

УДК 630*363.7

А. О. Германович

Белорусский государственный технологический университет

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРНО-КОМПОНОВОЧНЫХ
И ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ
МОБИЛЬНОЙ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ «АМКОДОР 2904»**

На сегодняшний день рубильная машина, служащая для получения экологически чистого и возобновляемого вида топлива, является актуальным и перспективным биоэнергетическим оборудованием. Из перечня технических средств, используемых в цепочке производства топливной щепы, рубильная машина наиболее энергоемкая, сложная и дорогостоящая. Существует большое разнообразие конструктивных схем данных машин. Наиболее универсальной (имеет возможность работать как непосредственно на лесосеке, так и на лесном складе) является самоходная рубильная машина, обладающая рядом преимуществ. Работа мобильной рубильной машины состоит из повторяющегося цикла, который включает две наиболее затратные временные составляющие. Для анализа и моделирования работы мобильной рубильной машины необходимы корректные исходные данные. Одна из целей предварительных испытаний – определение основных технико-эксплуатационных и размерно-компоновочных показателей мобильной рубильной машины. Исследование динамических процессов, происходящих при работе рубильной машины на мобильном шасси с автономным двигателем, при помощи математической модели в условиях, максимально приближенных к реальным исходным данным, позволяет обосновать ее основные параметры (жесткость виброизолирующих элементов, шин и т. д.) и сделать вывод о соответствии этих параметров условиям работы.

Ключевые слова: биоэнергетика, испытания, рубильная машина, технико-эксплуатационные параметры, щепа.

A. O. Hermanovich

Belarusian State Technological University

**DETERMINATION OF DIMENSIONAL-COMPONENT
AND TECHNICAL-OPERATIONAL PARAMETERS OF MOBILE CHIPPER
MACHINES “AMKODOR 2904”**

To date, a chipper that serves to produce an environmentally friendly and renewable fuel is an actual and promising bioenergetic equipment. From the list of technical means used in the chain of production of fuel chips, the chipping machine is the most energy intensive, complex and expensive. There is a wide variety of design schemes for chippers. The most universal, as it has the ability to work both directly in the cutting area, and in the forest stock is a self-propelled chipper with several advantages. The work of the mobile chipping machine consists of a repeating cycle, which includes the two most expensive time components. To analyze and simulate the operation of the mobile chipping machine, correct initial data are necessary. One of the purposes of the preliminary tests is the determination of the main technical-operational and dimension-layout parameters of the mobile chipping machine. The investigation of the dynamic processes occurring during the operation of a chipping machine on a mobile chassis with an autonomous engine, with the help of a mathematical model provided that it is as close as possible to the actual initial data, allows us to substantiate its main parameters (rigidity of vibration isolating elements, tires, etc.) and conclude compliance of these parameters with working conditions.

Key words: bioenergetics, testing, chipper, technical and operational parameters, chips.

Введение. Мобильная рубильная машина, используемая в технологической цепочке получения биоэнергетического топлива, представляет сложную конструкцию взаимосвязанных между собой узлов и механизмов. Производство экологически чистого и возобновляемого топлива способствует расширению видов рубильных машин, что, в свою очередь, влияет на усовершенствование отдельных составляющих модулей данных машин. В процессе моделирования новых проектируемых рубильных ма-

шин немаловажным является владение актуальными технико-эксплуатационными и размерно-компоновочными показателями таких типов машин [1–4].

Основная часть. Одной из целей проведения исследовательских испытаний машины «Амкодор 2904» являлось определение основных параметров (рис. 1), входящих в исходные данные системы дифференциальных уравнений математической модели работы мобильной рубильной машины [1, 5].



Рис. 1. Определение параметров ходовой части мобильной рубильной машины:

a – определение радиальной деформации шины 620/75-R26 Бел-93; *б* – определение пятна контакта шины 620/75-R26 Бел-93; *в* – определение радиальной деформации шины 23.5-25Ф Бел-247-1 G-2 L-2

В соответствии с задачами исследований были выделены следующие этапы испытаний данной машины: определение размерно-компоновочных параметров, включающих в себя замер основных геометрических величин, жесткостей и пятен контактов колес и т. д.; определение технико-эксплуатационных показателей машины, таких как эксплуатационная масса (рис. 2) и ее распределение по осям машины, скорость движения, параметры устойчивости, тягово-сцепные свойства; проведение экспериментальных исследований.

Определение величин размерно-компоновочных параметров рубильной машины «Амкодор 2904» выполнялось согласно ГОСТ 26025-83 на испытательской площадке ИЦИДМ (Исследовательского центра испытаний и доводки машин), аккредитованного на право проведения испытаний в Республике Беларусь на СТБ ИСО/МЭК 17025, завода «Дормаш» ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга. Измерения величин размерно-компоновочных параметров производились при помощи поверенного оборудования: стальной рулетки (20 м); отвеса ОТ-100-1; линейки (1000 мм); манометра ДМ 1001 У2 (шинный); угломера ЗУРИ-М.

Площадь пятна контакта шины определялась при помощи отпечатка окрашенной шины на бумаге. Окрашенное краской колесо рубильной машины приподнималось вилочным погрузчиком, под него на жесткое основание подкладывалась бумага, колесо опускалось и оставляло на бумаге пятно контакта (рис. 1, б).

Радиальная жесткость шин рубильной машины определялась отношением замеренных величин вертикальной нагрузки G_k , приходящейся на колесо, к величине радиальной деформации (прогиба) h_z данной шины [6]. Регис-

страция вертикальной нагрузки G_k (опорной реакции колеса) производилась устройством деформации УД-1, а величина радиальной деформации шины измерялась рулеткой с ценой деления 0,5 мм (рис. 1, а, в).

Определение массовых характеристик, положения центра тяжести и поперечной устойчивости экспериментального образца рубильной машины «Амкодор 2904» проходило в ГУ «Белорусская машиноиспытательная станция» (пос. Привольный, Минский р-н) (рис. 2, 3, 4).



a



б

Рис. 2. Определение массовых характеристик объекта исследования:

a – замер эксплуатационной массы машины; *б* – весы РП15-Ш13

Замеры фактических значений эксплуатационной массы выполнялись при помощи четырех платформенных автомобильных весов марки РП15-Ш13 путем определения распределения веса машины по осям. Эксплуатационная масса машины находилась методом простого измерения путем взвешивания полностью заправленной машины, укомплектованной ЗИП, с водителем в кабине (рис. 3).

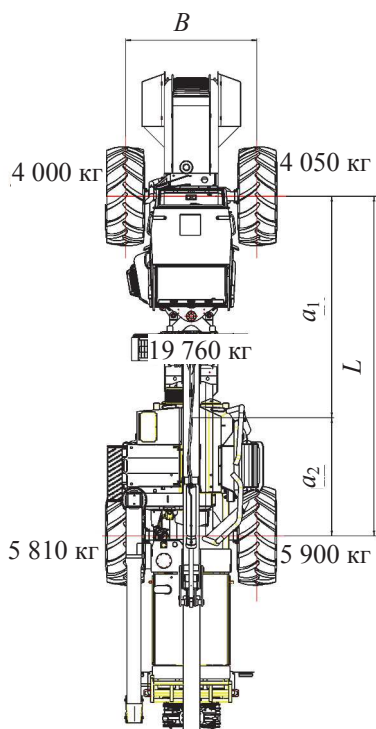


Рис. 3. Распределение веса рубильной машины по осям

После получения экспериментальных данных распределения веса по осям машины аналитическим путем было определено положение координат центра тяжести по длине базы машины (табл. 1). Положение координат центра тяжести по высоте (h_g) вычислялось по зависимости, полученной из уравнений моментов относительно точек опоры колес.

Предельный угол поперечной устойчивости Q определялся экспериментально на специальном стенде СУ-40, имеющем платформу, которая может наклоняться на различные углы (от 0–50°) в поперечной плоскости (рис. 4, с.103).

Предельный угол наблюдался в момент отрыва колес одной стороны, при котором началось боковое опрокидывание машины. На стенде фиксировался угол наклона платформы в момент бокового опрокидывания.

Для анализа поперечной устойчивости мобильной рубильной машины разработана расчетная схема, при помощи которой были со-

ставлены уравнения моментов всех сил относительно точек [7–9] и получены зависимости изменений опорных реакций рубильной машины в процессе подъема платформы стенда СУ-40. Существенное влияние оказывают на поперечную устойчивость такие компоновочные параметры, как эксплуатационная масса, колея и высота положения центра тяжести машины [10, 11]. Так, чем шире колея и ниже расположен центр тяжести машины, тем при большем угле поперечного уклона происходит опрокидывание.

Таблица 1
Результаты измерений величин
размерно-компоновочных параметров
мобильной рубильной машины
«Амкодор 2904»

Наименование показателей	Значения
Габаритные размеры, мм:	
длина (в транспортном положении)	10 600
ширина (по наружным боковым поверхностям колес)	2 680
высота (по крыше кабины / по манипулятору)	3 670 / 4 630
Колея, мм	2 110
База, мм	5 460
Клиренс, мм	420
Максимальная высота щепопровода, мм	5 700
Площадь пятна контакта шин, м ² / радиальная жесткость шин, кН/м: шина 620/75-R26 Бел-93 ($p_w = 0,32$ МПа):	
при вертикальной нагрузке 57,8 кН	0,25605 / 680
при вертикальной нагрузке 39,7 кН	0,20668 / 665
шина 23.5-25Ф Бел-247-1 G-2 L-2 ($p_w = 0,35$ МПа):	
при вертикальной нагрузке 60,7 кН	0,23093 / 850
при вертикальной нагрузке 40,5 кН	0,17141 / 780
Вес машины, распределенный на переднюю ось, G_{oc1} , кН	78,89
Вес машины, распределенный на заднюю ось, G_{oc2} , кН	114,87
L – продольная база рубильной машины, м	5,4
B – поперечное расстояние между колесами, м	2,1
Координаты положения центра тяжести, м:	
a_1	3,5
a_2	1,9
h_g	2,0
Предельный угол поперечной устойчивости Q , град	27
Наибольшая высота препятствия, м	0,95



Рис. 4. Стенд для определения предельного угла поперечной устойчивости СУ-40

Опрокидывание машины при нерациональной компоновке может произойти в поперечной плоскости при движении по склону или преодолении препятствий, когда колеса одной стороны окажутся на препятствии. Наибольшая высота препятствия, которую мобильная рубильная машина может преодолеть, составляет 0,95 м.

Одним из важнейших технико-эксплуатационных параметров мобильной рубильной машины является скорость ее передвижения. Определение максимальных скоростей движения машины на всех диапазонах ее передач проводилось на территории НТЦ «Республиканский полигон для испытаний мобильных машин» ГНУ ОИМ НАН Беларуси. Замер фактических скоростей выполнялся при помощи оборудования для измерения скоростных параметров KISTLER L-350 Aqua L, подсоединенного к портативному компьютеру (рис. 5).

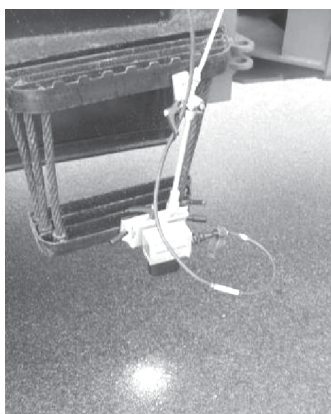


Рис. 5. Оборудование для измерения скоростных параметров мобильной рубильной машины

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 27927-88 (ИСО 6014-86). Измерения скоростей осуществлялись при следующих ус-

ловиях: технологическое оборудование располагалось в транспортном положении; на машине были установлены шины BELSHINA 23.5-25Ф Бел-247-1 G-2 L-2; давление в шинах составляло 0,35 МПа; измерения проводились на дороге с сухим асфальтобетонным покрытием; температура окружающего воздуха составляла +26°С, скорость ветра – 1,0 м/с. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений скорости движения мобильной рубильной машины «Амкодор 2904»

Номер передачи	Скорость, км/ч
1-я	5,6
2-я	8,3
3-я	20,2
4-я	29,8
1-я задняя	6,0
2-я задняя	5,5

Максимальная скорость движения объекта исследования наблюдалась на 4-й передаче, которая соответствует требованиям проекта ТУ ВУ 100135676.149-2013 (1-я передача – не менее 4,9 км/ч, 4-я передача – не менее 28,0 км/ч).

Замер усилий сопротивления движению и тяги проводился на испытательской площадке ИЦИДМ завода «Дормаш» ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга». Испытания проводились в сухую погоду. Усилие сопротивления движению и тяги мобильной рубильной машины определялось с помощью электронного динамометра с максимальной нагрузкой 200 кН. Для замера тягового усилия применялся динамометр электронный ДОР-3-И-200 с индикатором WI-4 (рис. 6).



Рис. 6. Оборудование для определения усилия сопротивления движению и тяги мобильной рубильной машины

Электронный динамометр предназначен для измерения статической и динамической силы растяжения, используется в испытательных ла-

бораториях и на производственных участках. Динамометр ДОР-3-И-200 представляет собой тензометрический датчик, соединенный кабелем связи с электронным измерительным индикатором WI-4. Электронный динамометр позволяет измерять плавно меняющиеся усилия, а также фиксировать максимальные и минимальные значения прилагаемых усилий. Питание электронного динамометра осуществлялось от автомобильного аккумулятора через преобразователь электрического тока (Power Inverter 12/220V, 600W, HT-E-600).

Для определения силы сопротивления движению и тягового усилия объекта исследования применялась машина универсальная лесохозяйственная «Амкодор 2061» (щеповоз) с навесным оборудованием в виде бункера, грузенного щепой. При определении усилия сопротивления движению данная машина служила в качестве тягача, во время определения силы тяги – в качестве загрузочного устройства.

При определении усилий один конец тензометрического датчика электронного динамометра ДОР-3-И-200 монтировался к буксирному устройству технологического модуля задней части универсальной лесохозяйственной машины «Амкодор 2061», а другой – через трос к буксирному устройству опытного образца рубильной машины «Амкодор 2904» (рис. 7).

Определение максимального тягового усилия выполнялось в соответствии с ГОСТ 27247-87 (ИСО 7464-83) [12]. Технологическое оборудование устанавливалось в транспортном положении, были включены передний и задний мосты, блокировка межколесного дифференциала заднего моста. Регистрация параметров производилась в стоповом режиме и записывалась в журнал измерений. Перед каждым замером проводилась проверка работоспособности оборудования.



Рис. 7. Тензометрический датчик электронного динамометра ДОР-3-И-200

Включение и выключение измерительной аппаратуры выполнялось перед каждым дублированием замера.

Максимальное тяговое усилие опытного образца рубильной машины «Амкодор 2904» достигалось при включении переднего и заднего ведущего мостов, блокировки межколесного дифференциала заднего моста и (до буксования) для 1-й передачи переднего хода. Усилие сопротивления движению мобильной рубильной машины «Амкодор 2904» составило 15 кН.

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования мобильной рубильной машины позволили определить основные технико-эксплуатационные параметры машины (преодолеваемая наибольшая высота препятствия – 0,95 м; предельный угол поперечной устойчивости – 27 град.; максимальная скорость движения – 28,0 км/ч; усилие сопротивления движению – 15 кН; максимальное тяговое усилие – 144,4 кН и т.д.), используемые в дальнейших теоретических исследованиях [13–15].

Литература

1. Германович А. О. Обоснование параметров мобильной рубильной машины на базе многофункционального шасси для производства топливной щепы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2015. 26 с.
2. Бершадский А. Л., Цветаева Н. И. Резание древесины. Минск: Выш. шк., 1975. 303 с.
3. Facello A., Cavallo E., Spinelli R. Chipping machines: disc and drum energy requirements // Journal of agricultural engineering, 2013. Vol. XLIV (s2): e75. P. 378–380.
4. Вальщиков Н. М. Рубильные машины: учеб. для вузов. СПб.: Машиностроение, 1970. 328 с.
5. Германович А. О. Динамическая модель работы мобильной рубильной машины // Автомобиль и электроника. Современные технологии. 2013. № 2 (5). С. 75–78.
6. Арико С. Е. Обоснование параметров валочно-сучкорезно-раскряжевой машины для рубок промежуточного лесопользования: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2012. 25 с.
7. Глебов И. Т. Подъемно-транспортные машины отрасли. Оборудование и методы решения задач по механическому транспорту деревообрабатывающих предприятий. Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. 51 с.
8. Таубер Б. А. Подъемно-транспортные машины: учеб. для вузов; 5-е изд., перераб. и доп. М.: Экология, 1991. 528 с.

9. Бычек А. Н. Обоснование параметров бесчokerной трелевочной машины на базе трактора МТЗ-82: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2000. 20 с.
10. Жуков А. В. Теория лесных машин: учеб. пособие для вузов. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
11. Рахманов С. И., Гороховский К. Ф. Машины и оборудование лесоразработок. М.: Лесная пром-сть, 1967. 532 с.
12. Пищов С. Н. Применение двигателя комбинированного типа для повышения тягово-сцепных свойств лесных погрузочно-транспортных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2008. 20 с.
13. Лой В. Н., Германович А. О. Влияние различных характеристик древесного сырья на энергонасыщенность рубильной машины // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 21–24.
14. Германович А. О., Лой В. Н. Выбор мощности автономного двигателя рубильной машины // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 17–18 нояб. 2011 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. Могилев, 2011. С. 145.
15. Влияние характеристик древесного сырья на энергозатраты рубильной машины с верхним выбросом щепы / А. О. Германович [и др.] // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–22 апр. 2012 г. В 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. Могилев, 2012. Ч. 2. С. 13–14.

References

1. Germanovich A. O. *Obosnovaniye parametrov mobil'noy rubil'noy mashiny na baze mnogofunktsional'nogo shassi dlya proizvodstva toplivnoy shchepy: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Parameters substantiation of mobile chipper based on multifunctional chassis for wood chips production. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Minsk, 2015. 26 p.
2. Bershadskiy A. L., Tsvetaeva N. I. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1975. 303 p.
3. Facello A., Cavallo E., Spinelli R. Chipping machines: disc and drum energy requirements. *Journal of agricultural engineering*, 2013, vol. XLIV (s2): e75, pp. 378–380.
4. Val'shchikov N. M. *Rubitel'nyye mashiny* [Chippers]. St. Petersburg, Mashinostroyeniye Publ., 1970. 328 p.
5. Germanovich A. O. The dynamic model of the mobile chipper. *Avtomobil' i elektronika. Sovremennyye tekhnologii* [Car and electronics. Modern technology], 2013, no. 2 (5), pp. 75–78 (In Russian).
6. Arico S. E. *Obosnovaniye parametrov valochno-suchkorezno-raskryzhevochnoy mashiny dlya rubok promezhutochnogo lesopol'zovaniya. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Justification harvester parameters for intermediate forest cuttings. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Minsk, 2012. 25 p.
7. Glebov I. T. *Pod'yemno-transportnyye mashiny otrasli. Oborudovaniye i metody resheniya zadach po mekhanicheskomu transportu derevoobrabatyvayushchikh predpriyatiy* [Handling machinery industry. Equipment and methods for solving problems in mechanical wood processing enterprises Transport]. Ekaterinburg, UGLTU Publ., 2008. 51 p.
8. Tauber B. A. *Pod'yemno-transportnyye mashiny* [Handling machinery]. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 528 p.
9. Byчек А. Н. *Obosnovaniye parametrov beschokernoy trelevochnoy mashiny na baze traktora MTZ-82. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Justification settings beschokernoy skidder on the basis of MTZ-82: Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Minsk, 2000. 20 p.
10. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.
11. Rakhmanov S. I., Gorokhovskiy K. F. *Mashiny i oborudovaniye lesorazrabotok* [Machinery and equipment lumbering]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1967. 532 p.
12. Pishchov S. N. *Primeneniye dvizhitelya kombinirovannogo tipa dlya povysheniya tyagovo-stsepnnykh svoystv lesnykh pogruzochno-transportnykh mashin: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [The use of propeller type combined to enhance traction characteristics of forest cargo transport vehicles. Abstract of thesis cand. of engineer. sci.]. Minsk, 2008. 20 p.
13. Loy V. N., Germanovich A. O. Effect of various characteristics of raw wood on energy saturation of the chipper. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 20–23 (In Russian).

14. Germanovich A. O., Loy V. N. [Selection of power independent engine chipper]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodykh uchenykh* (“*Novyye materialy, oborudovaniye i tekhnologii v promyshlennosti*”) [Materials of the International scientific and technical conference of young scientists (“New materials, equipment and technologies in the industry”)]. Mogilev, 2011, p. 145 (In Russian).

15. Germanovich A. O., Loy V. N., Ariko S. E., Golyakevich S. A. [Influence of characteristics of wood raw material to the energy chipper with overhead discharge chips]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodykh uchenykh* (“*Materialy, oborudovaniye i resursosberegayushchiye tekhnologii*”) [Materials of the International scientific and technical conference of young scientists (“Materials, equipment and resource-saving technologies”)]. Mogilev, 2012, part 2, pp. 13–14 (In Russian).

Информация об авторе

Германович Александр Олегович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: germanovich@belstu.by

Information about the author

Hermanovich Alexander Olegovich – PhD (Engineering), senior lecturer, Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: germanovich@belstu.by

Поступила 01.10.2018