

*Бартенев Иван Михайлович* – профессор кафедры «Механизации лесного хозяйства и проектирования машин», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор технических наук, профессор, г. Воронеж, Российская федерация; e-mail: dontsovie@mail.ru

*Лысыч Михаил Николаевич* – доцент кафедры «Лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская федерация; e-mail: miklynea@yandex.ru

### Information about authors

*Dontsov Igor Evgenevich* – Associate Professor of Forestry Mechanization and Machine Design department, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Voronezh, Russian Federation; e-mail: dontsovie@mail.ru

*Bartenev Ivan Mikhaylovich* – Professor of Forestry Mechanization and Machine Design department, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», DSc in Engineering, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: dontsovie@mail.ru

*Lysych Mikhail Nikolaevich* – Associate Professor of Forest Industry, Metrology, Standardization and Certification department, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Voronezh, Russian Federation; e-mail: miklynea@yandex.ru

DOI: 12737/25210

УДК 630\*377.44

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ТРАНСМИССИИ ГУСЕНИЧНОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ПРИ ПРЕОДОЛЕНИИ ПРЕПЯТСТВИЙ

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

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

кандидат технических наук, доцент **Л. Д. Бухтояров**<sup>2</sup>

кандидат технических наук, доцент **С. В. Малюков**<sup>2</sup>

кандидат технических наук, доцент **Д. Ю. Дручинин**<sup>2</sup>

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

2 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации проект № 9.8996.2017/БЧ

Проведение теоретического анализа динамических явлений в трансмиссии гусеничной лесозаготовительной машины значительно затрудняется при отсутствии экспериментальных данных о входных воздействиях, свойственных работе машины. Наиболее характерные виды воздействий на трансмиссию, возникающие в реальных условиях эксплуатации позволяют оценить результаты экспериментальных исследований, также они дают возможность оценить качество теоретических исследований. Для определения нагруженности трансмиссии в эксперименте предусматривался замер ряда кинематических и силовых параметров, характеризующих скоростное и напряженное состояния трансмиссии. В ходе проведения исследований использовалась специальное измерительное оборудование производства Германии включающая в себя цифровую высокоскоростную телеметрическую и тензометрическую систему "TEL1-PCM-HS" фирмы КМТ. В статье описывается определение динамических нагрузок элементов трансмиссии гусеничной лесозаготовительной машины ЛЗ-5 при пре-

одоления единичных препятствий в ходе экспериментальных исследований (испытаний). В работе представлена программа проведения экспериментальных исследований гусеничной лесозаготовительной машины. Представлены кривые изменения параметров момента на бортовых передачах и карданном валу, в зависимости от оборотов ведущих звездочек и двигателя при преодолении препятствий ГЛЗМ на различных передачах. Были построены гистограммы распределения крутящих моментов на валах трансмиссии при различных режимах преодоления препятствий с целью проведения анализа влияния эксплуатационных факторов на величины динамических нагрузок. В статье представлена кривая распределения моментов на ведомых валах бортовых передач при преодолении препятствий гусеничной лесозаготовительной машины с пачкой сортиментов в объеме  $12\text{ м}^3$ . При этом отмечено, что встречаются не менее 20 раз динамические моменты значения, которых превосходят расчетные за время преодоления одного препятствия. Из проведенных исследований следует, что в трансмиссии меньше всего на уровень динамических нагрузок оказывает высота препятствия.

**Ключевые слова:** трансмиссия; гусеничная машина; эксперимент; динамические нагрузки.

### DETERMINATION OF DYNAMIC LOADS IN TRANSMISSIONS TRACKED FOREST MACHINE WHILE OVERCOMING OBSTACLES

Ph.D. in Engineering, Associate Professor **V. E. Klubnichkin**<sup>1</sup>

Ph.D. in Engineering, Associate Professor **E. E. Klubnichkin**<sup>1</sup>

Ph.D. in Engineering, Associate Professor **L. D. Bukhtoyarov**<sup>2</sup>

Ph.D. in Engineering, Associate Professor **S. V. Malyukov**<sup>2</sup>

Ph.D. in Engineering, Associate Professor **D. Yu. Druchinin**<sup>2</sup>

1 – Mytishi branch Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University», Mytishi, Russian Federation

2 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation

The work has been performed within the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, project no. 9.8996.2017/BCH

#### Abstract

The theoretical analysis of dynamic phenomena in transmission tracked forest machine is much more difficult in the absence of experimental data on the effects of the input characteristic of the machine. The most characteristic species in the transmission effects that arise under real operating conditions allow to evaluate the results of experimental studies, they also provide an opportunity to assess the quality of theoretical studies. To determine the loading of the transmission in the experiment involves the measurement of a number of kinematic and power parameters characterizing the speed and stress state of the transmission. In the course of the research used a special measuring equipment made in Germany includes the high-speed digital telemetry system for strain "TEL1-PCM-HS" company KMT. This article describes how to determine the dynamic load transmission elements tracked forest machine LZ-5 in overcoming individual barriers in experimental studies (tests). The paper presents a program of pilot studies tracked forest machine. Presented curves change the time settings on the final drives and cardan shaft, depending on the speed of the engine and drive sprockets in overcoming obstacles GLZM with different gears. histograms were constructed on the distribution of the torque transmission shafts for various modes of overcoming obstacles in order to analyze the influence of operational factors on the magnitude of dynamic loads. The article presents the distribution curve of the moments on the driven shaft final drive to overcome obstacles tracked forest machine with a pack assortments in the volume of  $12\text{ m}^3$ . It was noted that there are no less than 20 times the dynamic point values, which exceed the estimated time for the overcoming of obstacles. From the studies that the transmission level of at least dynamic forces having height obstacles.

**Keywords:** transmission; tracked vehicle; experiment; dynamic stresses.

Экспериментальные исследования проводились на ровном участке, вдоль которого укладывались единичные неровности в виде поваленных брёвен различного диаметра и затем стопорились (рис. 1). Всего устанавливалось 15 единичных неровностей высотой 200, 300 и 400 мм (по пять для каждой высоты) [1, 3, 7, 11]. Расстояния между единичными неровностями хватало, для того, чтобы двигатель после преодоления предыдущей неровности (препятствия) мог набрать постоянные обороты.



а)



б)

Рис. 1. Экспериментальные исследования (испытания) по преодолению единичных неровностей а) ГЛЗМ ЛЗ-5 на лесосеке; б) наезд на единичное препятствие

Программой исследований предусматривались эксперименты по определению влияния на динамические нагрузки трансмиссии следующих факторов: высоты неровности, скорости движения, объёма перевозимой пачки сортиментов. В ходе проведения исследований использовалась специальное измерительное оборудование производства Германии включающая в себя цифровую высокоскоростную телеметрическую и тензометрическую

систему "TEL1-PCM-HS" фирмы KMT. [31].

Испытания проводились на четырех передачах замедленного ряда для пустой гусеничной лесозаготовительной машины (ГЛЗМ), с пачкой сортиментов  $12\text{ м}^3$ . Проходя полосу препятствий (единичных неровностей) на определённом режиме, получали зависимость динамических нагрузок в трансмиссии от высоты препятствия [8, 13, 22, 25, 33].

При преодолении препятствий наблюдается резкое снижение скорости движения гусеничной лесозаготовительной машины, это приводит к возникновению в трансмиссии динамических нагрузок [9, 14, 16, 20, 27]. Для анализа характера изменения моментов на валах трансмиссии при переезде препятствия высотой 400 мм на первой передаче с пачкой сортиментов  $12\text{ м}^3$  на рис. 2 представлены отдельно диаграммы изменения измеряемых параметров. В начальный период взаимодействия с препятствием на малой скорости движения происходит только небольшое увеличение амплитуды колебаний моментов на валах.

Частоты колебаний это около 4-х колебаний в секунду остаются те же, что и при движении по ровному грунту, т.е., что соответствует звенчатости гусеничной цепи. Так продолжается более половины времени переезда пока гусеничная лесозаготовительная машина "взбирается" на препятствие. Далее крутящие моменты в трансмиссии существенно возрастают. Очевидно, в связи с колебаниями препятствия, при этом увеличиваются частота колебаний моментов. Осциллограммы показывают, что на первой и второй передачах при преодолении препятствий, независимо от их высоты, нагрузки, действующие на детали трансмиссии не превышают расчетных значений, соответствующих максимальному моменту двигателя. Коэффициент динамичности не превышает  $K_{дин} = 0,85$ . Если переезд совершается на высших передачах рабочего диапазона, то в трансмиссии возникают по уровню значительно выше динамические моменты, чем расчетные. Источником возникновения динамических моментов при переездах препятствий является маховик двигателя. Резкое торможение маховика происходит при ударе машины о препятствие, в результате чего создаётся дополнительный динамический момент, величина которого пропорциональна замедле-

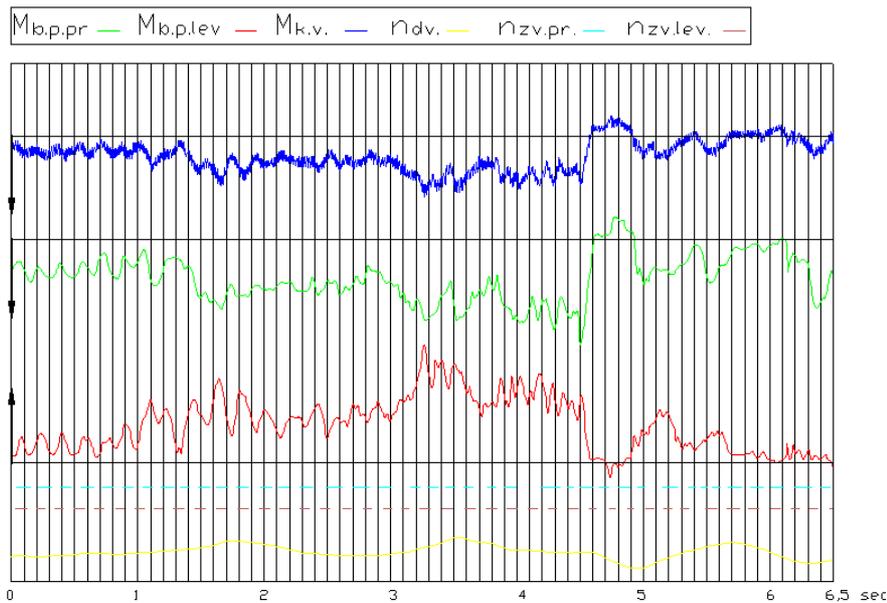


Рис. 2. Кривые изменения измеряемых параметров при преодолении препятствий на первой передаче

нию [2, 17, 21, 23, 24, 30]. На валах трансмиссии появляются отрицательные моменты при переваливании гусеничной лесозаготовительной машины через препятствие, источником которых являются поступательно движущиеся инерционные массы машины. От ускорения с которым гусеничная лесозаготовительная машина переваливается через препятствие зависят величины отрицательных моментов [15, 18, 19, 26, 29]. Это, в свою очередь, определяется скоростью движения и высотой препятствия. Например, со скоростью машины  $V_{\text{тр}} = 2,3$  км/час при преодолении препятствия высотой 200 мм (рис. 3) отрицательные моменты не

возникают. Ходовая система гусеничной лесозаготовительной машины в таком случае огибает препятствие, тем самым исключая её переваливание через него [6, 10].

При движении через препятствие высотой 400 мм с той же скоростью машины, на карданном вале отрицательные моменты достигают  $M_{\text{к.в.}} = 558$  Нм а суммарный момент на валах бортовых передач  $M_{\text{сум.б.п.}} = 36382$  Нм (рис.4).

На рис. 5 представлен фрагмент результатов преодоления ГЛЗМ препятствия высотой 400мм на четвертой передаче со скоростью 4,8км/час с пачкой

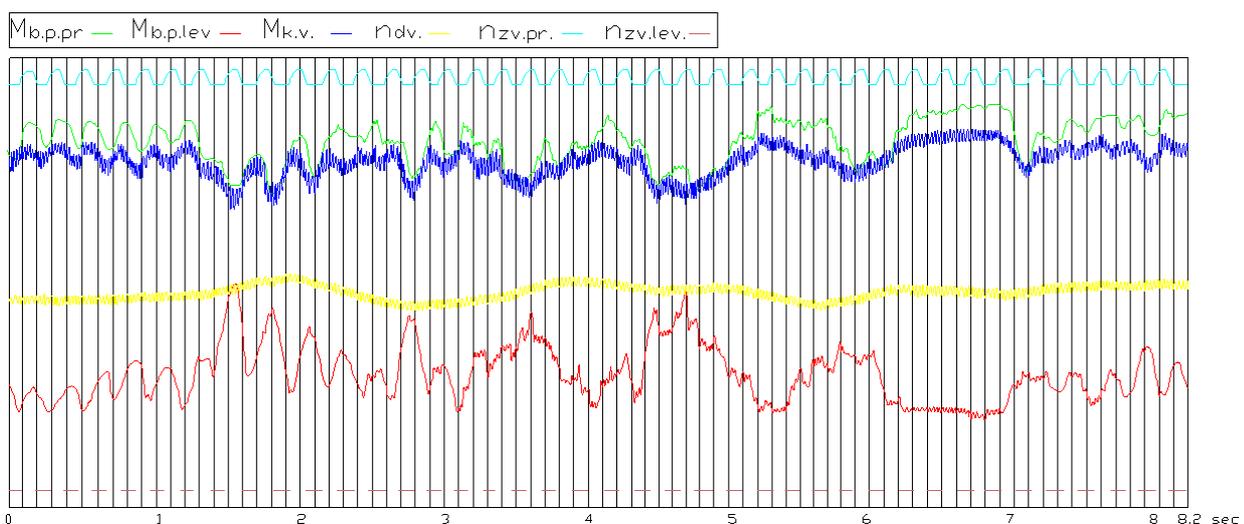


Рис. 3. Фрагмент результатов преодоления препятствия высотой 200 мм при  $V_{\text{тр}} = 2,3$  км/час с пачкой сортиментов  $Q_{\text{п}} = 12\text{м}^3$

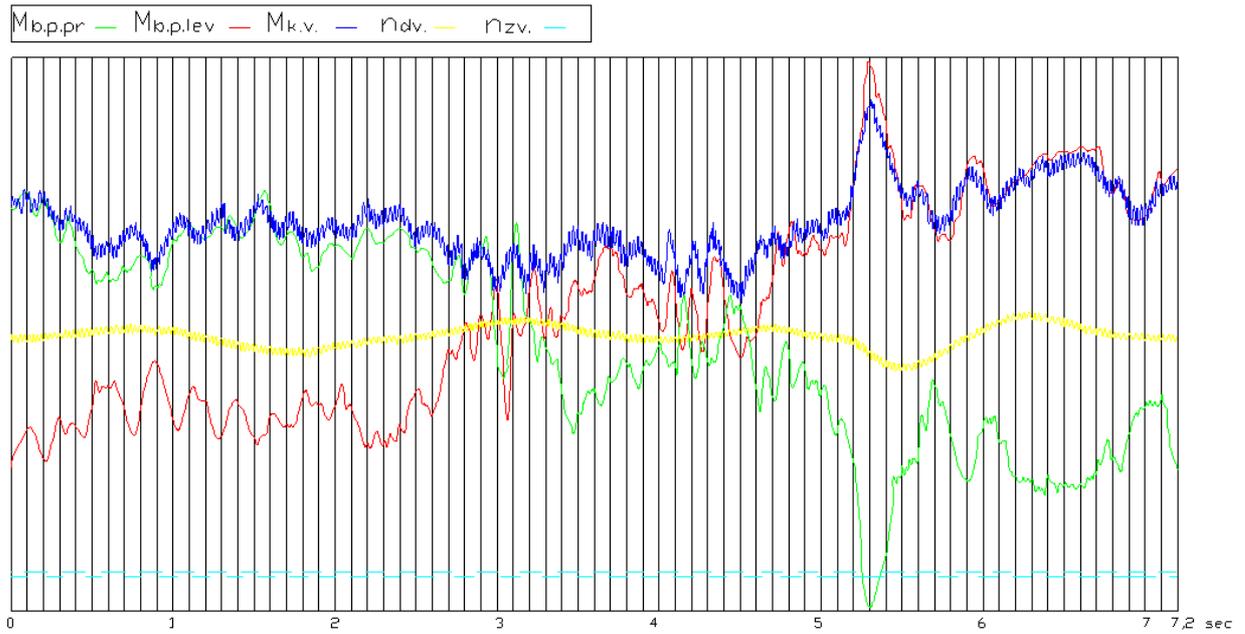


Рис. 4. Фрагмент результатов преодоления препятствия высотой 400 мм при  $V_{тр}=2,2$  км/час с пачкой сортиментов  $Q_{п}=12$  м<sup>3</sup>

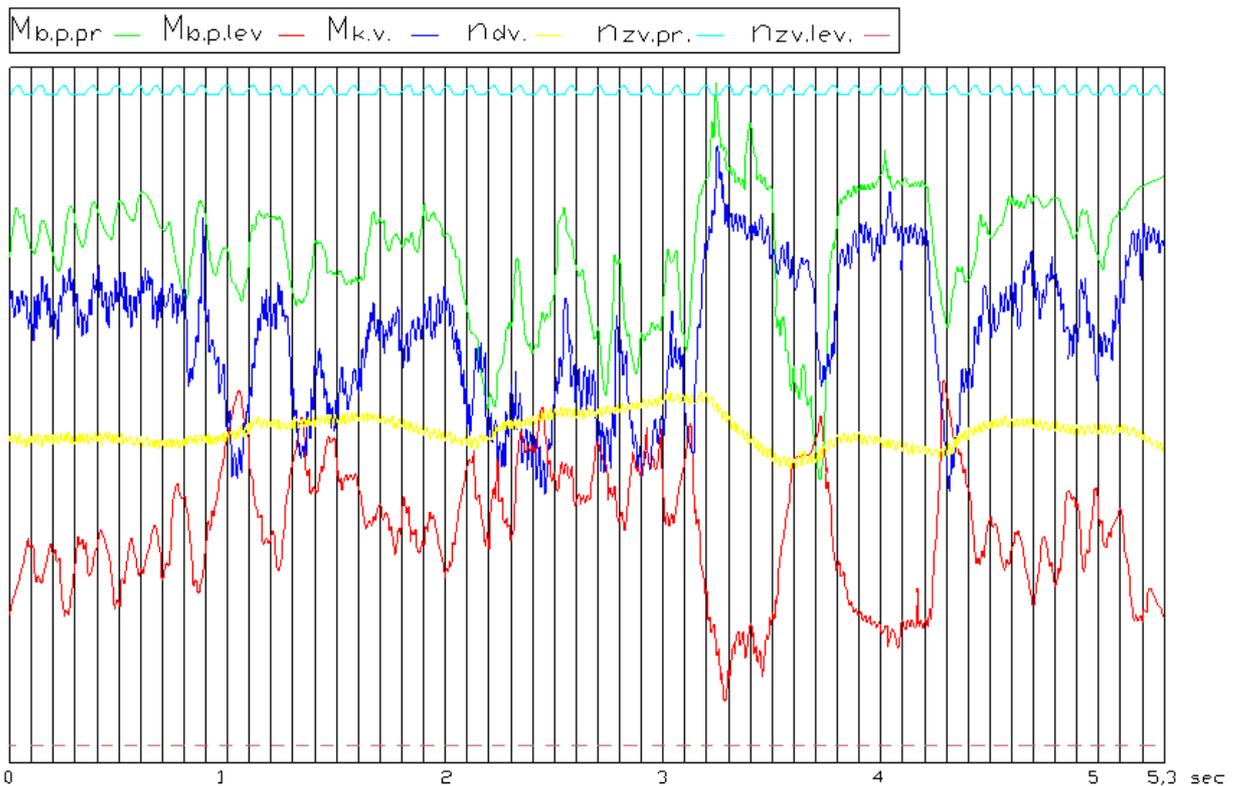


Рис. 5. Фрагмент результатов преодоления препятствия высотой 400 мм при  $V_{тр}=4,8$  км/час с пачкой сортиментов  $Q_{п}=12$  м<sup>3</sup>

сортиментов 12 м<sup>3</sup>. Из осциллограммы видно, что при переезде препятствия, максимальные пиковые моменты на карданном валу достигают величины  $M_{дин.к.в.}$

=1196 Нм, чему соответствуют коэффициенты динамичности  $K_{дин.} = 2,15$ .

В силу того, что на динамические моменты,

возникающие в трансмиссии при взаимодействии гусеничной лесозаготовительной машины с препятствием влияют большое количество неподдающихся учёту факторов (ориентация гусениц относительно препятствия, натяжение гусеничной ленты, и т.д.), при этом случайный характер имеют частоты и амплитуды моментов [4, 5, 12, 28, 32, 34]. Для анализа влияния на величины динамических нагрузок эксплуатационных факторов были построены гистограммы распределения крутящих моментов на валах силовой передачи при различных режимах преодоления препятствий.

Гистограммы на рис. 6 показывают, что существенное влияние на уровень динамических нагрузок при преодолении препятствий, оказывает скорость движения гусеничной лесозаготовительной машины.

Динамические нагрузки очень редко достигают значений, соответствующих расчетному по максимальному моменту двигателя при взаимодействии с препятствием на скорости  $V_{тр} = 2,3$  км/час.

Динамические нагрузки существенно возрастают и увеличивается частота их действия при преодолении препятствия на скорости движения  $V_{тр} = 4,6$  км/час и более. К примеру, в процессе преодоления пяти препятствий, крутящий момент на карданном валу  $M_{к.в. y} = 608$  Нм возникает более ста раз. Кривая распределения моментов на ведомых валах бортовых передач при преодолении препятствий гусеничной лесозаготовительной машиной с пачкой сортиментов  $12м^3$  представлена рис. 7.

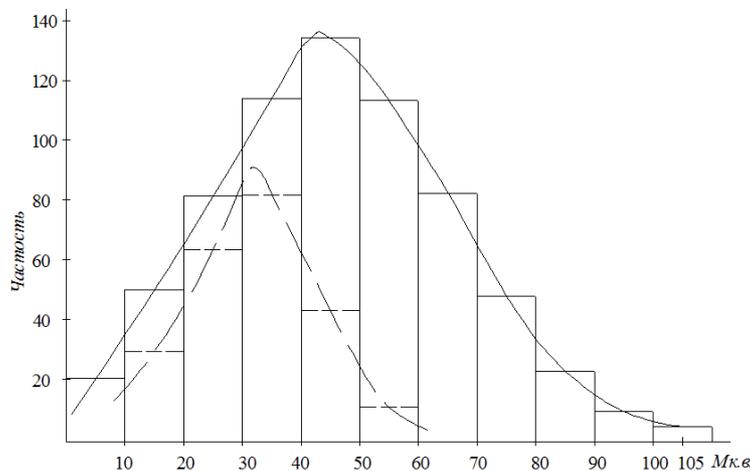


Рис. 6. Гистограмма распределения моментов на карданном валу при переезде препятствия  $h=400$ мм на 1-ой — — — ( $V_{тр}=2,3$  км/ч) и 4-ой — — — ( $V_{тр}=4,6$  км/ч) передачах ( $Qп=12м^3$ )

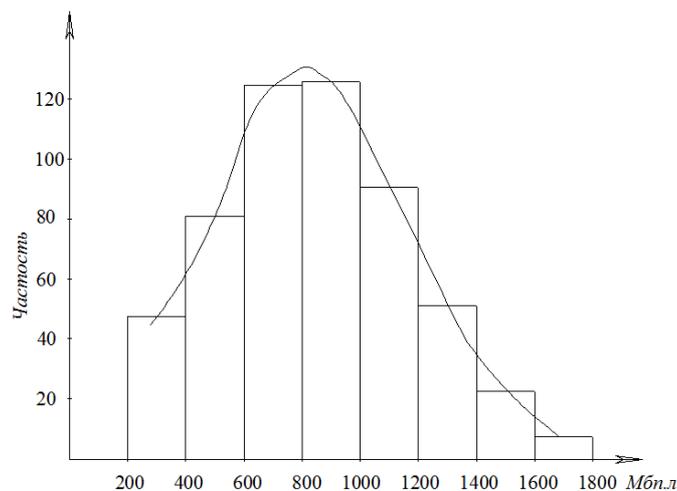


Рис. 7. Гистограмма распределения крутящих моментов на левом ведомом валу бортовой передачи при переезде препятствия высотой  $h=400$ мм с нагрузкой  $Qп=12м^3$ ;  $V_{тр}=4,8$ км/час

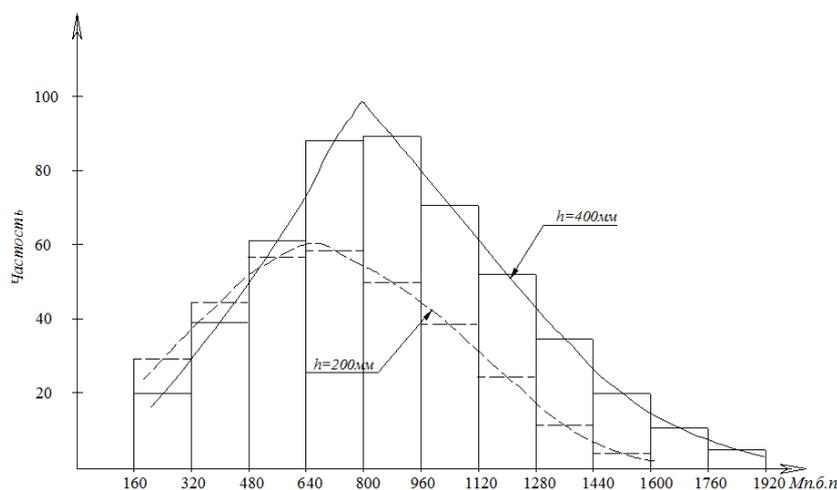


Рис. 8. Гистограмма распределения моментов на правой полуоси при переезде препятствий на I передаче

При этом не менее 20 раз встречаются динамические моменты, значения которых превосходят расчетные за время преодоления одного препятствия. Исследования показали, что на уровень дина-

мических нагрузок в трансмиссии меньше всего оказывает высота препятствия. Это видно из кривых распределения на рис. 8.

## Список литературы

1. 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.
2. Wong, J. Y. Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering [Текст] / J. Y. Wong, 2nd Edition. – 2009. – 488 p.
3. Редкозубов, А.В. Математическая модель поверхности движения лесных дорог [Текст] / А. В. Редкозубов, Д. В. Зезюлин, В. С. Макаров, В. В. Беляков // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2014. – № 4 (106). – С. 348-352.
4. Laughery, S. “Bekker’s Terramechanics Model for Off-Road Vehicle Research [Текст] / S. Laughery, G. Gerhart, and R. Goetz, 1990.
5. Ryu, H. S. “A compliant track link model for high-speed, highmobility tracked vehicles,” [Text] / H. S. Ryu, D. S. Bae, J. H. Choi, and a. a. Shabana Int. J. Numer. Methods Eng., 2000. – Vol. 48. – no. 10. – pp. 1481–1502
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. Макаров, В.С. Математическая модель поверхности дорожно-грунтовых оснований, насыщенных характерными повторяющимися дискретными препятствиями [Текст] / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, П.П. Зубов, У.Ш. Вахидов, А.В. Редкозубов, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – С. 119.
8. Spinelli, R. “Annual use, economic life and residual value of cut-to-length harvesting machines,” [Text] / R. Spinelli, N. Magagnotti, and G. Picchi J. For. Econ., vol. 17, no. 4, pp. 378–387, 2011.
9. McCullough M. K. and Haug E. J. “Dynamics of High Mobility Track Vehicles,” [Text] / M. K. McCullough and E. J. Haug, J. Mech. Transm. Autom. Des., 1986. – Vol. 108. – no. 2. – pp. 189–196
10. Клубничкин, В.Е. Моделирование движения гусеничных машин по лесным дорогам [Текст] / В. Е. Клубничкин, Е. Е. Клубничкин, В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, А.В. Редкозубов, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2016. – №1(112). – С. 171–176.
11. Редкозубов, А.В. Определение характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин [Текст] / В.С. Макаров, К.О. Гончаров, В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, А.В. Папунин, А.В. Редкозубов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 113.

12. Ryu, H. S. "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, and J. H. Choi . JSME International Journal Series C. – 2003. – Vol. 46, – no. 2. – pp. 540–549.
13. 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.
14. Наумов, В. Н. Тяговый расчет гусеничной машины [Текст] : учеб. пособие / В. Н. Наумов, Г. О. Котиев, К. Ю. Машков. – М., 2004.
15. Беляков, В.В. Полотно пути транспортно-технологических машин (справочные материалы к теории «машина-местность») [Текст] : учебник / под ред. В.В. Белякова, А.А. Куркина // Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. - Нижний Новгород, 2014. – 447 с.
16. Клубничкин, В. Е. Модель взаимодействия элементов опорной поверхности гусениц лесозаготовительной машины с грунтом [Текст] / В. Е. Клубничкин, Е. Е. Клубничкин, В. И. Запруднов, Л. Д. Бухтояров, Д. Ю. Дручинин, С. В. Малуков // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 4. – С. 191-200. – DOI: 10.12737/8472.
17. Беляков, В.В. Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин [Текст] / В. В. Беляков, А. М. Беляев, М. Е. Бушуева, У. Ш. Вахидов, К. О. Гончаров, Д. В. Зезюлин, В. Е. Колотилин, К. Я. Лелиовский, В. С. Макаров, А. В. Папунин, А. В. Тумасов, А. В. Федоренко // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 3 (100). – С. 145-174.
18. Ahlawat, R. On emulating engine and vehicle transient loads for transmission-in-the-loop experiments. [Text] / R. Ahlawat, S. Jiang, D. Medonza, M.H. Smith // Mechatronics. – 2012. – no. 22(7). – pp. 989-996.
19. Model to calculate loading of transmission elements at controlled curvilinear motion of the tracked timber harvesting machine [Text] / V. E. Klubnichkin, E. E. Klubnichkin, V. I. Zaprudnov, L. D. Bukhtoyarov, S. V. Malyukov, D. Yu. Druchinin // Лесотехнический журнал. – 2015. – Т. 5. – № 2 (18). – С. 166-176.
20. Беляков, В.В. Подвижность наземных транспортно-технологических машин [Текст] / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 4. – С. 72-77.
21. Макаров, В.С. Теоретическое обоснование выбора трансмиссии транспортно-технологического средства по условию обеспечения опорной проходимости [Текст] / В.С. Макаров, М.Е. Бушуева, В.В. Беляков // Известия Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. – 2008. – Т. 21. – С. 103-113.
22. Said Al-Milli. Track-terrain modelling and traversability prediction for tracked vehicles on soft terrain [Text] / Said Al-Milli, Lakmal D. Seneviratne, Kaspar Althoefer // Journal of Terramechanics, 2010. – Vol. 47. – Issue 3, pp. 151-160.
23. Wong, J. Y. Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering [Text] / J. Y. Wong, Second Edition. Elsevier, Oxford, England, 488 pages, 2010. ISBN: 978-0-7506-8561-0.
24. Беккер, М.Г. Введение в теорию систем местность-машина [Текст] / пер. с англ ; под ред. В. В. Гуськова. – М. : Машиностроение, 1973. – 520 с.
25. Soil compaction of various central European forest soils caused by traffic of forestry machines with various chassis [Text] / Allman M., Jankovský M., Messingerová V., Allmanová Z. & Ferenčík M. // Forest Systems, 2015. – 24(3) doi:10.5424/fs/2015243-07541
26. Шарипов, В.М. Проектирование механических, гидромеханических и гидрообъемных передач тракторов [Текст] / В. М. Шарипов. – М.: МГТУ «МАМИ», 2002. – 300 с.
27. Тескер, Е.И. Моделирование условий эксплуатации трансмиссий мобильных машин [Текст] / Е.И. Тескер, В.Ю. Тараненко, В.В. Елхов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2015. – Т. 10. – №4 (162). – С. 61-65.
28. Манкевич, А.В. Обеспечение регулирования плавности и безударного переключения передач в трансмиссиях гусеничных машин. [Текст] / А.В. Манкевич, А.П. Подлевских // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: Сборник научных трудов 4-ой Международной научно – практической конференции (4-5 июня 2014 года) / редкол.: Горохов А.А. (отв. Ред.); В 3-х томах, Том 1., Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2014. – 435 с.

29. Труханов, В.М. Трансмиссии гусеничных и колесных машин [Текст] / В.М. Труханов, В.Ф. Зубков, Ю.И. Крыхтин, В.Ф. Желтобрюхов. Москва, 2001.
30. Athanassiadis, D. "Fuel, Hydraulic Oil and Lubricant Consumption in Swedish Mechanized Harvesting Operations, [Text] / D. Athanassiadis, D. G. Lidestav, and I. Wästerlund. Int. J. For. Eng., – 1999. – Vol. 10. – no. 1. – pp. 59–66
31. Клубничкин, В.Е. Применение инновационных технологий при исследовании нагруженности трансмиссий гусеничных машин [Текст] / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, А.В. Редкозубов, В.В. Беляков // В сборнике: Беспилотные транспортные средства: проблемы и перспективы сборник материалов 94 международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров. Главный редактор С.М. Дмитриев. – 2016. – С. 183-190.
32. Rubinstein D. and Hitron R. "A detailed multi-body model for dynamic simulation of off-road tracked vehicles," [Text] / D. Rubinstein and R. Hitron // J. Terramechanics. – 2004. – Vol. 41. – no. 2–3. – pp. 163–173
33. Mattetti, M. Methodology for the realisation of accelerated structural tests on tractors. [Text] / M. Mattetti, G. Molari, & E. Sedoni // Biosystems Engineering, 2012. – 113(3). – pp. 266–271. <http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.008>
34. You, S., Leser, C., & Young, E. Tools for Integration of Analysis and Testing. [Text] / S You, S., Leser, C., & Young, E. // AE Technical Paper, 2003-01-1606, 2003. – pp. 1–12,

### References

1. 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 TRAN-missions tracked forestry machines, depending on the external conditions DWI-ment. Dis. cand. tehn. Science]. Moscow, 2012, 18 p. (In Russian).
2. Wong, J.Y. *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering*, Second Edition. Elsevier, Oxford, England, 2009. 488 p.,
3. Redkozubov A.V., Zezjulin D.V., Makarov V.S., Beljakov V.V. *Matematicheskaja model' poverhnosti dvizhenija lesnyh dorog* [A mathematical model of motion of the surface of forest roads] *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*. [Proceedings of the NSTU them. RE Alekseeva.] 2014, no. 4 (106), pp. 348-352. (In Russian)
4. Laughery, S. Gerhart G., and R. Goetz, "Bekker's Terramechanics Model for Off-Road Vehicle Research, 1990.
5. Ryu H. S., Bae D. S., Choi J. H., and Shabana A. A. "A compliant track link model for high-speed, highmobility tracked vehicles," *Int. J. Numer. Methods Eng.*, 2000, Vol. 48, no. 10, pp. 1481–1502
6. Klubnichkin V.E., Klubnichkin E.E., Buhtojarov L.D. *Issledovanie kinematiki i dinamiki dvizhitelja gusenichnoj lesozagotovitel'noj mashiny* [Study kinematics and dynamics of the forest machine mover track] *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2014, Vol. 4, no. 4 (16), pp. 179-190. (In Russian)
7. Makarov V.S., Zezjulin D.V., Beljaev A.M., Zubov P.P., Vahidov U.Sh., Redkozubov A.V., Beljakov V.V. *Matematicheskaja model' poverhnosti dorozhno-gruntovyh osnovanij, nasyshennyh harakternymi povtorjajushhimisja diskretnymi prepjatstvijami* [Mathematical model of the road surface-ground bases, saturated characterized by recurrent discrete obstacles] *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. [Modern problems of science and education] 2013, no. 5, pp. 119. (In Russian)
8. Spinelli R., Magagnotti N., and Picchi G. "Annual use, economic life and residual value of cut-to-length harvesting machines," *J. For. Econ.*, 2011, Vol. 17, no. 4, pp. 378–387
9. McCullough M. K. and Haug E. J. "Dynamics of High Mobility Track Vehicles," *J. Mech. Transm. Autom. Des.*, 1986, Vol. 108, no. 2, pp. 189–196,
10. Klubnichkin V.E., Klubnichkin E. E., Makarov V.S., Zezjulin D.V., Redkozubov A.V., Beljakov V.V. *Modelirovanie dvizhenija gusenichnyh mashin po lesnym dorogam* [Modeling of motion of tracked vehicles on forest roads] *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*. [Proceedings of NSTU them. R. E. Alekseev] 2016, no. 1(112), pp. 171–176. (In Russian)
11. Redkozubov A.V., Makarov V.S., Goncharov K.O., Beljakov V.V., Zezjulin D.V., Beljaev A.M., Papunin A.V. *Opredelenie harakteristik mikroprofilja dorog, prednaznachennyh dlja dvizhenija transportno-tehnologicheskij mashin* [Characterization of white-roads designed for the movement of transport and technological machines] *Sovremennye problemy nauki*

*i obrazovanija*. [Modern problems of science and education] 2012, no. 5, pp. 113.. (In Russian)

12. Ryu H. S., Huh K. S., Bae D. S., and Choi J. H. "Development of a Multibody Dynamics Simulation Tool for Tracked Vehicles (Part I, Efficient Contact and Nonlinear Dynamic Modeling)," *JSME International Journal Series C*, 2003. – Vol. 46. – no. 2. – pp. 540–549.

13. Klubnichkin V.E., Klubnichkin E. E., Buhtojarov L.D. *Vybor pokazatelya ocenki vlijanija vneshnih uslovij dvizhenija na raschet nagruzhenosti jelementov transmissii GLZM* [Choice of indicator of assessment of the influence of external driving conditions for calculating the load of the transmission elements GLSM] *Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika*. [Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice] 2014, Vol. 2, no. 5-4 (10-4), pp. 134-138. (In Russian)

14. Naumov V.N., Kotiev G.O., Mashkov K.Ju. *Tjagovyj raschet gusenichnoj mashiny* [Traction calculation tracked vehicle]. Moscow, 2004. (In Russian)

15. Belyakov V.V., Kurkina A.A. *Polotno puti transportno-tehnologicheskikh mashin (spravochnye materialy k teorii «mashina-mestnost'»)* [Tracks of transport and technological machines (reference materials on the theory of "machine-area")] Nizhniy Novgorod, 2014, 447 p. (In Russian)

16. Klubnichkin V.E., Klubnichkin E.E., Zaprudnov V.I., Buhtojarov L.D., Druchinin D.Ju., Maljukov S.V. *Model' vzaimodejstvija jelementov opornoj poverhnosti gusenich lesozagotovitel'noj mashiny s gruntom* [The model of interaction of elements supporting surface forestry machine tracks with the ground]. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2014, Vol. 4, no. 4 (16), pp. 191-200. (In Russian)

17. Belyakov V.V., Belyaev A.M., Bushueva M.E., Vahidov U.Sh., Goncharov K.O., Zezulin D.V., Kolotilin V.E., Leliovskij K.Ja., Makarov V.S., Papunin A.V., Tumasov A.V., Fedorenko A.V. *Koncepcija podvizhnosti nazemnyh transportno-tehnologicheskikh mashin* [Concept of terrestrial mobility of transport and technological machines] *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva*. [Proceedings of the NSTU them. RE Alekseeva.] 2013, no. 3 (100), pp. 145-174. (In Russian)

18. Ahlawat, R., Jiang, S., Medonza, D., Smith, M.H., On emulating engine and vehicle transient loads for transmission-in-the-loop experiments. *Mechatronics 2012*, 22(7), pp. 989-996.

19. Klubnichkin V.E., Klubnichkin E.E., Zaprudnov V.I., Buhtojarov L.D., Maljukov S.V., Druchinin D.Ju. Model to calculate loading of transmission elements at controlled curvilinear motion of the tracked timber harvesting machine. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2015, Vol. 5, no. 2 (18), pp. 166-176. (In Russian)

20. Беляков, В.В. Подвижность наземных транспортно-технологических машин [Текст] / В.В. Беляков, Д.В. Зеюлин, В.Е. Колотилин, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 4. – С. 72-77.

21. Makarov V.S., Bushueva M.E., Belyakov V.V. *Teoreticheskoe obosnovanie vybora transmissii transportno-tehnologicheskogo sredstva po usloviju obespechenija opornoj prohodimosti* [Theoretical study of the choice of transmission transport-technological means for ensuring the support of patency] *Izvestija Akademii inzhenernyh nauk im. A.M. Prokhorova*. [news of Academy of engineering Sciences them. A. M. Prokhorov] 2008, Vol. 21, pp. 103-113. (In Russian)

22. 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.

23. Wong J.Y. *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering*. Second Edition. Elsevier, Oxford, England, 488 pages, 2010

24. Bekker M.G. *Vvedenie v teoriju sistem mestnost'-mashina* [Introduction to systems theory-terrain vehicle]. Moscow, 1973, 520 p. (In Russian)

25. Allman M., Jankovský, M., Messingerová, V., Allmanová, Z., & Ferenčík, M. (2015). Soil compaction of various central european forest soils caused by traffic of forestry machines with various chassis. *Forest Systems*, 24(3) doi:10.5424/fs/2015243-07541

26. Шарипов, В.М. Проектирование механических, гидромеханических и гидрообъемных передач тракторов [Текст] / В. М. Шарипов. – М.: МГТУ «МАМИ», 2002. – 300 с.

27. Tesker E.I., Taranenko V.Ju., Elhov V.V. *Modelirovanie uslovij jekspluatacii transmissij mobil'nyh mashin* [Modeling of the operating conditions of transmissions of mobile machines] *Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo*

*go universiteta*. [News of Volgograd state technical University.] 2015, Vol. 10, no. 4 (162), pp. 61-65. (In Russian)

28. Truhanov V.M., Zubkov V.F., Kryhtin Ju.I., Zheltobrjухov V.F. *Transmissii gusenichnyh i kolesnyh mashin* [Transmission of tracked and wheeled vehicles]. Moscow, 2001. (In Russian)

29. Манкевич, А.В. Обеспечение регулирования плавности и безударного переключения передач в трансмиссиях гусеничных машин. [Текст] / А.В. Манкевич, А.П. Подлевских // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: Сборник научных трудов 4-ой Международной научно – практической конференции (4-5 июня 2014 года) / редкол.: Горохов А.А. (отв. Ред.); В 3-х томах, Том 1., Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2014. – 435 с.

30. Athanassiadis D., Lidestav D. G., and Wästerlund I., “Fuel, Hydraulic Oil and Lubricant Consumption in Swedish Mechanized Harvesting Operations, 1996,” *Int. J. For. Eng.*, 1999, Vol. 10, no. 1, pp. 59–66

31. Klubnichkin V.E., Klubnichkin E. E., Makarov V.S., Zezjulín D.V., Redkozubov A.V., Beljakov V.V. *Primenenie innovatsionnyh tehnologij pri issledovanii nagruzhennosti transmissij gusenichnyh mashin* [Use of innovative technologies in the study of load transmission of tracked vehicles] *V sbornike: Bepilotnye transportnye sredstva: problemy i perspektivy sbornik materialov 94 mezhduнародной nauchno-tehnicheskoy konferencii Associacii avtomobil'nyh inzhenerov. Glavnyj redaktor S.M. Dmitriev*. [collection: Unmanned vehicle: problems and perspectives a collection of materials 94 international scientific and technical conference of the Association of automotive engineers. Chief editor S. M. Dmitriev.] 2016, pp. 183-190. (In Russian)

32. Rubinstein D. and Hitron R. “A detailed multi-body model for dynamic simulation of off-road tracked vehicles,” *J. Terramechanics*, 2004, Vol. 41, no. 2–3, pp. 163–173.

33. Mattetti, M., Molari, G., & Sedoni, E. Methodology for the realisation of accelerated structural tests on tractors. *Biosystems Engineering*, 2012, 113(3), pp. 266–271. <http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.008>,

34. You, S., Leser, C., & Young, E. Tools for Integration of Analysis and Testing. *SAE Technical Paper*, 2003-01-1606, 2003, 1–12

### Сведения об авторах

*Клубничкин Владислав Евгеньевич* – доцент кафедры колесных и гусеничных машин, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», кандидат технических наук, доцент, г. Мытищи, Российская Федерация; e-mail: [vkclubnichkin@mgul.ac.ru](mailto:vkclubnichkin@mgul.ac.ru).

*Клубничкин Евгений Евгеньевич* – доцент кафедры колесных и гусеничных машин, Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», кандидат технических наук, доцент, г. Мытищи, Российская Федерация; e-mail: [klubnichkin@mgul.ac.ru](mailto:klubnichkin@mgul.ac.ru).

*Бухтояров Леонид Дмитриевич* – заведующий кафедрой лесной промышленности, метрологии, стандартизации и сертификации, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: [vgltamlx@yandex.ru](mailto:vgltamlx@yandex.ru).

*Малюков Сергей Владимирович* – старший преподаватель кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: [maljukov-sergejj@rambler.ru](mailto:maljukov-sergejj@rambler.ru).

*Дручинин Денис Юрьевич* – старший преподаватель кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат технических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: [druchinin.denis@rambler.ru](mailto:druchinin.denis@rambler.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: [vkclubnichkin@mgul.ac.ru](mailto:vkclubnichkin@mgul.ac.ru).

*Klubnichkin Eugeny 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](mailto:klubnichkin@mgul.ac.ru).

*Bukhtoyarov Leonid Dmitrievich* – Head of Department of Forest Industries, metrology, standardization and certification, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: vglta-mlx@yandex.ru.

*Maljukov Sergey Vladimirovich* – Senior Lecturer Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Voronezh, Russian Federation; e-mail: maljukov-sergejj@rambler.ru.

*Druchinin Denis Yuryevich* – Senior Lecturer Department of Forestry Mechanization and Machine Design, FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», PhD in Engineering, Voronezh, Russian Federation; e-mail: druchinin.denis@rambler.ru.

DOI: 12737/25211

УДК 630\*232. 337

### СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ МАЛОГАБАРИТНОГО МОБИЛЬНОГО СИЛОВОГО МОДУЛЯ

доктор технических наук, профессор **Д. Г. Мясищев**

ФГАОУ ВО Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Архангельск, Российская Федерация

В настоящее время в российском лесном секторе экономики не утихают споры и размышления о стратегии и тактике, как лесозаготовительной сферы, так и областях лесовосстановления и лесовозобновления. Это объясняется, прежде всего, существенными противоречиями между крупными лесозаготовительными предприятиями и предприятиями мелкого лесозаготовительного бизнеса. Причем данные сложности имеют свои корни в существенной разнице по поводу технической оснащённости указанных производителей древесины. За основу методики данного исследования взят аналитический анализ многолетних наработок АЛТИ (Архангельский лесотехнический институт) – АГТУ (Архангельский государственный технический университет) – САФУ (Северный (Арктический) федеральный университет) (г. Архангельск) в области механизации лесохозяйственных работ. В течение длительного времени, с середины 80-х годов прошлого века в указанных организациях осуществлялись комплексные исследования малогабаритной лесохозяйственной техники – мотоблоков и минитракторов с технологическими шлейфами машин и орудий. При этом использовался весь инструментарий научно – исследовательских работ: ментальные эвристические методы; методы математического моделирования, методы оптимизации и исследовательские испытания. Работа осуществлялась в тесном контакте с машиностроительными предприятиями региона. Выводами работы следует считать конкретные макетные, экспериментальные и опытные образцы лесохозяйственных машин и орудий на базе шасси малогабаритного мобильного модуля. По результатам многолетней исследовательской деятельности получен патент на изобретение, написаны десятки статей, осуществлены многочисленные научные доклады на исследовательских конференциях. Учебное заведение активно тиражировало и распространяло научно-техническую информацию по создаваемым объектам, на этой базе готовились инженеры и специалисты исследователи.

**Ключевые слова:** лесохозяйственные работы, мобильный модуль, технологический шлейф.