов, Д. Ю. Введение в моделирование динамики систем тел [Текст] : учеб. / Д. Ю. Погорелов. – Брянск : БГТУ, 1997. – 156 с.

2. Клубничкин, Е. Е. Ходовые системы гусеничных лесозаготовительных машин [Текст] : учебно-методическое пособие для специальностей 150405 "Машины и оборудование лесного комплекса", 190603 "Сервис транспортных и технологических машин и оборудования", 250401 "Лесоинженерное дело" / Е. Е. Клубничкин, В. А. Макуев, В. Е. Клубничкин. – Москва : Изд-во Моск. гос. ун-та леса, 2010. – 110 с.
3. Wong, J. Y. Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering [Текст] / J. Y. Wong, 2nd Edition. – 2009. – 488 p.
4. Погорелов, Д. Ю. Компьютерное моделирование динамики технических систем с использованием программного комплекса «Универсальный механизм» [Текст] / Д. Ю. Погорелов // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2005. – № 4. – С. 27-34.
5. Клубничкин, В. Е. Совершенствование расчётных моделей нагруженности трансмиссий гусеничных лесозаготовительных машин в зависимости от внешних условий движения [Текст] : автореф. ...канд. техн. наук / В. Е. Клубничкин. – Москва : Моск. гос. ун-т леса, 2012. – 18 с.
6. Said Al-Milli Track-terrain modelling and traversability prediction for tracked vehicles on soft terrain [Текст] / Said Al-Milli, Lakmal D. Seneviratne, Kaspar Althoefer // Journal of Terramechanics, 2010. – Vol. 47. – Issue 3. – pp. 151-160.
7. Драпалюк, М. В. Исследование кинематики разгона ротора с цепью в горизонтальной и вертикальной плоскостях [Текст] / М. В. Драпалюк, Л. Д. Бухтояров, Д. С. Сергиенко // Лесотехнический журнал. – 2012. – № 4 (8). – С. 101-105.
8. Клубничкин, Е. Е. Динамическое моделирование движения гусеничной лесозаготовительной машины с использованием прикладных пакетов компьютерных программ [Текст] / Е. Е. Клубничкин, В. Е. Клубничкин, В. М. Крылов, Д. В. Кондратюк // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2012. – № 8. – С. 41-47.
9. Бухтояров, Л. Д. Функциональная блок-схема расчета основных параметров пильной цепи в среде Matlab [Текст] / Л. Д. Бухтояров, Д. С. Сергиенко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 3-2 (8-2). – С. 38-43.
10. Клубничкин, Е. Е. Изменение длины опорно-активных участков движителя гусеничной лесозаготовительной машины с учетом режимов нагружения [Текст] / Е. Е. Клубничкин, В. Е. Клубничкин, Ю. В. Башкирцев, В. М. Крылов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2013. – № 2 (94). – С. 119-120.
11. Котиков, В. М. Долговечность ходовой системы гусеничной лесозаготовительной машины [Текст] / В. М. Котиков, Е. Е. Клубничкин // Тракторы и сельхозмашины. – 2008. – № 5. – С. 46-47.
12. Клубничкин, Е. Е. Повышение долговечности ходовой системы гусеничной лесозаготовительной машины [Текст] : автореф. ...канд. техн. наук / Е. Е. Клубничкин. – Москва : Моск. гос. ун-т леса, 2008. – 18 с.

References

1. Pogorelov D.J. *Vvedenie v modelirovanie dinamiki sistem tel* [Introduction to modeling dynamics of systems of bodies]. Bryansk, 1997, 156 p. (In Russian).
2. Klubnichkin E.E., Makuev V.A., Klubnichkin V.E. *Hodovye sistemy gusenichnyh lesozagotovitel'nyh mashin* [Suspension system of tracked forestry machines]. Moscow, 2010, 110 p. (In Russian).
3. Wong J.Y. *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering*, 2nd Edition, 2009, 488 p.
4. Pogorelov D.J. Komp'yuternoe modelirovanie dinamiki tehnikeskikh sistem s ispol'zovaniem programmnoho kompleksa «Universal'nyj mehanizm» [Computer simulation of the dynamics of technical systems using the software package "Universal mechanism"]. *Vestnik komp'yuternykh i informacionnykh tekhnologij – Journal of computer and information technology*, 2005, no. 4, pp. 27-34. (In Russian).
5. Klubnichkin V.E. Sovershenstvovanie raschjotnyh modelej nagruzhennosti transmissij gusenichnyh lesozagotovitel'nyh mashin v zavisimosti ot vneshnih uslovij dvizhenija. avtoref. kand. tehn. nauk [Improvement of the models the load TRANS-missions tracked forestry machines, depending on the external conditions DWI-ment. Dis. cand. tehn. Science]. Moscow, 2012, 18 p. (In Russian).
6. Said Al-Milli, Lakmal D. Seneviratne, Kaspar Althoefer Track-terrain modelling and traversability prediction for tracked vehicles on soft terrain, *Journal of Terramechanics*, 2010, Vol. 47, Issue 3, pp. 151-160.
7. Drapalyuk M.V., Bukhtoyarov L.D., Sergienko D.S. Issledovanie kinematiki razgona rotora s cep'ju v gorizontal'noj i vertikal'noj ploskostjah [Study of the kinematics of the rotor with chain in horizontal and vertical planes]. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2012, no. 4 (8), pp. 101-105. (In Russian).
8. Klubnichkin E.E., Klubnichkin V.E., Krylov V.M., Kondratjuk D.V. Dinamicheskoe modelirovanie dvizhenija gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny s ispol'zovaniem prikladnykh paketov komp'yuternykh programm [Dynamic simulation of the motion of the tracked harvester with the use of application packages, computer programs]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik – Bulletin of Moscow state University of forest and Forest Bulletin*, 2012, no. 8, pp. 41-47. (In Russian).
9. Bukhtoyarov L.D., Sergienko D.S. Funkcional'naja blok-shema rascheta osnovnykh parametrov pil'noj cepi v srede Matlab [Functional block diagram of the calculation of the main parameters of the saw chain in the Matlab environment]. *Aktual'nye napravlenija nauchnykh issledovanij XXI veka: teorija i praktika – Current research directions of the XXI century: theory and practice*, 2014, Vol. 2, no. 3-2 (8-2), pp. 38-43. (In Russian).
10. Klubnichkin E.E., Klubnichkin V.E., Bashkircev Ju.V., Krylov V.M. Izmenenie dliny oporno-aktivnykh uchastkov dvizhitelja gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny s uchetom rezhimov nagruzhenija [Changing the length of the support-active sites propulsion Palmer-border forest machines taking into account the loading conditions] *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo un-*

iversiteta lesa – Lesnoj vestnik – Bulletin of Moscow state University of forest and Forest Bulletin, 2013, no. 2 (94), pp. 119-120. (In Russian).

11. Kotikov V.M., Klubnichkin E.E. Dolgovechnost' hodovoj sistemy gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny [Durability of the suspension system of tracked harvester]. *Traktory i sel'hoz-mashiny – Tractors and agricultural machinery*, 2008, no. 5, pp. 46-47. (In Russian).

12. Klubnichkin E.E. Povyshenie dolgovechnosti hodovoj sistemy gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny. avtoref. kand. tehn. nauk [Improving the durability of the running system caterpillar forest harvesting machines. Dis. cand. tehn. Science]. Moscow, 2008, 18 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Клубничкин Владислав Евгеньевич – доцент кафедры колесных и гусеничных машин ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса», кандидат технических наук, доцент, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: vklubnichkin@mgul.ac.ru

Клубничкин Евгений Евгеньевич – доцент кафедры колесных и гусеничных машин, ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса», кандидат технических наук, доцент, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: klubnichkin@mgul.ac.ru

Бухтояров Леонид Дмитриевич – заведующий кафедрой лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: vglta-mlx@yandex.ru

Information about authors

Klubnichkin Vladislav Evgenyevich – Associate Professor of Wheeled and Tracked Vehicles department, FSBEI HPE «Moscow State Forest University», Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Moscow, Russian Federation; e-mail: vklubnichkin@mgul.ac.ru

Klubnichkin Evgeny Evgenyevich – Associate Professor of Wheeled and Tracked Vehicles department, FSBEI HPO «Moscow State Forest University», Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Moscow, Russian Federation; e-mail: klubnichkin@mgul.ac.ru

Bukhtoyarov Leonid Dmitrievich – Head of Department of Forest Industries, metrology, standardization and certification, FSBEI HPE «Voronezh State Academy of Forestry and Technologies», Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Voronez, Russian Federation; e-mail: vglta-mlx@yandex.ru