

УДК 630\*36

**С. П. Мохов, С. Е. Арико, В. А. Симанович, М. К. Асмоловский, Д. А. Кононович**  
Белорусский государственный технологический университет

### **ИСПЫТАНИЯ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ 4К4 ПОВЫШЕННОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ**

Приведены основные результаты предварительных и исследовательских испытаний опытного образца погрузочно-транспортной машины (форвардера) повышенной грузоподъемности производства ОАО «Минский тракторный завод». В соответствии с разработанной программой-методикой рассматривались функциональные возможности технологического оборудования и базового шасси при работе лесозаготовительной машины в характерных природно-производственных условиях Республики Беларусь с учетом ее технических характеристик и особенностей выполнения отдельных приемов и операций. В результате обработки результатов получены зависимости, которые отражают вертикальные и продольные угловые ускорения базового шасси погрузочно-транспортной машины при движении по экспериментальному участку волока и технологического оборудования при выполнении погрузочно-разгрузочных операций, процесс изменения напряжений в местах установки датчиков при переезде единичной неровности. В статье приведены данные о применяемом оборудовании, его размещении, возникающих напряжениях в вертикально-горизонтальном шарнире погрузочно-транспортной машины, регистрация которых осуществлялась с помощью тензометрических датчиков при различной массе погруженных на технологический модуль и удерживаемых манипулятором сортиментов. Обработка полученных результатов позволила установить моменты кручения в шарнире сочленения полурам и опоре манипулятора погрузочно-транспортной машины, а также оценить нагруженность шарнира сочленения полурам на погрузочных операциях при равномерном поднятии пачек сортиментов различной массы.

**Ключевые слова:** форвардер, исследования, технологическое оборудование, базовое шасси, нагруженность, сортименты, датчики.

**S. P. Mokhov, S. Ye. Ariko, V. A. Simanovich, M. K. Asmolvskiy, D. A. Kononovich**  
Belarusian State Technological University

### **TESTING OF FORWARDER 4WD WITH INCREASED LOAD CAPACITY**

The main results of the preliminary research and testing of the forwarder prototype with increased load capacity produced by open joint stock company "Minsk Tractor Plant" are given here. In accordance with the developed program methodology the functionality of the technological equipment and the base chassis at forest machines working in the characteristic natural and production conditions of the Republic of Belarus with regard to its technical characteristics and performance characteristics of some techniques and operations were considered. As a result of results processing the dependencies were obtained that reflect vertical and longitudinal angular acceleration of the base chassis of cargo transport vehicle when driving on the experimental section of trail and technological equipment during loading and unloading operations, the process of tension changes in the locations of sensors when moving over some bumps. The article presents data about the equipment, its location, any stresses in the vertical-horizontal hinge of cargo transport vehicle registration of which were carried out using strain gauges at various mass of loaded on the technological module and held by the manipulator assortments. Processing of the obtained results allowed to determine the moments of torsion in the hinge joint semiframes and support of the manipulator of cargo machines, as well as to assess the loading of the hinge joint semiframes at cargo operations at uniform lifting of assortment packs of different mass.

**Key words:** forwarder, research, technological equipment, the base chassis, loading, log, sensors.

**Введение.** В настоящее время перед машиностроительными предприятиями (ОАО «Минский тракторный завод» и ОАО «Амкорд» – управляющая компания холдинга) стоит задача создания лесозаготовительной техники для рубок промежуточного пользования. В этой связи данные предприятия ведут работу по созданию и модернизации существующих лесных машин. В условиях производственной базы

ОАО МТЗ, в рамках реализации государственной научно-технической программы, в 2014 году создан опытный образец погрузочно-транспортной машины (форвардера) повышенной грузоподъемности, что потребовало проведения приемочных и исследовательских испытаний с целью оценки соответствия параметров лесной машины требованиям нормативно-технической документации, установления эксплуатационных

свойств данной лесной техники, а также определения узлов и агрегатов, требующих доработки по результатам испытаний.

**Основная часть.** Для реализации поставленных целей и задач были привлечены специалисты УКЭР-2 ОАО «Минский тракторный завод», преподаватели кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок БГТУ. Это позволило разработать соответствующие программы и методики для проведения предварительных и исследовательских испытаний с учетом действующих нормативных документов и имеющегося современного многофункционального высокоточного измерительного оборудования (рис. 1).

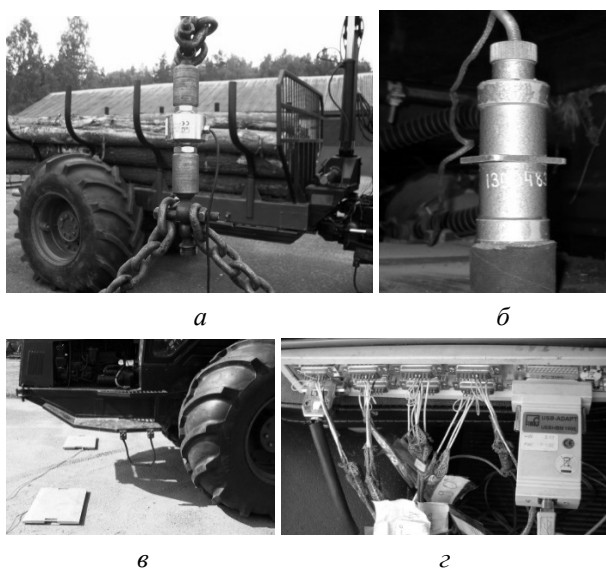


Рис. 1. Измерительное оборудование:  
 а – датчик силы U9B фирмы «НВМ»;  
 б – потенциометрический датчик ускорений;  
 в – тензометрические датчики вертикальных нагрузок УД-1; г – подключение измерительного оборудования к многофункциональному усилителю «Spider 8»

Испытания опытного образца погрузочно-транспортной машины (рис. 2) производились в условиях испытательной базы минского тракторного завода. На основе проведенных исследований установлено, что для реализации основных технологических операций мощность привода гидроцилиндра подъема стрелы должна составлять более 36 кВт на переходных режимах и 30 кВт – на установившихся при грузовом моменте манипулятора 50–55 кН·м.

Исследованиями установлено, что несущие конструкции многооперационных шарнирно-сочлененных лесозаготовительных машин испытывают наибольшую нагруженность при работе манипулятора. Так, касательные напряжения в шарнире сочленения полурам погрузоч-

но-транспортной машины в процессе проведения погрузочно-разгрузочных работ до 14,5–17,3 раза больше напряжений, действующих при преодолении обособленной неровности высотой 0,2 м. На погрузочных операциях величина касательных напряжений для порожнего форвардера до 1,44 раза больше, чем для полностью груженого.



Рис. 2. Опытный образец лесной погрузочно-транспортной машины повышенной грузоподъемности

Исследованиями напряженно-деформированного состояния шарнирного сочленения полурам форвардера установлены элементы с наибольшими действующими эквивалентными напряжениями. Это внутренние боковые ребра жесткости, галтель на трубе горизонтального шарнира, элементы боковых граней шарнира, относящихся к энергетическому модулю форвардера и др.

Изменение коэффициентов динамичности момента кручения в шарнире сочленения в зависимости от массы погруженных сортиментов носит нелинейный характер. Если в процессе торможения происходит отрыв колеса технологического модуля от поверхности движения, то интенсивно увеличивается динамическая составляющая момента кручения в шарнире. В процессе исследований установлены две характерные зоны изменения кривых крутящего момента: с отрывом от поверхности колеса технологического модуля противоположной стороне проведения погрузочных работ и без отрыва. При работе без отрыва колеса величина крутящего момента в шарнире сочленения линейно возрастает. Интенсивность нарастания крутящего момента составляет с 2,0–2,4 кН·м на 100 кг массы поднимаемой пачки (для форвардера при вылете манипулятора 5,3 м). Характерно, что при работе в данной зоне при меньшей крутильной жесткости механизма блокирования достигается меньшая нагруженность шарнирного сочленения моментом кручения. Так, разница в моменте кручения при крутильной жесткости  $2 \cdot 10^6$  Н·м/рад и  $1,0 \cdot 10^6$  Н·м/рад составляет 4,3 кН·м. Сущест-

венное снижение крутящего момента в шарнире объясняется тем, что при меньшей крутильной жесткости механизма блокирования большая часть нагрузки кручения в раме перераспределяется на участок между колесами технологического модуля и местом установки манипулятора. Однако при меньшей крутильной жесткости механизма блокировки отрыв колеса технологического модуля наблюдается при меньшей массе поднимаемых сортиментов.

Отрыв колес технологического модуля форвардера от поверхности движения сопровождается увеличением интенсивности нарастания крутящего момента в шарнире до 4,15 раза. Для порожнего форвардера при крутильной жесткости механизма блокирования  $0,5 \cdot 106 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{рад}$  и вылете манипулятора, равном 5,3 м, отрыв происходит при массе поднимаемых сортиментов 493 кг. Точка перегиба кривой крутящего момента соответствует отрыву от поверхности колеса технологического модуля.

В результате оценки нагружения несущих конструкций многооперационных машин при движении установлено, что при кососимметричном переезде единичной неровности высотой 0,2 м задним колесом погрузочно-транспортной машины при скорости движения 1,4 м/с величина регистрируемых касательных напряжений в 1,8–2,0 раза ниже, чем при переезде передним колесом. При этом в случае полной загрузки технологического модуля лесоматериалом массой 7 т динамическая нагруженность шарнира при движении форвардера с сортиментами длиной 4 м до 1,27 раза ниже, чем при движении с сортиментами длиной 6 м.

Полученная количественная и качественная оценка взаимосвязи между энергетическими параметрами технологического оборудования и нагруженностью несущих конструкций многооперационных лесозаготовительных машин позволила рекомендовать режимы и способы выполнения технологических операций. В соответствии с ними максимальную скорость подъема стрелы манипулятора на типичной погрузочно-разгрузочной операции (вылет мани-

пулятора 5,3 м, масса сортиментов 500 кг) рационально ограничить величинами: 0,7 рад/с при расстоянии трелевки 150 м и 0,55 рад/с при расстоянии трелевки 450 м.

С целью повышения унификации узлов и агрегатов лесных машин, выпускающихся на ОАО «Минский тракторный завод», предложена конструкция и подобраны рациональные параметры механизмов блокирования шарнира сочленения полурам погрузочно-транспортных машин, позволяющие снизить нагруженность их несущих конструкций на технологических операциях работы манипулятора до 1,32 раза, без потери устойчивости машин. При этом при увеличении массы поднимаемых манипулятором сортиментов от 400 до 900 кг необходимо пропорционально изменить жесткость механизма блокировки от 500 до 2000 кН·м/рад. При этом наиболее нагруженными элементами шарнирного сочленения полурам являются внутренние боковые ребра жесткости шарнира (эквивалентные напряжения от 117 до 254 МПа) и область галтельного перехода на горизонтальном шарнире (эквивалентные напряжения до 199,85 МПа).

**Заключение.** В результате проведенных предварительных и исследовательских испытаний установлено, что в целом погрузочно-транспортная машина соответствует техническим условиям и требованиям ТНПА, однако для дальнейшей проработки возможных путей повышения технических возможностей и безопасности работы предложено: изменить параметры трубчатой опоры горизонтального шарнира погрузочно-транспортной машины; скорректировать количество и расположение крепежных элементов, соединяющих вертикальный и горизонтальный шарнир; изменить положение подшипников горизонтального шарнира погрузочно-транспортной машины и исключить из конструкции упорную шайбу переднего подшипника; серийный выпуск погрузочно-транспортной машины осуществлять в двух исполнениях задних мостов, оснащенных дисковыми тормозами, которые по желанию потребителя могут быть открытые или закрытые.

### Литература

1. Голякевич С. А. [и др.] Методика и оценка эффективности эксплуатации погрузочно-транспортной машины в условиях Республики Беларусь // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 30–32.
2. Арико С. Е. [и др.] Результаты испытаний харвестера МЛХ-414 для рубок промежуточного пользования // Механика технологических процессов в лесном комплексе: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 2. ВГЛТУ, г. Воронеж, 25–27 марта 2014 г. С. 179–183. DOI: 10.12737/3130.
3. Клоков Д. В. Оценка нагрузочных режимов трансмиссий погрузочно-транспортных машин «БЕЛАРУС» // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 45–46.
4. Голякевич С. А. Анализ эксплуатационных режимов работы многооперационных лесозаготовительных машин // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 72–78.

### References

1. Golyakevich S. A., Mokhov S. P., Goronovski A. R., Pischov S. N., Ariko S. Y. Methodology and evaluation of efficiency of operation forwarder under the Republic of Belarus. *Trudy BGTU. Lesnaya i derevoobrab. prom-st'* [Proceedings BSTU. Forestry and Woodworking Industry], 2014, no. 2, pp. 30–32 (in Russian).
2. Ariko S. Ye., Simanovich V. A., Mokhov S. P., Pischov S. N. Test results harvester MLH-414 for intermediate felling. *Materialy MNTK "Mekhanika tekhnologicheskikh protsessov v lesnom komplekse"* [Proceedings of the IRTC "Mechanics of technological processes in the forest complex"]. Part 2. VGLTU, Voronezh, 25–27 March 2014, pp. 179–183. DOI: 10.12737 / 3130.
3. Klokov D. V. Estimation of loading regimes of power drives of is loading-transport cars «BELA-RUS». *Trudy BGTU. Lesnaya i derevoobrab. prom-st'*. [Proceedings BSTU. Forestry and Woodworking Industry], 2013, no. 2, pp. 45–46 (in Russian).
4. Golyakevich S. A. Analysis of operational modes multifunctional forest harvesting machines. *Trudy BGTU. Lesnaya i derevoobrab. prom-st'*. [Proceedings BSTU. Forestry and Woodworking Industry], 2013, no. 2, pp. 72–78 (in Russian).

### Информация об авторах

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

**Арико Сергей Евгеньевич** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sergeyariko@mail.ru

**Симанович Василий Антонович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sergeyariko@mail.ru

**Асмоловский Михаил Корнеевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: asmika59@mail.ru

**Кононович Денис Александрович** – магистрант кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: denkon\_92@mail.ru

### Information about the authors

**Mokhov Sergey Petrovich** – Ph. D. Engineering, assistant professor, head of the Department of Forestry Machinery and Logging Technologies. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lmitlz@belstu.by

**Ariko Sergey Yevgen'evich** – Ph. D. Engineering, senior lecturer, Department of Forestry Machinery and Logging Technologies. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergeyariko@mail.ru

**Simanovich Vasily Antonovich** – Ph. D. Engineering, assistant professor, assistant professor, Department of Forestry Machinery and Logging Technologies. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergeyariko@mail.ru

**Asmolovskiy Mikhail Korneevich** – Ph. D. Engineering, assistant professor, assistant professor, Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: asmika59@mail.ru

**Kononovich Denis Aleksandrovich** – undergraduate, Department of Forestry Machinery and Logging Technologies. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: denkon\_92@mail.ru

Поступила 15.03.2015