

## ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ В ПРИКЛАДНОМ ПАКЕТЕ ПРОГРАММ

кандидат технических наук, доцент **В.Е. Клубничкин**<sup>1</sup>

кандидат технических наук, доцент **Е.Е. Клубничкин**<sup>1</sup>

кандидат технических наук **Д.В. Кондратюк**<sup>2</sup>

доктор технических наук, профессор **С.А. Бекетов**<sup>3</sup>

1 – Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», г. Мытищи, Российская Федерация

2 – АО «Государственный научный центр лесопромышленного комплекса»  
г. Москва, Российская Федерация

3 – ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», г. Мытищи,  
Российская Федерация

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки  
Российской Федерации проект № 9.8996.2017/8.9*

В статье представлена программа и методика проведения экспериментальных исследований динамики движения гусеничной погрузочно-транспортной машины в прикладном пакете программ «Универсальный механизм» с использованием модуля «гусеничных машин». Представлены цели проводимых вспомогательных и основных динамических экспериментов. Вспомогательные эксперименты служат целью расчета определения начального состояния гусеничной погрузочно-транспортной машины и подготовки выполнения основных экспериментов. Основные эксперименты предназначены для изучения динамических свойств гусеничной погрузочно-транспортной машины. Представлен перечень динамических экспериментов, включающий в себя эксперименты на: равновесие; натяжение гусениц; расчет начальных скоростей; вертикальную прокачку; движение по прямой; управление без обратной связи; испытания с оператором (водителем). В статье описываются действия, проведение которых необходимо для подготовки имитационной модели гусеничной погрузочно-транспортной машины перед выполнением динамических экспериментов. Даны примеры параметров неровностей и микропрофиля пути, по которым будет двигаться имитационная модель гусеничной погрузочно-транспортной машины в ходе экспериментов. Представлены фрагменты моделирования движения гусеничной погрузочно-транспортной машины. Предложенная программа и методика проведения экспериментальных исследований гусеничной погрузочно-транспортной машины в прикладном пакете программ позволяет на этапе проектирования оперативно провести ряд виртуальных динамических экспериментов с целью нахождения действующих моментов, ускорений и нагрузок в различных элементах машины (в первую очередь в элементах гусеничного движителя). Это даст возможность в ходе виртуальных экспериментов найти такие оптимальные параметры элементов конструкции гусеничной погрузочно-транспортной машины на этапе проектирования, которые позволят опытному образцу машины с наименьшими доработками работать в заданных природно-производственных условиях.

**Ключевые слова:** погрузочно-транспортная машина; эксперимент; программа; моделирование; методика.

## PROGRAM AND METHODS OF EXPERIMENTAL STUDY OF LOAD-TRANSPORT MACHINE IN APPLIED PACKAGE OF PROGRAMS

PhD (Engineering), Associate Professor **V.E. Klubnichkin**<sup>1</sup>

PhD (Engineering), Associate Professor **E.E. Klubnichkin**<sup>1</sup>

PhD (Engineering) **D.V. Kondratyuk**<sup>2</sup>

DSc (Engineering), Associate Professor **S.A. Beketov**<sup>3</sup>

1 – Mytishchi FSBEI HE «Bauman Moscow State Technical University», Mytishchi, Russian Federation

2 – State Scientific Center of Timber Industry Complex,  
Moscow, Russian Federation

3 – Mytishchi FSBEI HE «Bauman Moscow State Technical University», Mytishchi, Russian Federation

*The work was supported by the Ministry of Education and Science of Russian Federation № 9.8996.2017/8.9*

The article presents the program and methodology for conducting experimental studies of the dynamics of the tracked movement of loading and transport machines in the applied program package "Universal mechanism" using module "tracked vehicles". Presents the objectives of the auxiliary and the main dynamic experiments. Auxiliary experiments serve the purpose of calculation of determining the initial state of tracked loading and transport machines and training perform basic experiments. The main experiments designed to study the dynamic properties of the tracked loading-transport machines. The list of dynamic experiments including experiments on: equilibrium; the tension of the caterpillars; the calculation of initial velocities; the vertical pumping; the linear progression; the control without feedback; tests with the operator (driver). The article describes the steps which are needed to prepare a simulation model of the crawler handling machine before performing dynamic experiments. Examples are given of the parameters of the irregularities and white-the path on which will move the simulation model tracked the loading and transport machines during the experiments. Presents fragments model the motion of a tracked loading-transport machines. The proposed program and methodology for conducting experimental research, tracked loading and transport machines in the applied software package that allows the design stage to quickly conduct a number of virtual dynamic experiments with the aim of finding operating points, accelerations and loads in the various elements of the machine (primarily in the elements of caterpillar tracks). This will make it possible in the course of virtual experiments to find the optimal parameters of construction elements tracked loading and transport machines at the design stage that will allow the prototype cars with the least modifications to work in the given natural-production conditions.

**Keywords:** loading and transporting machine; experiment; program; modeling; method.

Повышение качества машин и оборудования, а также сокращение сроков внедрения новой техники является важнейшим условием ускорения научно-технического прогресса.

Комплексного подхода от проектно-конструкторских организаций, научно-исследовательских институтов и заводов лесного машиностроения требуют вопросы по улучшению конструктивно-эксплуатационных показателей современных лесозаготовительных и других машин, а также сокращению сроков их подготовки к серийному производству.

Без широкого спектра научно-исследовательских работ создание новой прогрессивной техники невозможно. В цикле создания машины от 40 до 80 % времени составляют доводка и испытания [1]. В настоящее время производство высокоэффективной и надежной техники немыслимо без проведения экспериментальных исследований (испытаний). Данные экспериментальные исследования необходимо проводить как на этапе проектирования в прикладных пакетах программ для исследования динамических нагрузок в элементах машины [2-6], так и в процессе производства,

а также на финишной стадии производства для контроля качества продукции.

В соответствии с разработанной программой и методикой экспериментальных исследований, моделирование динамики движения погрузочно-транспортной машины (ПТМ) в прикладном пакете программ Универсальный механизм (Universal mechanism) [7] было основано на системе экспериментов (испытаний).

Перечень динамических экспериментов:

- 1) равновесие,
- 2) натяжение гусеницы,
- 3) расчет начальных скоростей,
- 4) вертикальная прокатка,
- 5) движение по прямой,
- 6) управление без обратной связи,
- 7) испытания с оператором (водителем).

Эксперименты были разделены на вспомогательные и основные. К первому типу относились эксперименты 1-4, ко второму – 5-7. Вспомогательные эксперименты служат целью расчета определения начального состояния погрузочно-транспортной машины и подготовки выполнения основных экспериментов. Основные эксперименты предназначены для изучения динамических свойств погрузочно-транспортной машины.

Эксперименты 1-4 выполняются с неподвижной в продольном направлении погрузочно-транспортной машиной, эксперименты 5-7 позволяют рассчитывать динамические показатели в движении с учетом неровностей поверхности, по которой движется погрузочно-транспортная машина.

Для проведения экспериментальных исследований была подготовлена имитационная модель погрузочно-транспортной машины (рис. 1) к моделированию. Перед выполнением динамических экспериментов необходимо выполнить определенные действия по подготовке имитационной модели погрузочно-транспортной машины:

- 1) задать начальное значение угла поворота звездочки в градусах;

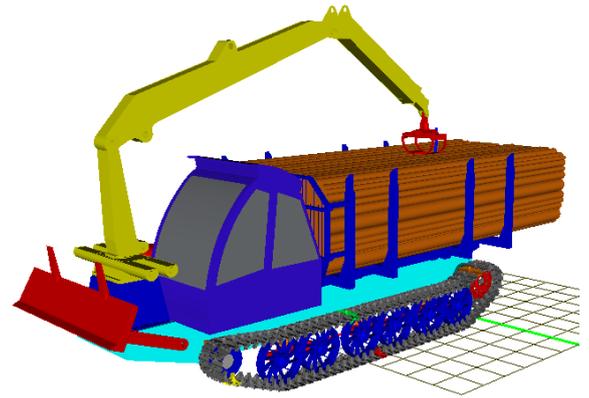


Рис. 1. Подготовленная к моделированию имитационная модель погрузочно-транспортной машины

- 2) назначить тело имитационной модели, являющееся рамой погрузочно-транспортной машины;

- 3) назначить удлинение натяжного устройства в упругом шарнире с целью достижения необходимого значения натяжения гусениц;

- 4) задать неровности при проведении экспериментальных исследований прямолинейного движения погрузочно-транспортной машины. Можно задавать неровности для левой и правой гусеницы двух типов, это синусоидальные неровности и файлы с микропрофилями пути, замеры которых были произведены ранее [8-15].

Синусоидальные неровности рассчитываются по формуле (1)

$$z = a \sin \frac{2\pi}{L} (x - x_0), \quad (1)$$

где  $a$  – амплитуда,  $L$  – длина волны (период),  $x$  – продольная координата (путь, пройденный погрузочно-транспортной машиной с момента начала движения),  $x_0$  – сдвиг фазы неровности (для правой гусеницы). На рис. 2 и 3 приведен пример синусоидальных неровностей при следующем значении параметров: амплитуда  $A = 200$  мм, длина волны  $L = 8$  метров, сдвиг фазы для левой гусеницы  $x_0 = 2$  метра.

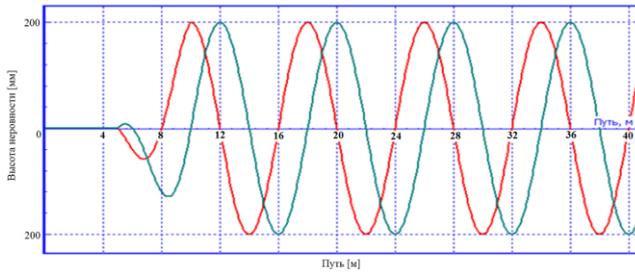


Рис. 2. Пример синусоидальной неровности

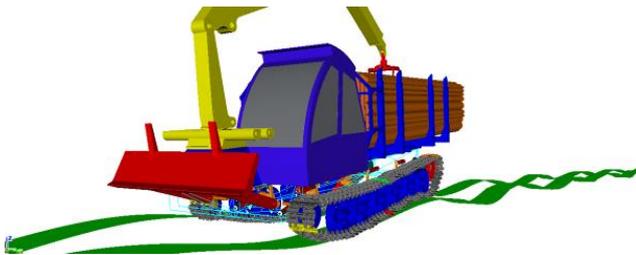


Рис. 3. Движение погрузочно-транспортной машины по синусоидальной неровности

Задание параметров микропрофиля для проведения экспериментальных исследований аналогично заданию параметров синусоидальных неровностей на рис. 4 и 5 представлен пример микропрофиля и движение модели погрузочно-транспортной машины по нему.

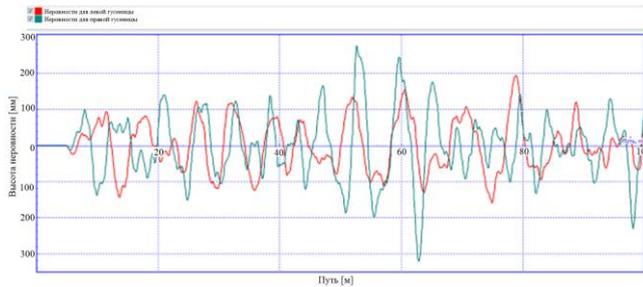


Рис. 4. Пример микропрофиля пути для левой и правой гусеницы ПТМ

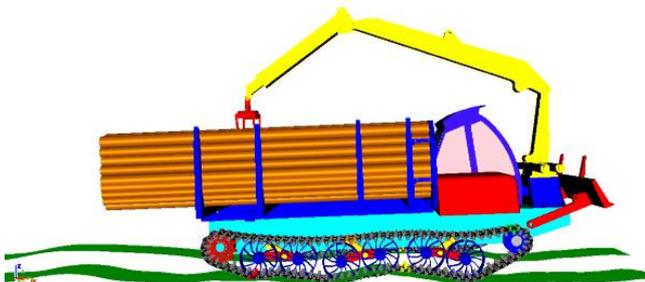


Рис. 5. Движение погрузочно-транспортной машины по микропрофилю пути

Также при проведении виртуальных экспериментальных исследований можно использовать ранее созданные параметры лесосеки и строить на ней маршруты движения погрузочно-транспортной машины (рис. 6).

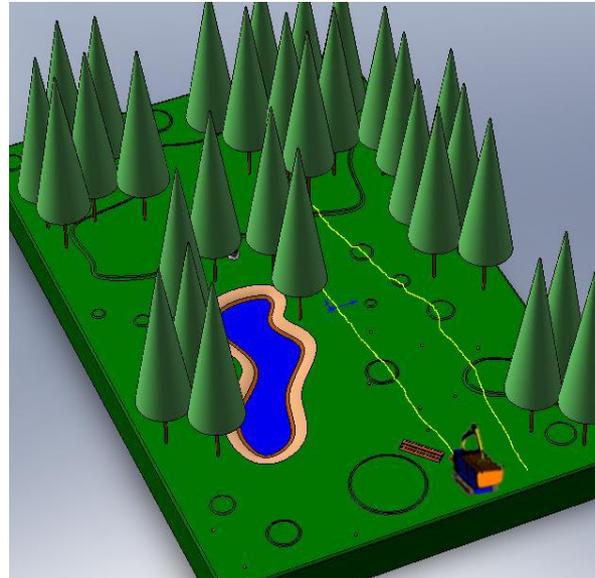


Рис. 6. Пример начального положения погрузочно-транспортной машины для различных маршрутов движения по виртуальной лесосеке

Для проведения экспериментальных исследований ПТМ необходимо задать скорость её движения в м/с, выполнить идентификацию следующих параметров имитационной модели погрузочно-транспортной машины:

- параметры контактов гусеницы;
- параметры блокировки движения в горизонтальной плоскости;
- идентификация тяговых моментов, приложенных к ведущим звездочкам;
- параметры, характеризующие свойства грунта с просадкой.

При выполнении основных экспериментов могут быть заданы параметры грунта с просадкой [16-18]. Характеристики грунтов могут быть заданы исследователем или выбраны из базы данных грунтов.

Цели перечисленных выше динамических экспериментов следующие:

1) равновесие – вспомогательный эксперимент, предназначенный для приведения погрузочно-транспортной машины в состояние равновесия;

2) натяжение гусеницы – вспомогательный эксперимент, призванный установить необходимое натяжение гусеницы. Изменение натяжения происходит в результате увеличения длины силового элемента, моделирующего механизм натяжного устройства;

3) расчет начальных скоростей – вспомогательный эксперимент, предназначенный для создания файла начальных условий, используемого для расчета начальных скоростей тел в имитационной модели погрузочно-транспортной машины при условии, что начальная скорость продольного движения погрузочно-транспортной машины отлична от нуля. В результате выполнения этого эксперимента появляется возможность исследовать динамику движения погрузочно-транспортной машины, движущейся в момент начала моделирования с произвольной заданной скоростью;

4) вертикальная прокачка – вспомогательный эксперимент для определения жесткостной характеристики подвески в виде графика вертикальная сила – перемещение;

5) движение по прямой – данный эксперимент является одним из основных экспериментов, позволяющих оценить динамику движителя погрузочно-транспортной машины. Моделируется прямолинейное движение погрузочно-транспортной машины в соответствии с заданным профилем скорости (зависимость скорости от времени или

пройденного пути, в частности, при постоянной скорости) с учетом заданных микропрофилей под левой и правой гусеницей;

6) управление без обратной связи – дополнительно к стандартным параметрам экспериментов с продольным движением следует указать механизм поворота для проведения исследований динамики движения погрузочно-транспортной машины по криволинейной траектории и траекторией с изменяемым знаком кривизны;

7) испытания с оператором (водителем) – дополнительно к стандартным параметрам экспериментов с продольным движением следует указать механизм поворота и задать макрогеометрию, т. е. виртуальную лесосеку.

### **Вывод**

Предложенная программа и методика проведения экспериментальных исследований погрузочно-транспортной машины в прикладном пакете программ позволяет на этапе проектирования оперативно провести ряд виртуальных динамических экспериментов с целью нахождения действующих нагрузок в элементах машины. Это даст возможность найти такие оптимальные параметры конструкции машины на этапе проектирования, которые позволят опытному образцу с наименьшими доработками работать в заданных природно-производственных условиях.

### **Библиографический список**

1. Анисимов, Г. М. Испытания лесосечных машин [Текст] : учеб. пособие / Г. М. Анисимов, А. М. Кочнев. – СПб., 2008. – 488 с.
2. Моделирование движения гусеничных машин по лесным дорогам [Текст] / В. Е. Клубничкин [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2016. – № 1 (112). – С. 171-176.
3. Development of a Multibody Dynamics Simulation Tool for Tracked Vehicles (Part I, Efficient Contact and Nonlinear Dynamic Modeling) [Text] / H. S. Ryu, K. S. Huh, D. S. Bae, J. H. Choi // JSME International Journal Series C. – 2003. – Vol. 46. – No. 2. – P. 540-549.
4. 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 // Лесной вестник. – 2012. – № 8. – С. 41-47.

5. Rubinstein D. A detailed multi-body model for dynamic simulation of off-road tracked vehicles [Text] / D. Rubinstein, R. Hitron // J. Terramechanics. – 2004. – Vol. 41. – No. 2-3. – P. 163-173.
6. Клубничкин, В. Е. Исследование кинематики и динамики движителя гусеничной лесозаготовительной машины [Текст] / В. Е. Клубничкин, Е. Е. Клубничкин, Л. Д. Бухтояров // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т. 4. – № 4 (16). – С. 179-190.
7. 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.
8. Клубничкин, Е. Е. Повышение долговечности ходовой системы гусеничной лесозаготовительной машины [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е. Е. Клубничкин. – М., 2008. – 18 с.
9. Model to calculate loading of transmission elements at controlled curvilinear motion of the tracked timber harvesting machine [Text] / V. E. Klubnichkin [et al.] // Лесотехнический журнал. – 2015. – Т. 5. – № 2 (18). – С. 166-176.
10. Определение характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин [Текст] / В. С. Макаров [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 113.
11. Клубничкин, В. Е. Выбор показателя оценки влияния внешних условий движения на расчет нагруженности элементов трансмиссии ГЛЗМ [Текст] / В. Е. Клубничкин, Е. Е. Клубничкин, Л. Д. Бухтояров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 5-4(10-4). – С. 134-138.
12. Беляков, В. В. Полотно пути транспортно-технологических машин (справочные материалы к теории «машина-местность») [Текст] : учеб. / под ред. В.В. Белякова, А.А. Куркина. – Нижний Новгород, 2014. – 447 с.
13. Модель взаимодействия элементов опорной поверхности гусениц лесозаготовительной машины с грунтом [Текст] / В. Е. Клубничкин [и др.] // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т. 4. – № 4 (16). – С. 191-200.
14. Soil compaction of various central european forest soils caused by traffic of forestry machines with various chassis [Text] / M. Allman [et al.] // Forest Systems. – 2015. – No. 24(3).
15. Применение инновационных технологий при исследовании нагруженности трансмиссий гусеничных машин [Текст] / В. Е. Клубничкин [и др.] // Беспилотные транспортные средства: проблемы и перспективы : сб. материалов 94 международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров ; гл. ред. С. М. Дмитриев. – 2016. – С. 183-190.
16. Laughery, S. G. Bekker's Terramechanics Model for Off-Road Vehicle Research [Text] / S. Laughery, G. Gerhart, R. Goetz. – 1990.
17. Wong, J. Y. Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering [Text] / J. Y. Wong. – 2nd Ed. – Elsevier, Oxford, England, 2010. – 488 p.
18. Беккер, М. Г. Введение в теорию систем местность-машина [Текст] / М. Г. Беккер ; пер. с англ. ; под ред. В. В. Гуськова. – М. : Машиностроение, 1973. – 520 с.

### References

1. Anisimov G. M. *Ispytaniya lesosechnyh mashin : Uchebnoe posobie* / G. M. Anisimov, A. M. Kochnev. – Saint-Petersburg, 2008. – 488 p.
2. *Modelirovanie dvizheniya gusenichnyh mashin po lesnym dorogam* / V. E. Klubnichkin [et al.] // *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*. – 2016. – № 1(112). – P. 171-176.
3. Development of a Multibody Dynamics Simulation Tool for Tracked Vehicles (Part I, Efficient Contact and Nonlinear Dynamic Modeling) / H. S. Ryu, K. S. Huh, D. S. Bae, J. H. Choi // JSME International Journal Series C. – 2003. – Vol. 46. – No. 2. – P. 540-549.

4. *Dinamicheskoe modelirovanie dvizheniya gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny s ispol'zovaniem prikladnyh paketov komp'yuternyh programm* / E. E. Klubnichkin, V. E. Klubnichkin, V. M. Krylov, D. V. Kondratyuk // *Lesnoj vestnik*. – № 8. – 2012. – P. 41-47.
5. Rubinstein D. A detailed multi-body model for dynamic simulation of off-road tracked vehicles / D. Rubinstein, R. Hitron // *J. Terramechanics*. – 2004. – Vol. 41. – No. 2-3. – P. 163-173.
6. Klubnichkin V. E. *Issledovanie kinematiki i dinamiki dvizhitelya gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny* / V. E. Klubnichkin, E. E. Klubnichkin, L. D. Buhtoyarov // *Lesotekhnicheskij zhurnal*. – 2014. – T. 4. – № 4 (16). – P. 179-190.
7. Pogorelov D. Yu. *Komp'yuternoe modelirovanie dinamiki tekhnicheskikh sistem s ispol'zovaniem programmogo kompleksa «Universal'nyj mekhanizm»* / D. Yu. Pogorelov // *Vestnik komp'yuternyh i informacionnyh tekhnologij*. – 2005. – № 4. – P. 27-34.
8. Klubnichkin E. E. *Povyshenie dolgovechnosti hodovoj sistemy gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny* : avtoref. ...kand. tekhn. nauk / E. E. Klubnichkin. – Moscow, 2008. – 18 p.
9. Model to calculate loading of transmission elements at controlled curvilinear motion of the tracked timber harvesting machine / V. E. Klubnichkin [et al.] // *Lesotekhnicheskij zhurnal*. – 2015. – T. 5. – № 2 (18). – С. 166-176.
10. *Opredelenie harakteristik mikroprofilya dorog, prednaznachennyh dlya dvizheniya transportno-tekhnologicheskikh mashin* / V. S. Makarov [et al.] // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. – 2012. – № 5. – P. 113.
11. Klubnichkin V. E. *Vybor pokazatelya ocenki vliyaniya vneshnih uslovij dvizheniya na raschet nagruzhennosti ehlementov transmissii GLZM* / V. E. Klubnichkin, E. E. Klubnichkin, L. D. Buhtoyarov // *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika*. – 2014. – Vol. 2. – № 5-4(10-4). – P. 134-138.
12. Belyakov V. V. *Polotno puti transportno-tekhnologicheskikh mashin (spravochnye materialy k teorii «mashina-mestnost'») : Uchebnik* / ed. by V. V. Belyakov, A. A. Kurkin. – Nizhnij Novgorod, 2014. – 447 p.
13. *Model' vzaimodejstviya ehlementov opornoj poverhnosti gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny s gruntom* / V. E. Klubnichkin [et al.] // *Lesotekhnicheskij zhurnal*. – 2014. – T. 4. – № 4 (16). – P. 191-200.
14. Soil compaction of various central european forest soils caused by traffic of forestry machines with various chassis / M. Allman [et al.] // *Forest Systems*. – 2015. – No. 24(3).
15. *Primenenie innovacionnyh tekhnologij pri issledovanii nagruzhennosti transmissij gusenichnyh mashin* / V. E. Klubnichkin [et al.] // *Bespilotnye transportnye sredstva: problemy i perspektivy sbornik materialov 94 mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii Assotsiatsii avtomobil'nyh inzhenerov* ; ed. by S. M. Dmitriev. – 2016. – P. 183-190.
16. Laughery, S. G. *Bekker's Terramechanics Model for Off-Road Vehicle Research* / S. Laughery, G. Gerhart, R. Goetz. – 1990.
17. Wong, J. Y. *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering* / J. Y. Wong. – 2nd ed. – Elsevier, Oxford, England, 2010. – 488 p.
18. Bekker M.G. *Vvedenie v teoriyu sistem mestnost'-mashina* / ed. by V. V. Gus'kov. – M. : Mashinostroenie, 1973. – 520 p.

### Сведения об авторах

Клубничкин Владислав Евгеньевич – доцент кафедры колесных машин Мытищинского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», кандидат технических наук, доцент, г. Мытищи, Российская Федерация; e-mail: vklubnichkin@gmail.com

*Клубничкин Евгений Евгеньевич* – доцент кафедры колесных машин Мытищинского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», кандидат технических наук, доцент, г. Мытищи, Российская Федерация; e-mail: klubnichkin@mgul.ac.ru

*Кондратюк Дмитрий Владимирович* – главный конструктор АО «Государственный научный центр лесопромышленного комплекса», кандидат технических наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: gnclpk@mail.ru

*Бекетов Сергей Анатольевич* – профессор кафедры многоцелевых гусеничных машин и мобильных роботов ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», доктор технических наук, профессор, г. Москва, Российская Федерация. e-mail: bekprof@mail.ru

### Information about authors

*Klubnichkin Vladislav Evgenyevich* – Associate Professor of Wheeled and Tracked Vehicles department, Mytishi branch Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University», Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Mytishi, Russian Federation; e-mail: vklubnichkin@gmail.ru.

*Klubnichkin Evgeny Evgenyevich* – Associate Professor of Wheeled and Tracked Vehicles department, Mytishi branch Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University», Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Mytishi, Russian Federation; e-mail: klubnichkin@mgul.ac.ru.

*Kondratyuk Dmitry Vladimirovich* - Chief Designer «State Scientific Center of the Timber Industry Complex», Ph.D. in Engineering, Moscow, Russian Federation; e-mail: gnclpk@mail.ru

*Beketov Sergey Anatolievich* – Professor of multipurpose tracked vehicles and mobile robots Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University», DSc in Engineering, Professor, Moscow, Russian Federation; e-mail: bekprof@mail.ru

DOI: 10.12737/article\_5a3d097ac621c3.55675220

УДК 630\*4

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЛЕСНОГО ПОЖАРНОГО ГРУНТОМЕТА С ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМ ГИДРОПРИВОДОМ

доктор технических наук, профессор **П.И. Попиков**<sup>1</sup>  
кандидат технических наук, доцент **П.Э. Гончаров**<sup>1</sup>  
аспирант **А.В. Шаров**<sup>1</sup>

1- ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,  
Воронеж, Российская Федерация

В статье представлена принципиальная гидравлическая схема грунтомета с подключением пневмогидравлического аккумулятора, который аккумулирует энергию при перегрузках в момент встречи рабочих органов с препятствиями, при этом исключается срабатывание предохранительных клапанов и превращение гидравлической энергии в тепловую. Разработана математическая модель, которая всесторонне описывает происходящие явления: вращение и движение ротора грунтомета, взаимодействие ротора с грунтом и препятствиями, движение грунта в пространстве. В рамках метода грунт и препятствия представляются совокупностью большого количества (порядка 2000...10000) шарообразных элементов малого размера, способных взаимодействовать как между собой, так и с лопатками грунтомета. Моделирование производится в трехмерном пространстве