

УДК 630*36

В. А. Коробкин¹, С. П. Мохов², Д. А. Кононович², С. Е. Арико²¹ОАО «Минский тракторный завод»²Белорусский государственный технологический университет**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МАШИНЫ ДЛЯ СБОРА ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ**

В рамках выполнения совместной научно-исследовательской работы БГТУ и ОАО «Минский тракторный завод» разработан опытный образец машины для сбора лесосечных отходов. Для определения соответствия технико-эксплуатационных показателей опытного образца требованиям технического задания, проекта технических условий и требованиям стандартов, технической и технологической документации были проведены предварительные и исследовательские испытания. Во время их проведения были установлены мощностные параметры, необходимые для выполнения отдельных операций технологического цикла в зависимости от количества образующихся лесосечных отходов, выполнена оценка динамической нагруженности шасси и технологического оборудования машины для сбора лесосечных отходов, а также определен необходимый объем доработки опытного образца и корректировки конструкторской документации. В процессе проведения исследовательских испытаний также были найдены величины реакций под колесами базового трактора в зависимости от расположения технологического оборудования, определены усилия, возникающие в элементах технологического оборудования при осуществлении очистки лесосеки от лесосечных отходов, а также при преодолении единичной неровности в виде пня, в зависимости от различного его диаметра и высоты. При проведении экспериментальных исследований использовалось высокоточное измерительное оборудование.

Ключевые слова: машина, технологическое оборудование, испытания, измерительное оборудование, лесосечные отходы, лесосека, пень.

V. A. Korobkin¹, S. P. Mokhov², D. A. Kononovich², S. Ye. Ariko²¹OJSC “Minsk Tractor Works”²Belarusian State Technological University**RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES
MACHINE FOR COLLECTION OF FOREST RESIDUES**

Within the framework of the joint research work of the Belarusian State Technical University and OJSC “Minsk Tractor Works”, a prototype of a machine for harvesting logging was developed. Preliminary and research tests were carried out to determine the compliance of the technical and operational parameters of the prototype with the requirements of the terms of reference, the draft technical conditions and the requirements of standards, technical and technological documentation. During their holding, the power parameters necessary for performing certain operations of the technological cycle were established, depending on the amount of logging waste generated, the dynamic loading of the chassis and the technological equipment of the machine for collection of logging wastes was assessed, and the necessary amount of modification of the prototype and adjustment of the design documentation. In the process of carrying out the research tests, the reaction values under the wheels of the base tractor were also found depending on the location of the process equipment, the forces arising in the elements of the process equipment during cleaning of the cutting area from the logging wastes, as well as in overcoming the unevenness in the form of a stump, depending on its various diameter and height. Precision measuring equipment was used in conducting the experimental studies.

Key words: machine, technological equipment, testing, testing equipment, forest residues, cutting area, stump.

Введение. Одно из основных направлений развития лесной отрасли республики связано с созданием и внедрением перспективных и высокопроизводительных лесных машин отечественного производства на предприятиях Министерства лесного хозяйства. При этом повышение эффективности заготовки древесины достигается путем механизации лесозаготови-

тельных работ [1, 2, 3]. В этой связи, в рамках государственной научно-технической программы на 2016–2017 гг. ОАО «Минский тракторный завод» совместно с БГТУ разработали опытный образец машины для сбора лесосечных отходов, позволяющий осуществлять очистку лесосек от лесосечных отходов с предварительным их сбором в валы. С целью оценки

соответствия параметров машины и технологического оборудования требованиям нормативно-технической документации, определения эксплуатационных свойств, а также выявления узлов и агрегатов, требующих доработки, были проведены предварительные и исследовательские испытания [4, 5].

Основная часть. Перед проведением предварительных и исследовательских испытаний машины для сбора лесосечных отходов была разработана программа-методика с учетом действующих нормативных документов и имеющегося высокоточного измерительного оборудования. Испытания машины проводились в природно-производственных условиях Дивинского опытно-производственного и Петровичского лесхозов ГОЛХУ «Кобринский опытный лесхоз». Машина для сбора лесосечных отходов состоит из базового трактора Л82.2 и устанавливаемого специального технологического оборудования (рис. 1).



Рис. 1. Машина для сбора лесосечных отходов

Технологическое оборудование с целью повышения агрегируемости может устанавливаться на базовый трактор различными способами. Первый способ связан с установкой на передний брус трактора подъемного механизма (навесной системы), второй предусматривает установку технологического оборудования на заднюю гидравлическую навеску трактора без подъемного механизма и третий – установку технологического оборудования на толкатель трелевочных тракторов ТТР-401М и ТТР-411 [6]. Для монтажа оборудования на толкатель служат два переходных кронштейна, один из которых при помощи болтового соединения крепится неподвижно посередине к верхней кромке толкателя, а другой охватывает нож толкателя и фиксируется на нем при помощи поджимных болтов. Крепление технологического оборудования к переходным кронштейнам осуществляется при помощи

пальцев и проушин, приваренных к раме. Через эти же проушины оборудование устанавливается на тяги задней гидравлической навески базового трактора. Для установки оборудования на опорную поверхность после его демонтажа имеются две опоры, закрепленные на раме оборудования.

Конструкция технологического оборудования для сбора лесосечных отходов представлена на рис. 2.

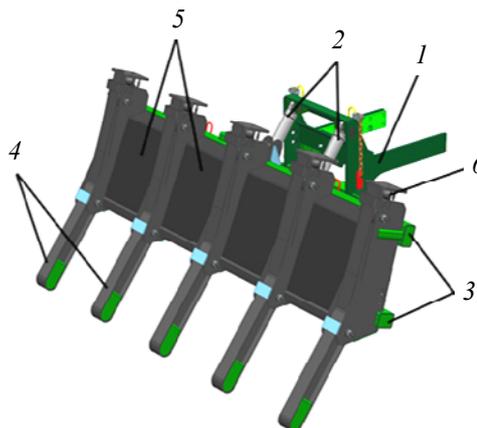


Рис. 2. Технологическое оборудование для сбора лесосечных отходов:

- 1 – подъемный механизм (навесная система);
- 2 – гидроцилиндры; 3 – рама оборудования;
- 4 – рабочий орган (зуб); 5 – защита; 6 – демпфер

Технические характеристики технологического оборудования представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики технологического оборудования для сбора лесосечных отходов

Параметр	Значение
Масса, кг	400
Ширина полосы, убираемой за один проход, мм	2400
Число подвижных рабочих элементов, шт.	5
Высота преодолеваемых препятствий (пней), мм	250
Длина/ширина/высота, мм	930/2480/1170

В процессе проведения экспериментальных исследований регистрация параметров проводилась специальной измерительной аппаратурой в составе восьмиканального многофункционального измерительного усилителя Spider 8 и переносного персонального компьютера (рис. 3, а). Определение силовых параметров выполнялось с помощью тензамет-

рического датчика силы U9B производства НВМ (рис. 3, в) и устройств деформаций УД-1 (рис. 3, б). Питание измерительного оборудования осуществлялось от аккумуляторной батареи фирмы Zubr Standart (60Ah) [7, 8, 9].

Программное обеспечение Catman позволяло осуществлять настройку, производить тарировку и проверку работоспособности датчиков. Запись измеряемых параметров производилась на жесткий диск компьютера и сопровождалась графической визуализацией процесса. Для каждого канала была установлена частота опроса датчиков 50 Гц. В результате измерений получены массивы значений измеряемых параметров в цифровом формате, соответствующие реальному времени с дискретностью 0,02 с. Регистрация определяемого параметра производилась тензометрическим методом с относительной погрешностью 0,5%. Обработка полученных массивов данных выполнялась методами математической статистики [10, 11].



Рис. 3. Измерительное оборудование:
а – многофункциональное измерительное оборудование Spider 8, переносной персональный компьютер с аккумулятором и адаптером;
б – датчик силы U9B; в – устройство деформации УД-1

Монтаж датчика силы U9B осуществлялся через предварительно изготовленный специальный кронштейн, который позволял сохранять первоначальные размеры и натяжение пружины (рис. 3, б).

Установка технологического оборудования для сбора лесосечных отходов различными способами приводит к перераспределению реакций под колесами базового трактора, что в свою очередь влияет на тягово-сцепные свойства и проходимость [12]. В связи с этим, при проведении экспериментальных исследований были рассмотрены различные варианты установки технологического оборудования для сбора лесосечных отходов на базовый трактор: на переднем бруске трактора (рис. 4, а) и на заднем навесном устройстве (рис. 4, б). Перед установкой технологического оборудования для сбора лесосечных отходов определялись реакции под колесами базового трактора (рис. 3, в).



Рис. 4. Установка технологического оборудования для сбора лесосечных отходов:
а – установка технологического оборудования на переднем бруске трактора;
б – установка оборудования на задней навеске;
в – определение реакций под колесами базового трактора

В результате определения величин реакций под колесами машины для сбора лесосечных отходов установлено, что в базовом тракторе Л82.2 (без технологического оборудования) на переднюю ось приходится 17,5 кН, а на заднюю ось – 31 кН. При установке технологического оборудования для сбора лесосечных отходов на передний брус трактора величина реакции под

передней осью возрастает до 25 кН, а задней оси снижается до 27 кН. В случае установки технологического оборудования на задней навесной системе трактора 82.1 (масса без балласта которого составляет 39 кН) величина реакции под задней осью составит 33 кН, а под передней осью – 14,4 кН.

В рабочем положении технологического оборудования для сбора лесосечных отходов реакции под колесами трактора будут иметь другие величины. Так, технологическое оборудование, установленное на задней гидравлической навеске трактора 82.1, при переводе в рабочее положение на жесткое основание будет способствовать увеличению величины реакции (догрузка) под передней осью до 23,2 кН, а на задней оси будет осуществляться снижение нагрузки (разгрузка) до 25,2 кН (рис. 5).

В процессе исследования перераспределения величин реакций под колесами базового трактора и эффективности очистки лесосеки в зависимости от различной компоновки технологического оборудования установлено, что при использовании оборудования на задней навеске трактора производительность сбора лесосечных отходов в валы снижается на протяжении рабочей смены. Это связано с утомляемостью оператора, так как из-за отсутствия реверсивного поста управления в базовом тракторе Л82.2 оператор вынужден контролировать

процесс сбора лесосечных отходов при движении трактора задним ходом в повернутом положении. Наиболее рационально устанавливать технологическое оборудование на передний брус трактора Л82.2. Это основывается на равномерном распределении реакций под колесами базового трактора, а также позволяет снизить утомляемость оператора, повысить удобство управления оборудованием, что в конечном счете приведет к увеличению производительности.

Установлено, что при осуществлении операции сбора лесосечных отходов наиболее динамически нагруженным процессом будет являться преодоление препятствий в виде пней, камней, корней, неровностей волока. Основным элементом для снижения таких нагрузок и возврата рабочего элемента (зуба) в конструкции для сбора лесосечных отходов служит пружина [13, 14, 15].

Конструкция технологического оборудования предусматривает возможность предварительного натяга пружины, необходимого для устранения зазоров между элементами, влияющих на правильную и эффективную работу оборудования. Для определения величин усилий, возникающих в пружине при очистке лесосеки от лесосечных отходов, устанавливался датчик силы U9B и осуществлялась регистрация данного параметра (рис. 6).

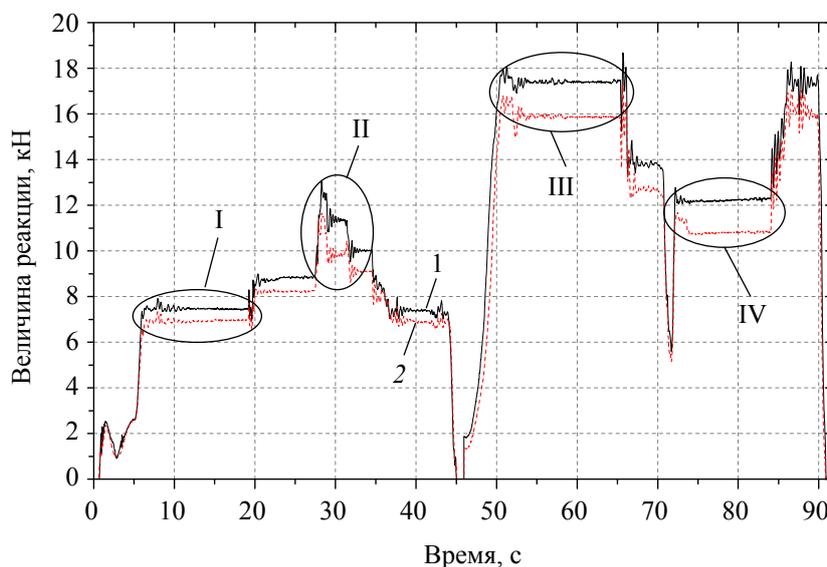


Рис. 5. Перераспределение реакций между колесами базового трактора в транспортном и рабочем положении технологического оборудования:

- 1 – правый борт; 2 – левый борт;
- I – величины реакций под колесами передней оси;
- II – величины реакций под колесами передней оси с опущенным сзади технологическим оборудованием;
- III – реакции под колесами задней оси;
- IV – величины реакций под колесами задней оси с опущенным сзади технологическим оборудованием



а



б

Рис. 6. Очистка лесосеки с различными вариантами установки технологического оборудования:

- а – технологическое оборудование на задней навеске базового трактора;
- б – технологическое оборудование на переднем бруске базового трактора

При формировании вала лесосечных отходов на опытном участке, согласно рис. 7, пиковые нагрузки возникали на протяжении всей операции технологического цикла с максимальной нагрузкой в 0,77 кН, осуществлявшейся при предварительном натяжении пружины в 0,1 кН. Диапазон предварительного натяжения пружины составил 0,1–0,3 кН, с шагом 0,1 кН.

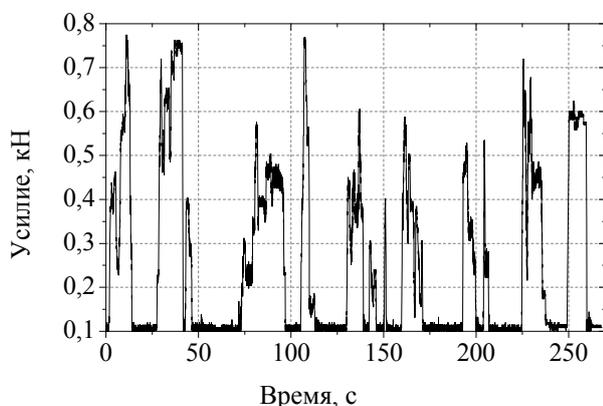


Рис. 7. Усилия, возникающие в пружине при формировании вала на опытном участке с предварительным натяжением пружины в 0,1 кН

Процесс преодоления единичной неровности в виде пня представлен на рис. 8. При этом варьируемыми параметрами являлись диаметр и высота неровности, диапазон изменения которых приведен в табл. 2.



Рис. 8. Преодоление единичной неровности

Таблица 2

Варьируемые параметры при преодолении единичной неровности

Варьируемый параметр	Диапазон
Диаметр неровности (пня), м	0,1–0,4
Высота неровности (пня), м	0,05–0,2

Из графика на рис. 9 видно, что при высоте пня 0,2 м и диаметре 0,15 м с предварительным натяжением 0,2 кН величина возникающих усилий в пружине при преодолении единичной неровности в виде пня достигает до 0,93 кН.

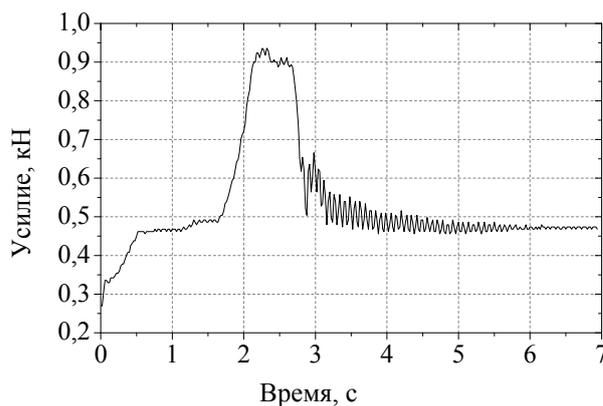


Рис. 9. Усилие, возникающее в пружине при преодолении препятствия в виде пня

Преодоление препятствия рабочим элементом зависит от подъемной силы, величина которой в свою очередь зависит от угла установки технологического оборудования относительно вертикальной оси (угла атаки) и опорной поверхности. Опорная поверхность в процессе работы всегда изменяется в зависи-

мости от рельефа местности. Угол атаки конструктивно регулируется специальными стяжками в процессе установки технологического оборудования на базовый трактор и в процессе эксплуатации не изменяется. При выполнении технологических операций на нижний направляющий ролик зуба действует подъемная сила, создающая изгибающий момент на пальце ролика, что в процессе эксплуатации приводит к изгибанию пальца ролика и подклиниванию зуба.

Заключение. Экспериментальные исследования опытного образца машины для сбора лесосечных отходов позволили установить величины перераспределения реакций под колесами базового трактора при различных вариантах агрегатирования технологического оборудования. Для последующей оценки разработанной математической модели определе-

ны усилия, возникающие в пружине технологического оборудования при очистке лесосек, преодолении единичной неровности в зависимости от высоты и диаметра пня, а также в зависимости от углов установки технологического оборудования. При этом, учитывая различные варианты навески оборудования, произведен анализ эффективности работы машины для сбора лесосечных отходов. Исследования показали, что использование данного оборудования на передней навеске обеспечивает увеличение производительности работ на 10–15%, за счет снижения утомляемости оператора и повышения удобства управления технологическим оборудованием. На основании проведенных предварительных испытаний опытных образцов машин для сбора лесосечных отходов даны рекомендации по корректировке конструкторской документации.

Литература

1. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
2. Никишов В. Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1985. 264 с.
3. Кочегаров В. Г., Бит Ю. А., Меньшиков В. Н. Технология и машины лесосечных работ. М.: Лесная пром-сть, 1990. 392 с.
4. Тракторы промышленные. Методы испытаний: ГОСТ 23734-98. Введ. 07.01.2000. М.: Изд-во стандартов, 2000. 19 с.
5. Машины землеройные. Методы измерений масс машин в целом, рабочего оборудования и составных частей: ГОСТ ISO 6016-2014. Введ. 01.01.2016. М.: Госстандарт: БелГИСС, 2015. 9 с.
6. Перспективный комплекс машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов / Мохов С. П. [и др.] // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 178–181.
7. Испытания погрузочно-транспортной машины 4К4 повышенной грузоподъемности / Мохов С. П. [и др.] // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 63–66.
8. Пищов С. Н. Результаты экспериментальных исследований устойчивости автомобиля МАЗ повышенной проходимости // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 47–48.
9. Результаты испытаний харвестера МЛХ-414 для рубок промежуточного пользования / Арико С. Е. [и др.] // Механика технологических процессов в лесном комплексе: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Воронеж, 25–27 марта 2014 г. Воронеж, 2014. С. 179–183.
10. Арико С. Е. Обоснование параметров валочно-сучкорезно-раскряжевой машины для рубок промежуточного пользования: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2012. 225 с.
11. Оценка тягово-сцепных свойств погрузочно-транспортной машины в реальных условиях эксплуатации / Коробкин В. А. [и др.] // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 36–39.
12. Машины землеройные. Методы определения размеров машин с рабочим оборудованием: ГОСТ 27256-87. Введ. 01.01.1988. М.: Изд-во стандартов, 1987. 9 с.
13. Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Методы оценки приспособленности к техническому обслуживанию: ГОСТ 26026-83. Введ. 01.01.1984. М.: Изд-во стандартов, 1984. 12 с.
14. Машины сельскохозяйственные. Погрузчики. Методы испытаний: ГОСТ 28286-89. Введ. 30.06.1990. М.: Изд-во стандартов, 1990. 14 с.
15. Симанович В. А., Кононович Д. А., Исаченков В. С. Влияние динамической нагруженности на эксплуатационные показатели колесных лесных машин // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 54–57.

References

1. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.

2. Nikishov V. D. *Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny* [Comprehensive use of wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 264 p.
3. Kochegarov V. G., Bit Yu. A., Men'shikov V. N. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines logging activities]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 392 p.
4. GOST 23734-98. Industrial tractors and bulldozers. Test methods. Moscow, Standartinform Publ., 2000, 19 p. (In Russian).
5. GOST ISO 6016-2014. Earth-moving machinery. Methods of measuring the masses of whole machines, their equipment and components. Minsk, Gosstandart Publ., 2015. 9 p. (In Russian).
6. Mokhov S. P., Korobkin V. A., Golyakevich S. A., Kononovich D. A. Perspective complex machines for collection and transportation logging waste. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniya)* [Materials of the International Scientific and Technical Conference (Logging industry: problems and solutions)]. Minsk, 2017, pp. 178–181 (In Russian).
7. Mokhov S. P., Ariko S. Ye., Simanovich V. A., Asmolovskiy M. K., Kononovich D. A. Testing of forwarder 4WD with increased load capacity. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 63–66 (In Russian).
8. Pishchov S. N., Ariko S. Ye., Mokhov S. P., Man'ko A. V. The results of experimental studies of the stability of the MAZ of high cross-country capability. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 47–48 (In Russian).
9. Ariko S. Ye., Simanovich V. A., Mokhov S. P., Pishchov S. N. Test results harvesters MLH-414 intermediate felling. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii ("Mekhanika tekhnologicheskikh protsessov v lesnom komplekse")* [Materials of the International Scientific and Technical Conference ("Mechanics of technological processes in a forestry"), Voronezh, 2014, pp. 179–183 (In Russian).
10. Ariko S. Ye. *Obosnovanie parametrov valochno-suchkorezno-raskryzhevochnoy mashiny dlya rubok promezhutochnogo pol'zovaniya: Dis. kand. tekhn. nauk* [Substantiation of felling-delimiting-bucking machine characteristics for intermediate forest exploitation cutting. Cand. Diss.]. Minsk, 2012. 225 p.
11. Korobkin V. A., Mokhov S. P., Ariko S. Ye., Golyakevich S. A. Assessing the traction characteristics of loading and transport machines in real conditions of exploitation. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 36–39 (In Russian).
12. GOST 27256-87. Earth-moving machinery. Methods of measuring the dimensions of whole machines with their equipment. Moscow, Standartinform Publ., 1987. 9 p. (In Russian).
13. GOST 26026-83. Agricultural and forestry machines and tractors. Evaluation methods of fitness to technical servicing. Moscow, Standartinform Publ., 1984. 10 p. (In Russian).
14. GOST 28286-89. Agricultural machinery. Loaders. Methods of testing. Moscow, Standartinform Publ., 1990. 14 p.
15. Simanovich V. A., Kononovich D. A., Isachenkov V. S. Influence on dynamic loading performance wheel forestry machinery. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 54–57 (In Russian).

Информация об авторах

Коробкин Владимир Андреевич – доктор технических наук, профессор, заместитель генерального конструктора, главный конструктор по спецтехнике. ОАО «Минский тракторный завод» (220070, г. Минск, ул. Долгобродская, 29, Республика Беларусь). E-mail: okbmtz@tut.by

Мохов Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lmitlz@belstu.by

Кононович Денис Александрович – аспирант кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: denkon_92@mail.ru

Арико Сергей Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sergeyariko@mail.ru

Information about the authors

Korobkin Vladimir Andreevich – DSc (Engineering), Professor, Deputy General Designer, Chief Designer for special equipment. OJSC “Minsk Tractor Works” (29, Dolgobrogsкая str., 220070, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: okbmtz@tut.by

Mokhov Sergey Petrovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, Head of the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lmitlz@belstu.by

Kononovich Denis Aleksandrovich – PhD student, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: denkon_92@mail.ru

Ariko Sergey Yevgen'yevich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergeyariko@mail.ru

Поступила 28.02.2018