

УДК 630*245.11

Д. А. Кононович

Белорусский государственный технологический университет

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МАШИНЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ**

При выполнении совместной научно-исследовательской работы БГТУ и ОАО «Минский тракторный завод» разработали опытный образец машины для транспортировки лесосечных отходов. Для определения параметров опытного образца, технико-эксплуатационных показателей, его соответствие техническому заданию, проекту технических условий и требованиям стандартов, технической и технологической документации были проведены исследовательские испытания согласно предварительно разработанной программе и методике испытаний. В процессе проведения испытаний было определено распределение реакций под колесами опытного образца с различными вариантами загрузки грузовой платформы, установлены мощностные параметры при осуществлении технологических операций, определена эффективность транспортировки лесосечных отходов с уплотнением и без уплотнения, выполнена оценка динамической нагруженности шасси и технологического оборудования машины, а также определен необходимый объем доработки опытного образца и корректировки конструкторской документации. Найдена грузоподъемность манипулятора при различных параметрах гидравлической системы манипулятора в ходе выполнения операции технологического цикла работы машины для транспортировки лесосечных отходов. В процессе проведения исследовательских испытаний использовалось высокоточное измерительное оборудование.

Ключевые слова: машина, технологическое оборудование, грузовая платформа, испытания, измерительное оборудование, лесосечные отходы, гидроманипулятор, параметры.

D. A. Kononovich

Belarusian State Technological University

**RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES
MACHINE FOR COLLECTION OF FOREST RESIDUES**

When performing joint research work of the Belarusian State Technical University and OJSC “Minsk Tractor Works” developed a prototype of a machine for transporting logging waste. To determine the parameters of the prototype, technical and operational indicators, its compliance with the technical requirements, the draft technical conditions and the requirements of standards, technical and technological documentation were conducted research tests, according to a previously developed program and test methods. In the course of testing, the distribution of reactions under the wheels of a prototype with various loading options for the loading platform was determined, the power parameters were established during technological operations, the efficiency of transportation of logging waste with compaction and without compaction was determined; determined the necessary amount of refinement of the prototype and the adjustment of design documentation. The loading capacity of the manipulator is determined for various parameters of the hydraulic system of the manipulator when performing operations of the technological cycle of operation of the machine for transporting logging waste. In the process of conducting research tests used high-precision measuring equipment.

Key words: machine, technological equipment, loading platform, testing, testing equipment, forest residues, hydromanipulator, parameters.

Введение. Приоритетным направлением для развития лесного комплекса республики является создание и внедрение перспективных и высокопроизводительных лесных машин отечественного производства на предприятиях Министерства лесного хозяйства. В связи с этим в рамках государственной научно-технической программы на 2017–2018 г. ОАО «Минский тракторный завод» совместно с БГТУ разработали опытный образец машины для транспортировки лесосечных отходов, позволяющей осуществлять погрузку, уплотне-

ние, транспортировку и разгрузку лесосечных отходов на промежуточном складе для последующей переработки в щепу. С целью оценки соответствия технико-эксплуатационных показателей машины и технологического оборудования требованиям нормативно-технической документации, изучения влияния природно-производственных факторов на эксплуатационные свойства, а также выявления узлов и агрегатов, требующих доработки, были проведены предварительные и исследовательские испытания [1–3].

Основная часть. В рамках реализации данного проекта для проведения предварительных и исследовательских испытаний машины для транспортировки лесосечных отходов с учетом действующих нормативных документов и имеющегося высокоточного измерительного оборудования были разработаны соответствующие программы и методики [4, 5]. Экспериментальные исследования машины для транспортировки лесосечных отходов проводились в природно-производственных условиях Березовского лесничества ГЛХУ «Пружанский лесхоз». На испытания был представлен опытный образец машины для транспортировки лесосечных отходов, состоящий из базового трактора Л82.2 и полуприцепа лесовозного ПЛ-9 с установленным оборудованием полуприцепа лесовозного (рис. 1). Технические характеристики оборудования полуприцепа лесовозного представлены в табл. 1.



Рис. 1. Машина для транспортировки лесосечных отходов

после чего основание оборудования полуприцепа лесовозного крепится к продольным лонжеронам рамы полуприцепа через специальные скобы болтовым соединением. После крепления оборудования к лонжеронам полуприцепа осуществляется подключение гидросистемы оборудования полуприцепа к гидросистеме базового трактора, что обусловлено наличием гидравлического привода бортов [6]. Это позволяет изменять объем грузовой платформы с целью последующего уплотнения лесосечных отходов, что увеличивает рейсовую нагрузку и производительность машины для транспортировки лесосечных отходов [7]. Визуализация этапов установки оборудования полуприцепа лесовозного представлена на рис. 2.

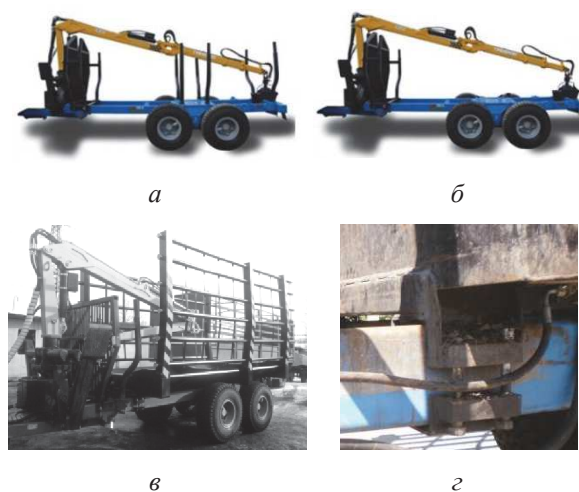


Рис. 2. Этапы установки оборудования полуприцепа лесовозного:

- а* – полуприцеп лесовозный БЕЛАРУС ПЛ-9;
- б* – полуприцеп лесовозный БЕЛАРУС ПЛ-9 с демонтированными стойками (кониками);
- в* – установка оборудования для транспортировки лесосечных отходов на полуприцеп ПЛ-9;
- г* – крепление оборудования к лонжеронам рамы полуприцепа ПЛ-9

Таблица 1

Технические характеристики оборудования полуприцепа лесовозного

Параметр	Значение
Масса, кг, не более	1800
Грузоподъемность, кг, не более	7500
Площадь поперечного сечения платформы при закрытых бортах, м ²	4,5
Объем загрузки, м ³	20
Угол раскрытия подъемных бортов, не более	110°
Габаритные размеры, мм	
При закрытых бортах (длина / ширина / высота), мм	4600 / 2480 / 2520
При открытых бортах (длина / ширина / высота), мм	4600 / 5140 / 1800

Перед установкой технологического оборудования с полуприцепа ПЛ-9 демонтируются стойки (коники) для перевозки сортиментов,

при проведении экспериментальных исследований регистрация изменяемых параметров осуществлялась с использованием специализированного оборудования в составе восьмиканального многофункционального измерительного усилителя Spider 8 и переносного персонального компьютера (рис. 3, *а*). Силовые параметры определялись при помощи тензометрического датчика силы U9В (рис. 3, *б*), устройств деформаций УД-1 (рис. 3, *в*) производства НВМ и диагностического прибора The Parker Service Master Plus (рис. 3, *г*). Источником питания измерительного оборудования являлась аккумуляторная батарея фирмы Westa (65Ah).

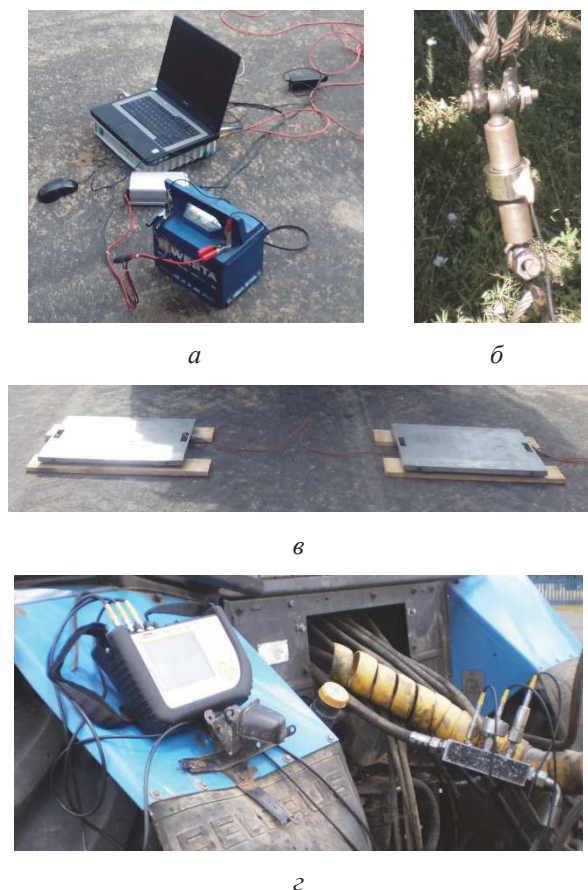


Рис. 3. Измерительное оборудование:
 а – многофункциональное измерительное оборудование Spider 8, переносной персональный компьютер с аккумулятором и адаптером;
 б – датчик силы U9B;
 в – устройство деформации УД-1;
 з – диагностический прибор The Parker Service Master Plus и расходомер гидравлической жидкости с установленными датчиками

Перед экспериментальными исследованиями измерительное оборудование и датчики подлежали тарировке и проверке работоспособности, а также осуществлялась их настройка в программном обеспечении Catman. Регистрация измеряемых параметров производилась на жесткий диск компьютера и сопровождалась графической визуализацией процесса. На каждом канале была установлена частота опроса датчиков 50 Гц. В результате измерений получены массивы значений измеряемых параметров в цифровом формате и в реальном времени с дискретностью 0,02 с. Регистрация определяемого параметра производилась тензометрическим методом с относительной погрешностью 0,5%. Полученные массивы данных обрабатывались методами математической статистики [8–10].

При проведении экспериментальных исследований была рассмотрена эффективность за-

грузки лесосечных отходов. С этой целью определялись опорные реакции под колесами машины для транспортировки лесосечных отходов в порожнем состоянии, в груженом состоянии без раскрытия бортов и в груженом состоянии с раскрытием бортов (рис. 4).



Рис. 4. Определение реакций под колесами машины для транспортировки лесосечных отходов:
 а – определение реакции под передней осью базового трактора;
 б – определение реакции под задней осью базового трактора;
 в – погрузка лесосечных отходов с закрытыми бортами;
 з – погрузка лесосечных отходов с открытыми бортами

В результате оценки эффективности загрузки лесосечных отходов установлено, что на переднюю ось машины для транспортировки лесосечных отходов в порожнем состоянии приходится 17,3 кН, заднюю ось трактора – 43,7 кН, а на балансирную тележку полуприцепа – 35,2 кН (рис. 5).

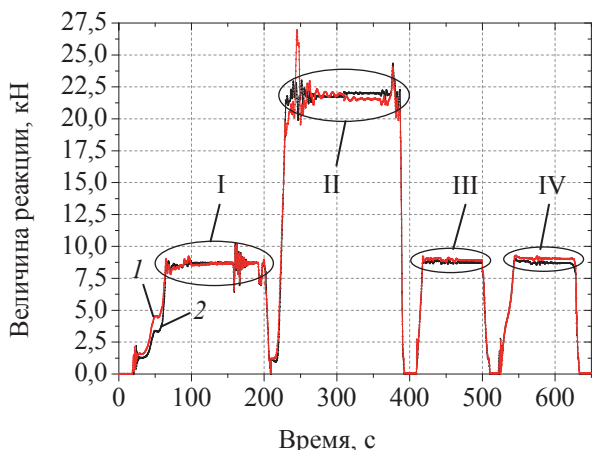


Рис. 5. Распределение реакций под колесами машины для транспортировки лесосечных отходов в порожнем состоянии:
 I – правый борт; 2 – левый борт;
 I – величины реакций под колесами передней оси базового трактора;
 II – величины реакций под колесами задней оси базового трактора;
 III – величины реакций под передними колесами балансирной тележки полуприцепа;
 IV – величины реакций под задними колесами балансирной тележки полуприцепа

При установке технологического оборудования для транспортировки лесосечных отходов на полуприцеп ПЛ-9 происходит перераспределение реакций. Так, нагрузка на передней оси трактора снижается до 16,7 кН, нагрузка на задней оси трактора увеличивается до 45,8 кН, нагрузка на балансирной тележке полуприцепа увеличивается до 50,2 кН. В процессе проведения экспериментальных исследований по оценке эффективности загрузки лесосечных отходов установлено, что при загрузке без уплотнения лесосечных отходов нагрузка на балансирной тележке возрастает до 65 кН. При уплотнении лесосечных отходов бортами нагрузка на балансирной тележке достигает 95,6 кН, при этом происходит снижение нагрузки на передней оси трактора на 5–7%, а также догрузка задней оси трактора до 4–6%. При загрузке лесосечных отходов было установлено, что основная масса лесосечных отходов располагается равномерно по платформе, однако в передней части платформы имеется «мертвая» зона для гидроманипулятора. С целью устранения данного недостатка в процессе загрузки грузовой платформы следует производить подтаскивание лесосечных отходов к защитному ограждению полуприцепа.

В процессе наполнения грузовой платформы задняя ось базового трактора догружается непосредственно через крюк, который соединен с дышлом полуприцепа. Для определения дей-

ствующих нагрузок на крюк базового трактора использовался домкрат и устройство деформации УД-1, подключенное к многофункциональному измерительному оборудованию Spider 8 с переносным персональным компьютером (рис. 6). Определение нагрузки, приходящейся на крюк базового трактора, проводилось без установки оборудования полуприцепа лесовозного на полуприцеп ПЛ-9 и с его установкой.



Рис. 6. Определение нагрузки, приходящейся на крюк базового трактора

В результате исследования установлено, что нагрузка на крюк без установленного оборудования полуприцепа лесовозного на полуприцеп ПЛ-9 составляет 10,5 кН (рис. 7).

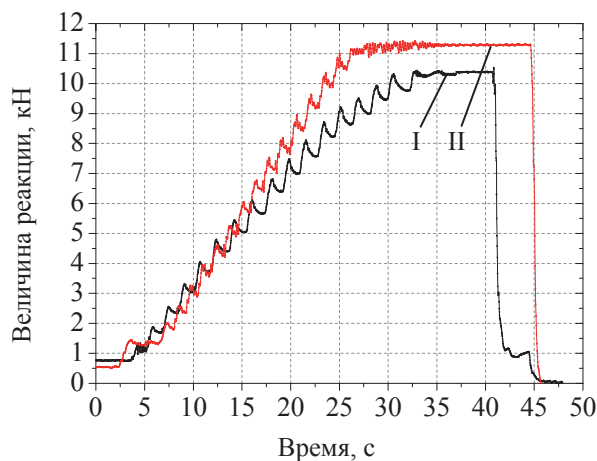


Рис. 7. Нагрузка на крюке базового трактора:
 I – нагрузка без установленного оборудования;
 II – нагрузка с установленным оборудованием

Установка оборудования полуприцепа лесовозного приводит к незначительному догрузу задней оси трактора на 910 Н при массе оборудования 18 кН. Это связано с рациональной компоновкой оборудования и полуприцепа, при которой значительная часть нагрузки приходится на балансирную тележку [11].

Машина для транспортировки лесосечных отходов оснащается гидроманипулятором ГМ-42 со специальным захватом, имеющим отличающуюся от захвата для погрузки сортиментов кинематику, что привело к изменению действующих на захват сил. Их определение производилось путем регистрации гидравлических параметров гидросистемы технологического оборудования. С этой целью использовался прибор для определения параметров гидросистемы в составе: гидравлический расходомер SCFT 600-02-02, датчик давления с возможностью изменения температуры рабочей жидкости и диагностического прибора The Parker Service Master Plus. Определены зависимости давления и расхода рабочей жидкости от частоты вращения двигателя, а также давление настройки клапанов распределителя при $n_{дв} = 1400 \text{ мин}^{-1}$, представленные в табл. 2.

Таблица 2
Гидравлические параметры привода технологического оборудования с установленным специализированным захватом для погрузки лесосечных отходов

* Зависимость давления и расхода рабочей жидкости от частоты вращения двигателя трактора на холостом ходу ($n_{вОМ} 540/1000 \text{ мин}^{-1}$)		
$n_{дв}, \text{мин}^{-1}$	$P, \text{МПа}$	$Q, \text{л/мин}$
800	0,24/0,72	25/41
1000	0,4/1,0	32/50
1200	0,52/1,4	37/61
1400	0,74/1,85	44/73
1600	0,93/2,3	52/85
1800	1,13/2,7	58/94
2000	1,3/2,9	65/99
Давление настройки клапанов распределителя при $n_{дв} = 1400 \text{ мин}^{-1}$		
Выполняемая операция ($n_{вОМ} = 540 \text{ мин}^{-1}$)		$P_{\text{max}}, \text{МПа}$
Стрела	Подъем	19,5
	Опускание	18,0
Рукоять	Подъем	19,5
	Опускание	14,0
Колонна	Поворот вправо / влево	17,5
Ротатор	Вращение вправо / влево	18,0
Захват	Открытие / закрытие	20,0

* Указанные параметры получены при установленном насосе GR.3/36 DX с мультипликатором HM 30/3,5-PM.

В процессе определения гидравлических параметров манипулятора была также вычислена его грузоподъемность (рис. 8).

На оборотах двигателя трактора $n_{дв} = 1200 \text{ мин}^{-1}$ манипулятор развивает грузоподъ-

емность 4,6 кН, при этом давление в гидросистеме возрастает до 16 МПа, а расход рабочей жидкости составляет 25 л/мин. Увеличение оборотов двигателя до $n_{дв} = 1400 \text{ мин}^{-1}$ приводит к возрастанию грузоподъемности до 5,2 кН, давления – до 16,6 МПа, расхода рабочей жидкости – до 37 л/мин. На оборотах двигателя $n_{дв} = 1800 \text{ мин}^{-1}$ грузоподъемность поднимается до 5,45 кН, но возрастает и давление до 17,5 МПа и расход рабочей жидкости до 57 л/мин. На максимальных оборотах двигателя $n_{дв} = 2100 \text{ мин}^{-1}$ реализуется максимальная грузоподъемность, которая составила 6,09 кН при давлении в гидросистеме 18,6 МПа и расходе рабочей жидкости 68 л/мин.

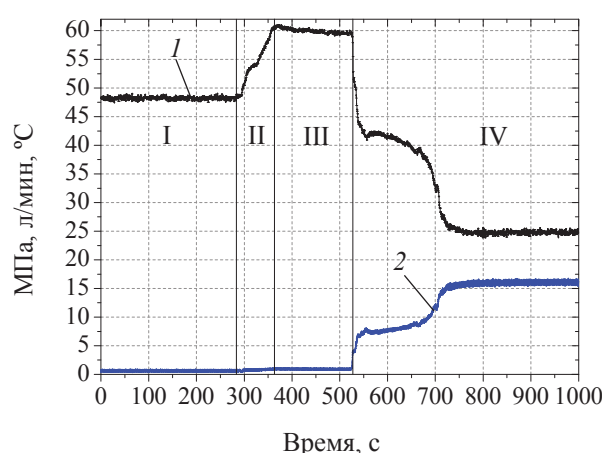


Рис. 8. Изменение гидравлических параметров при определении грузоподъемности:
1 – кривая изменения расхода гидравлической жидкости; 2 – кривая изменения давления гидравлической жидкости;
I – зона, характеризующая изменение гидравлических параметров на холостых оборотах ($n_{дв} = 800 \text{ мин}^{-1}$); II – зона, характеризующая изменение гидравлических параметров при увеличении оборотов двигателя до ($n_{дв} = 1200 \text{ мин}^{-1}$);
III – зона, характеризующая изменение гидравлических параметров на рабочих оборотах ($n_{дв} = 1200 \text{ мин}^{-1}$);
IV – зона, характеризующая изменение гидравлических параметров в нагрузочном режиме работы манипулятора

При транспортировке лесосечных отходов важным условием является увеличение рейсовой нагрузки за счет их уплотнения [12–14]. Уплотнение лесосечных отходов в оборудовании полуприцепа лесовозного осуществляется гидроуправляемыми бортами. В связи с этим для определения эффективности уплотнения лесосечных отходов определялось давление в поршневой и штоковой полостях гидроуправляемых бортов (рис. 9).



a



b



v

Рис. 9. Определение давления в гидроуправляемых бортах:
 a – общий вид подключения датчиков к гидросистеме;
 б – датчик давления и переходник;
 в – датчик давления P8AP фирмы HBM

При проведении экспериментальных исследований по эффективности уплотнения лесосечных отходов гидроуправляемыми бортами установлено, что давление гидросистемы в поршневой полости гидроцилиндров поднималось до 21 МПа, а в штоковой – до 16 МПа (рис. 10).

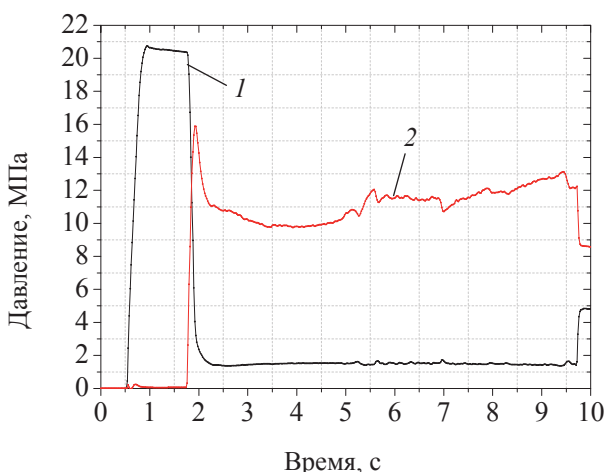


Рис. 10. Давление в штоковой и поршневой полостях гидроцилиндров управления бортов:
 1 – давление, создаваемое в штоковой полости;
 2 – давление, создаваемое в поршневой полости

При этом борты закрывались симметрично либо поочередно, в зависимости от действующей на них нагрузки [15]. Это связано с нерав-

номерностью загрузки гидроуправляемых бортов лесосечными отходами по объему и несовершенством кинематики их работы. Борт, реализующий меньшее усилие на уплотнение лесосечных отходов, закрывался быстрее. В случае выравнивания сопротивлений, действующих на борты, происходило их симметричное закрытие. На основе полученных зависимостей установлено, что в процессе уплотнения лесосечных отходов возникают периодические пиковые сопротивления в штоковой полости, приводящие к снижению эффективности уплотнения лесосечных отходов. Данный недостаток может возникать в виду неправильной регулировки клапанов распределителя или их заедании.

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования позволили установить эффективность транспортировки лесосечных отходов при различных вариантах их загрузки, а также определить опорные реакции под колесами опытного образца. Так, погрузка лесосечных отходов с открытыми бортами и последующим уплотнением путем закрытия бортов позволяет увеличить рейсовую нагрузку транспортировщика в среднем в 3,06 раза при установленном давлении в штоковой и поршневой полостях гидроцилиндров 21 МПа и 16 МПа соответственно. Определена величина, приходящаяся на крюк базового трактора с установленным технологическим оборудованием для транспортировки лесосечных отходов и без. При этом с установленным оборудованием задняя ось трактора догружается на 8% от общей массы полуприцепа в порожнем состоянии, что достигается рациональной компоновкой оборудования. Установлена зависимость давления и расхода рабочей жидкости от частоты вращения двигателя трактора на холостом ходу, а также определено давление настройки клапанов распределителя при $n_{дв} = 1400 \text{ мин}^{-1}$ при выполнении отдельных технологических операций. Экспериментальными исследованиями установлено, что на величину грузоподъемности гидроманипулятора существенное влияние оказывает частота вращения коленчатого вала. Так, при увеличении оборотов двигателя базового трактора с номинальных до максимальных грузоподъемность технологического оборудования возрастает на 45%. При этом давление возрастает на 16,3%, а расход увеличивается более чем в 2,5 раза. С ростом оборотов коленчатого вала двигателя давление рабочей жидкости гидросистемы и грузоподъемность технологического оборудования повышаются по причине увеличения реализуемой мощности двигателя на входном валу насоса.

Литература

1. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
2. Григорьев И. В., Валяжонков В. Д. Современные машины и технологические процессы лесосечных работ: учеб. пособие. СПб.: Темплан, 2009. 287 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 / С. П. Мохов [и др.] // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 26–28 апр. 2017 г. С. 178–181.
7. Анализ конструктивных особенностей машин для сбора лесосечных отходов / Д. А. Кононович [и др.] // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 31–35.
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. Матвейко А. П., Федоренчик А. С. Технология и машины лесосечных работ: учеб. для вузов. Минск: Технопринт, 2002. 479 с.
10. Коробов В. В., Рушнов Н. П. Переработка низкокачественного древесного сырья. М.: Экология, 1991. 288 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. Кононович Д. А. Технологии очистки лесосек от лесосечных отходов // Труды БГТУ. 2017. № 2: Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. С. 245–250.

References

1. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.
2. Grigor'ev I. V., Valyazhonkov V. D. *Sovremennyye mashiny i tekhnologicheskiye protsessy lesosechnykh rabot* [Modern machines and technological processes logging activities]. St. Petersburg, Templan Publ., 2009. 287 p.
3. Kochegarov V. G., Bit Yu. A., Men'shikov V. N. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines logging activities]. Moscow, Lesnaya prom-st' 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 Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. («Lesozagotovitel'noye 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. Kononovich D. A., Mokhov S. P., Simanovich V. A., Ariko S. Ye. Analysis of structural features of machines for collection forest residues. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 31–35 (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. Matveyko A. P., Fedorenchik A. S. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines logging activities]. Minsk, Tekhnoprint Publ., 2002. 479 p.
10. Korobov V. V., Rushtnov N. P. *Pererabotka nizkokachestvennogo drevesnogo syr'ya* [Processing of low-quality wood raw materials]. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 288 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. Kononovich D. A. Technologies cleaning cutting areas from logging waste. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2: Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, pp. 245–250 (In Russian).

Информация об авторе

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

Information about the author

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

Поступила 19.10.2018