

## К ВОПРОСУ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ДРЕВЕСИНЫ ДИСКОВЫМИ РУБИТЕЛЬНЫМИ МАШИНАМИ С РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ ВЫБРОСА ЩЕПЫ

С.В. Фокин<sup>1</sup>, О.А. Фомина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 410012, г. Саратов, Театральная пл., д. 1

<sup>2</sup>Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Республики, д. 7

feht@mail.ru

Проанализированы новые технические решения, повышающие эффективность процесса выброса щепы из дисковых рубительных машинах, путем совершенствования конструктивно-технологических параметров элементов, участвующих в рабочем процессе эвакуации измельченной древесины. Рассмотрены различные конструкции дисковых рубительных машин, отличительной особенностью которых служит тип механизма выброса щепы. Анализ теоретических исследований в области изучения рабочего процесса эвакуации щепы из рубительной машины показал, что на него влияют конструкция диска, ширина и диаметр кожуха, размер и конструкция щепопровода, количество и размер вентиляционных лопаток. В соответствии с данными исследованиями, авторами предлагаются различные технические решения по изменению конструкции щепопровода для обеспечения эффективного транспортирования щепы. Для получения качественной щепы наибольшее практическое использование получили дисковые рубительные машины с верхним выбросом щепы, так как они являются наиболее удобным видом оборудования в условиях лесосеки. Конструктивные усовершенствования дисковых рубительных машин с верхним выбросом щепы необходимо проводить в направлении совершенствования конструктивно-технологических параметров рабочего процесса выброса щепы путем создания восходящих потоков воздуха в кожухе рубительного диска с возможностью механического доизмельчения щепы.

**Ключевые слова:** топливная щепка, теплотворная способность, рубительные машины, механизм выброса щепы

Ссылка для цитирования: Фокин С.В., Фомина О.А. К вопросу производства энергетической древесины дисковыми рубительными машинами с различными способами выброса щепы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 2. С. 68–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-68-73

В настоящее время при проведении сплошных рубок после механизированной заготовки древесины на лесосеках остается значительное количество древесной биомассы. Под древесной биомассой понимают остатки деревьев (сучья, ветви, вершины, куски стволовой древесины, пни, корни), образующиеся в процессе заготовки древесины на лесосеке и утратившие частично или полностью потребительскую стоимость исходного сырья. Перевозить такой материал для переработки невыгодно, а вот получать из него щепу непосредственно на лесосеке может быть экономически целесообразно. Поэтому производство на лесосеке топливной щепы позволяет энергетическим предприятиям не только расширить сырьевую базу, но и отказаться от дорогостоящих, энергоемких участков первичного измельчения, сократить площади хранения сырья. Предлагаемое современное оборудование для производства щепы весьма разнообразно и подбирается для решения конкретных производственных задач при изготовлении: плитных и строительных материалов, подстилающего материала для скота и птицы, кормовых добавок, материала для декорирования садов и устройства садовых дорожек, энергетической древесины. Производство энергетической древесины предусматривает применение стационарных и

мобильных рубительных машин. При этом наиболее широкое применение получили мобильные дисковые рубительные машины, так как их можно легко перевезти к месту нахождения сырья и они не требуют дополнительных работ по обеспечению рабочего процесса переработки отходов лесосечных работ (возведения фундамента, прокладывания энергетических коммуникаций). Данный тип рабочего оборудования легко агрегируется с тракторами общего назначения или же имеет свой независимый привод.

В настоящее время особую актуальность приобрела проблема использования древесных отходов в качестве топлива. Такие отходы образуются на лесосеках и представляют собой элементы кроны в количестве от 30 до 50 % относительно всего объема заготавливаемой древесины [1].

В развитых странах Европы отходы лесосечных работ используются для производства топливной щепы, брикетов, пеллетов, но в России проблема переработки древесных отходов для энергетических целей остается нерешенной. Как показывает практика, основная масса древесных остатков не находит технологического применения и остается на вырубках в виде валов или куч, так как лесозаготовка осуществляется сортиментным способом, поэтому с лесосеки вывозится только деловая древесина.

Исследования показали, что в России ежегодно вырубается 130 млн м<sup>3</sup> древесины, и данный показатель может быть увеличен до 550 млн м<sup>3</sup>. При этом древесные отходы составляют до 40 % или 370 млн м<sup>3</sup> предположительно с содержанием энергии до  $2,29 \times 10^{18}$  Дж [2]. Очевидным преимуществом древесной биомассы является то, что она практически не содержит серы — максимальное содержание серы в древесине составляет 0,05 %. Выбросы углекислого газа, образующиеся при сжигании любого биотоплива, минимальны. Поэтому древесина относится к CO<sub>2</sub>-нейтральным видам энергоресурсов и не считается загрязнителем атмосферы [3]. Анализ теплотворной способности самых распространенных видов топлива, которые используются в РФ, показал, что удельная теплота сгорания у продуктов нефтепереработки в среднем выше, чем у ископаемого твердого топлива, а теплотворность топлива из древесных отходов имеет схожие показатели с ископаемым [4].

Измельчение отходов древесины является основным этапом производства топливной древесной продукции. В настоящее время на предприятиях для измельчения древесных отходов в топливную щепу применяют рубительные машины различных конструкций [5]. Поскольку удаление щепы является конечным этапом производства энергетической древесины, который определяет качество и объем полученной продукции, то необходимо подробное рассмотрение существующих конструктивных схем выброса щепы из рубительных машин в целях совершенствования данной технологической операции [6, 7]. Для получения качественной щепы наибольшее практическое применение получили дисковые рубительные машины с верхним выбросом щепы, так как они являются наиболее удобным видом оборудования в условиях лесосеки. Благодаря тому, что для данного типа машин не требуется собственный двигатель, они компактны и применяются в любых местах заготовки древесины в пределах проходимости трактора [8].

## Цель работы

Целью работы является поиск новых технических решений, повышающих эффективность процесса выброса щепы из дисковых рубительных машин, путем совершенствования конструктивно-технологических параметров элементов, которые участвуют в рабочем процессе эвакуации измельченной древесины.

## Материалы и методы

Объектом исследования являются конструкции дисковых рубительных машин, отличительной особенностью которых служит тип меха-

низма выброса щепы. Анализ конструктивных особенностей рассматриваемого оборудования проводился на основе сравнительной характеристики качественных и количественных показателей производства энергетического материала.

## Результаты и обсуждение

Фракционный состав древесной щепы, предназначенной для энергетического использования, практически не нормируется, и на сжигание поступает щепа от рубительных машин без предварительной сортировки, а для практического использования топливной щепы содержание в топливе частиц длиной, свыше 100 мм и шириной менее 5 мм в количестве более 30 % нежелательно. Поэтому для наиболее эффективного сжигания дробленые древесные отходы доизмельчают для получения биомассы с равновеликими частицами [9]. Некоторые ученые проводили исследования конструкций оборудования и рабочего процесса эвакуации щепы из рубительной машины. Их исследования показали, что на процесс удаления щепы из кожуха рубительной машины влияют конструкция диска, ширина и диаметр кожуха, размер и конструкция щепопровода, количество и размер вентиляционных лопаток.

Применяемые на практике рубительные машины классифицируют следующим образом: по типу рабочего органа, мобильности, способам загрузки древесного сырья и удаления щепы из машины [10, 11]. По способам удаления щепы рубительные машины подразделяются на имеющие верхний, нижний и горизонтальный выбросы [12].

При верхнем выбросе щепу с помощью лопаток направляют по щепопроводу в бункер или контейнер, при нижнем — щепа под влиянием силы тяжести попадает на расположенный под машиной транспортер или бункер и направляется на дальнейшую переработку. При горизонтальном способе выброса щепы ее удаление происходит с помощью рубительного диска с ножами по направлению подачи сырья в машину.

Машины с верхним выбросом конструктивно проще, экономичнее и легче компонуются со смежным сортирующим оборудованием [13], в них при дроблении отпадают не полностью отделившиеся в процессе щепообразования волокна, а качество щепы после сортирования меньше подвержено изменениям при хранении и последующей транспортировке. Помимо прочего, дисковые рубительные машины с верхним выбросом щепы — самый удобный вид оборудования в условиях лесосеки вследствие того, что для них не требуется собственный двигатель, они компактны, а следовательно, могут использоваться в любых местах в пределах проходимости трактора [14, 15].

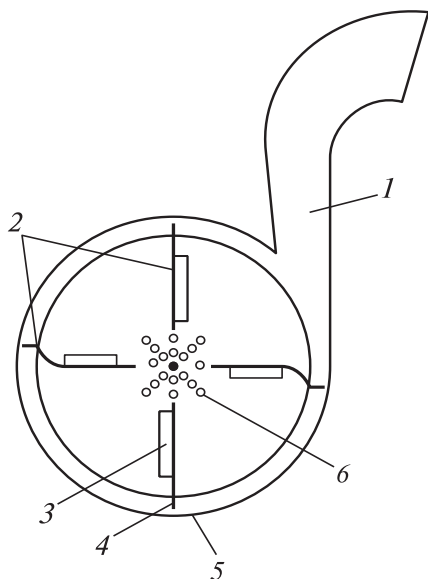


Схема механизма выброса щепы: 1 — щепопровод, 2 — лопатки, 3 — ребра, 4 — выступы прямоугольной формы, 5 — кожух измельчителя, 6 — отверстия в кожухе  
 Scheme of the chip ejection mechanism: 1 — chips, 2 — blades, 3 — ribs, 4 — rectangular protrusions, 5 — chopper casing, 6 — holes in the cover

Недостатком рубильных машин с верхним выбросом является значительное снижение качества щепы в виду ее ударов о кожух ножевого диска при ее выходе из-под ножей, а также интенсивный износ стенки кожуха. И то и другое обусловлено тем, что щепка, отделенная ножом от бревна с большой силой и значительной скоростью, ударяется о стенку кожуха и только затем подхватывается лопатками [16, 17].

Применение машин с нижним выбросом предпочтительно при выработке высококачественных видов щепы для производства целлюлозы, где особенно нежелательно ее повреждение. Основным недостатком рубильных машин с нижним выбросом является то, что сбор щепы, получаемой на этих машинах затруднен, вследствие расположения выходного окна щепопровода, поэтому данную конструктивную схему выброса щепы целесообразно применять в стационарных рубильных машинах.

Использование в конструкции рубильных машин горизонтального выброса щепы позволяет на 5–6 % увеличить выход частиц кондиционной фракции, так как при измельчении древесины происходит удар щепы о стенку кожуха машины, что при высокой скорости резания вызывает расслоение щепы, а результате возрастает доля мелкой фракции.

Проанализировав различные технические решения механизмов выброса щепы из рубильных машин, можно сделать вывод о том, что наибольшее распространение при производстве

топливной щепы получили мобильные дисковые рубильные машины с верхним выбросом щепы. Также следует учитывать, что при их конструктивном совершенствовании необходимо решать вопросы предохранения щепы от повреждений при ее эвакуации путем снижения ударной нагрузки щепы о заднюю стенку кожуха [18].

Данную проблему некоторые ученые [18, 19] предлагали решать с помощью изменения конструкции кожуха ножевого диска посредством ее изготовления выпуклой формы в зоне выхода потока щепы из подножевого отверстия. По мнению автора, такое выполнение задней стенки кожуха позволит изменить траекторию полета (косого удара) щепы и подачу сфокусированного потока на лопатку с последующим безударным выходом в патрубок трубопровода. Предлагалось заднюю стенку кожуха выполнить наклонно к торцевой плоскости ножевого диска под углом 15...30 град. и покрыть ее изнутри упругим покрытием с износостойким материалом, позволяющим снизить энергию удара щепы с задней стенкой кожуха на 30 %.

Предлагалось устанавливать дополнительные устройства внутри кожуха в виде кольцеобразного механизма впрыска жидкости со свободно установленной на валу крыльчаткой, имеющей винтообразные лопасти. Задача впрыска жидкости в зону вылета щепы заключалась в том, чтобы распыляемые струи увеличивали сопротивление потоку щепы, снижая трение частиц щепы при ударах о стенки кожуха и частиц щепы одну о другую.

Анализ теоретических исследований в области изучения рабочего процесса эвакуации щепы из рубильной машины показал, что на него влияют конструкция диска, ширина и диаметр кожуха, размер и конструкция щепопровода, количество и размер вентиляционных лопаток. В соответствии с этим авторы предлагают различные технические решения по изменению конструкции щепопровода для обеспечения эффективного транспортирования щепы, например сориентировать щепоотводящий патрубок так, чтобы снизилась энергия удара щепы о его конструктивные элементы. Установлено, что развиваемый диском и лопатками воздушный поток не способен обеспечить надежного транспортирования щепы из кожуха машины, поскольку создаваемый диском и лопатками поток воздуха способствует выбрасыванию только мелких частиц [20]. Следовательно, конструктивные усовершенствования дисковых рубильных машин с верхним выбросом щепы необходимо проводить в направлении совершенствования конструктивно-технологических параметров рабочего процесса выброса щепы, создавая восходящие потоки воздуха в кожухе рубильного диска с возможностью механического доизмельчения щепы. Для этого можно



использовать конструкцию механизма выброса щепы (рисунок).

Такая конструкция механизма выброса щепы имеет размещенные на поверхности лопаток ребра с выступами прямоугольной формы и отверстия в кожухе измельчающего диска, которые позволят создавать восходящие потоки воздуха, способные удалять полный объем щепы из рубительной машины.

## Выводы

1. Анализ теплотворной способности наиболее распространенных видов топлива показал, что удельная теплота сгорания продуктов нефтепереработки в среднем выше, чем ископаемого твердого топлива, а теплотворность топлива из древесных отходов имеет показатели, аналогичные ископаемому.

2. Для получения качественной щепы можно рекомендовать дисковые рубительные машины с верхним выбросом щепы, так как это наиболее подходящее оборудование для условий лесосеки.

3. На рабочий процесс эвакуации щепы из дисковых рубительных машин влияют конструкция диска, ширина и диаметр кожуха, размер и конструкция щепопровода, количество и размер вентиляционных лопаток.

4. Конструктивные усовершенствования дисковых рубительных машин с верхним выбросом щепы необходимо проводить в направлении совершенствования конструктивно-технологических параметров рабочего процесса выброса щепы путем создания восходящих потоков воздуха в кожухе рубительного диска с возможностью механического доизмельчения щепы.

## Список литературы

- [1] Алешина А.С. Газификация растительной биомассы в газогенераторах кипящего слоя: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04. СПб.: СПбГПУ, 2013. 21 с.
- [2] Pobedinsky V.V., Gazizov A.M., Sannikov S.P., Pobedinskiy A.A. Dielectric Permeability of Forestry Depending on Environmental Parameters in Radio Frequency Monitoring // *Mordovia University Bulletin*, 2018, no. 28(2), pp. 148–163.
- [3] Астафуров А.О. Управление замещением традиционной углеводородной энергетики эколого-ориентированной биоэнергетикой: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. М.: Государственный университет управления, 2012. 28 с.
- [4] Фокин С.В., Фомина О.А. Об основных видах энергетической древесины // *Forest Engineering* / ред. И.И. Слепцов. Якутск: Якутская ГСХА, 2018. С. 273–276.
- [5] Фокин С.В., Фомина О.А. Современное состояние лесного и лесоперерабатывающего комплекса Западной Сибири // Сборник статей II Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. «Современные научно-практические решения в АПК», Тюмень, 26 октября 2018 г. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2018. С. 149–152.
- [6] Фокин С.В., Фомина О.А. Способы транспортирования щепы из рубительных машин // *Науч. жизнь*, 2018, № 2. С. 10–15.
- [7] Фокин С.В., Фомина О.А. Об использовании математических методов моделирования рубительных машин // Материалы 17-й Междунар. молодежной науч.-практ. конф. «Фундаментальные исследования, методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике» (Новочеркасск, 06–07 сентября, 2018). Новочеркасск: Лик, 2018. С. 158–159.
- [8] Линник В. Ю., Линник Ю. Н. Состояние и перспективы развития биоэнергетики // *Вестник университета*, 2019. № 10. С. 59–66. DOI 10/26425/1816-4277-2019-10-59-66
- [9] Фокин С.В., Шпортько О.Н. Основные экологические и лесотехнические требования, предъявляемые к рубительным машинам фрезерного типа для измельчения древесины // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*, 2015. Т. 3. № 2. С. 144–146.
- [10] Фокин С.В. Совершенствование технических средств переработки отходов лесосечных работ на топливную щепу в условиях вырубki. М: ИНФРА-М, 2018. 187 с.
- [11] Фокин С.В., Шпортько О.Н., Бурлаков А.С. Экологосберегающие технологии при ведении современных агролесомелиоративных мероприятий // *Науч. жизнь*, 2017. № 7. С. 77–90.
- [12] Алексеев А.Е., Думанский А.И., Думанский И.О. Выбор режимов лазерной термической обработки ножей рубительных машин для переработки сухостойной древесины // *ИВУЗ. Лесной журнал*, 2015. № 3 (345). С. 84–92.
- [13] Васильев С.Б., Шегельман И.Р. Формирование технологических процессов и обоснование параметров оборудования для производства технологической щепы. Петрозаводск: Карельская инженерная академия, 2000. 52 с.
- [14] Фокин С.В., Шпортько О.Н. Обоснование конструкции машин фрезерного типа для получения биотоплива в условиях лесов степной и лесостепной зон Поволжья // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*, 2014. Т. 5. № 3 (10). С. 156–160.
- [15] Сюнев В.С., Селиверстов А.А., Герасимов Ю.Ю., Соколов А.П. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет: учеб. пособие. Йоэнсуу: METLA, 2011. 143 с.
- [16] Головкин С.И., Коперин И.Ф., Найденов В.И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесн. пром-сть, 1987. 224 с.
- [17] Фокин С.В., Шпортько О.Н., Цыплаков В.В. Об использовании древесных отходов при восстановлении защитных лесных полос // *Науч. жизнь*, 2015, № 6. С. 134–142.
- [18] Фокин С.В., Фетяев А.Н. Технико-экономическое обоснование применения опытного образца рубительной машины // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*, 2015. Т. 3. № 5–3 (16-3). С. 201–204.
- [19] Цыгарова М.В. Использование передвижной рубительной машины для переработки порубочных остатков при заготовке древесины и рубках ухода // *Леса России в XXI веке: Материалы XI Междунар. науч.-техн. интернет-конф., посвященной 85-летию Лесоинженерного факультета СПбГЛТУ и 95-летию кафедры сухопутного транспорта леса*, Санкт-Петербург, 08–10 октября 2014 г. СПб.: СПбГЛТУ, 2014. С. 170–172
- [20] Колесникова А.В. Лесопользование на территории Сибири и Дальнего Востока: состояние и динамика // *Вестник Забайкальского государственного университета*, 2015. № 6 (121). С. 127–142.



## Сведения об авторах

**Фокин Сергей Владимирович** — д-р техн. наук, профессор кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства Саратовского государственного аграрного университета, feht@mail.ru

**Фомина Ольга Александровна** — ст. преподаватель кафедры лесного хозяйства, деревообработки и прикладной механики государственного аграрного университета Северного Зауралья, os-stolbova@mail.ru

Поступила в редакцию 29.10.2019.

Принята к публикации 12.02.2020.

## ENERGY WOOD PRODUCTION BY DISK CHIPPERS WITH VARIOUS METHODS OF CHIP DISCHARGE

S.V. Fokin<sup>1</sup>, O.A. Fomina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saratov State Agrarian University named after N.I. Babilov, 1, Theatre Sq., 410012, Saratov, Russia

<sup>2</sup>State Agrarian University of Northern Zauria, 7, Republic st., 625003, Tyumen, Russia

feht@mail.ru

The study gives the analysis of the new technical solutions that increase the process efficiency of chips discharge from disk chippers by improving the structural and technological parameters of the elements involved in the evacuation process of chopped wood. Various designs of disk chippers are considered, the distinctive feature of which is the type of chip discharge mechanism. An analysis of theoretical studies in the field of studying the process of chip discharge from a chipper showed that it is affected by the design of the disk, the width and diameter of the casing, the size and construction of the chip discharge tube, the number and size of ventilation blades. In accordance with these studies, the authors propose various technical solutions for changing the design of the chip discharge tube to ensure efficient transportation of chips. To obtain high-quality wood chips, disk chippers with an upper chip discharge have received the greatest practical use, since they are the most convenient type of equipment in the conditions of the cutting area. Structural improvements of disk chippers with an upper chip discharge must be carried out in the direction of improving the structural and technological parameters of the chip discharge workflow by creating ascending air flows in the chipper disk casing with the possibility of mechanical chip grinding.

**Keywords:** fuel chips, calorific value, chippers, chip discharge mechanism

**Suggested citation:** Fokin S.V., Fomina O.A. *K voprosu proizvodstva energeticheskoy drevesiny diskovymi rubitel'nyimi mashinami s razlichnymi sposobami vybrosa shchepy* [Energy wood production by disk chippers with various methods of chip discharge]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 68–73.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-68-73

## References

- [1] Aleshina A.S. *Gazifikatsiya rastitel'noy biomassy v gazogeneratorakh kipyashchego sloya* [Gasification of plant biomass in fluidized bed gas generators]. Abstract. Diss. Sci. (Tech.): 05.14.04. St. Petersburg: SNbSPU, 2013, 21 p.
- [2] Pobedinsky V.V., Gazizov A.M., Sannikov S.P., Pobedinskiy A.A. Dielectric Permeability of Forestry Depending on Environmental Parameters in Radio Frequency Monitoring. *Mordovia University Bulletin*, 2018, no. 28 (2), pp. 148–163.
- [3] Astafurov A.O. *Upravlenie zameshcheniem traditsionnoy uglevodородной energetiki ekologo-orientirovannoy bioenergetikoy* [Substitution management of traditional hydrocarbon energy with ecologically oriented bioenergy]. Abstract. Diss. Sci. (Econ.) 08.00.05. Moscow: State University of Management, 2012, 28 p.
- [4] Fokin S.V., Fomina O.A. *Ob osnovnykh vidakh energeticheskoy drevesiny* // *Forest Engineering*. Ed. Sleptsov I.I., Yakutsk, May 30–31, 2018, 2018. Yakutsk: Yakutsk State Agricultural Academy, 2018, pp. 273–276.
- [5] Fokin S.V., Fomina O.A. *Sovremennoe sostoyanie lesnogo i lesoperabatyvayushchego kompleksa Zapadnoy Sibiri* [The current state of the forest and forest processing complex in Western Siberia] *Sbornik statey II Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennye nauchno-prakticheskie resheniya v APK»* [Collection of articles of the II All-Russian (national) scientific and practical conference «Modern scientific and practical solutions in the agricultural sector»], Tyumen, October 26, 2018. Tyumen: Northern Trans-Ural State Agricultural University, 2018, pp. 149–152.
- [6] Fokin S.V., Fomina O.A. *Sposoby transportirovaniya shchepy iz rubitel'nykh mashin* [Methods for transporting wood chips from chippers] *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], 2018, no. 2, pp. 10–15.
- [7] Fokin S.V., Fomina O.A. *Ob ispol'zovanii matematicheskikh metodov modelirovaniya rubitel'nykh mashin* [On the use of mathematical methods for modeling chippers] *Materialy 17-y Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Fundamental'nye issledovaniya, metody i algoritmy prikladnoy matematiki v tekhnike, meditsine i ekonomike»* [Materials of the 17th International Youth Scientific and Practical Conference «Fundamental Research, Methods and Algorithms of Applied Mathematics in Engineering, Medicine and Economics»], Novocheerkassk, September 06–07, 2018. Novocheerkassk: Lik, 2018, pp. 158–159.
- [8] Linnik V. Yu., Linnik Yu. N. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya bioenergetiki* [State and prospects of bioenergy development] *Vestnik universiteta* [University Bulletin], 2019, no. 10, pp. 59–66. DOI 10/26425 / 1816-4277-2019-10-59-66

- [9] Fokin S.V., Shport'ko O.N. *Osnovnye ekologicheskie i lesotekhnicheskie trebovaniya, pred'yavlyаемые k rubitel'nyim mashinam frezernogo tipa dlya izmel'cheniya drevesiny* [The main environmental and forestry requirements for chipper milling machines for wood chopping] *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, v. 3, no. 2, pp. 144–146.
- [10] Fokin S.V. *Sovershenstvovanie tekhnicheskikh sredstv pererabotki otkhodov lesosechnykh rabot na toplivnyuyu shchepu v usloviyakh vyrubki* [Improving the technical means of processing logging waste for fuel chips in the conditions of felling]. Moscow: INFRA-M, 2018, 187 p.
- [11] Fokin S.V., Shport'ko O.N., Burlakov A.S. *Ekologosberegayushchie tekhnologii pri vedenii sovremennykh agrolesomeliorativnykh meropriyatiy* [Ecological technologies in the conduct of modern agroforestry measures] *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], 2017, no. 7, pp. 77–90.
- [12] Alekseev A.E., Dumanskiy A.I., Dumanskiy I.O. *Vybor rezhimov lazernoy termicheskoy obrabotki nozhey rubitel'nykh mashin dlya pererabotki sukhostoynoy drevesiny* [The choice of laser heat treatment of knives of chipping machines for processing dry wood] *IVUZ. Forest Journal*, 2015, no. 3 (345), pp. 84–92.
- [13] Vasil'ev S.B., Shegel'man I.R. *Formirovaniye tekhnologicheskikh protsessov i obosnovaniye parametrov oborudovaniya dlya proizvodstva tekhnologicheskoy shchepy* [Formation of technological processes and substantiation of the parameters of equipment for the production of technological chips]. Petrozavodsk: Karelian Academy of Engineering, 2000, 52 p.
- [14] Fokin S.V., Shport'ko O.N. *Obosnovaniye konstruktssii mashin frezernogo tipa dlya polucheniya biotopliva v usloviyakh lesov stepnoy i lesostepnoy zon Povolzh'ya* [Justification of the design of milling machines for biofuels in the forests of the steppe and forest-steppe zones of the Volga region] *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2014, v. 5, no. 3 (10), pp. 156–160.
- [15] Syuney V.S., Seliverstov A.A., Gerasimov Yu.Yu., Sokolov A.P. *Lesosechnye mashiny v fokuse bioenergetiki: konstruktssii, proektirovaniye, raschet* [Logging machines in the focus of bioenergy: construction, design, calculation: textbook. allowance]. Joensuu: METLA, 2011, 143 p.
- [16] Golovkov S.I., Koperin I.F., Naydenov V.I. *Energeticheskoe ispol'zovaniye drevesnykh otkhodov* [Energy use of wood waste]. Moscow: Lesn. prom-st' [Forest industry], 1987, 222 p.
- [17] Fokin S.V., Shport'ko O.N., Tsyplakov V.V. *Ob ispol'zovanii drevesnykh otkhodov pri vosstanovlenii zashchitnykh lesnykh polos* [About the use of wood waste in the restoration of protective forest belts]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], 2015, no. 6, pp. 134–142.
- [18] Fokin S.V., Fetyaev A.N. *Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovaniye primeneniya opytного obraztsa rubitel'noy mashiny* [Technical and economic rationale for the use of a prototype chopper] *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, v. 3, no. 5–3 (16-3), pp. 201–204.
- [19] Tsygarova M.V. *Ispol'zovaniye peredvizhnoy rubitel'noy mashiny dlya pererabotki porubochnykh ostatkov pri zagotovke drevesiny i rubkakh ukhoda* [The use of a mobile chipping machine for processing logging residues during logging and thinning] *Lesa Rossii v XXI veke: materialy XI mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy internet-konferentsii, posvyashchennoy 85-letiyu Lesoinzhenernogo fakul'teta SPbGLTU i 95-letiyu kafedry sukhoputnogo transporta lesa Sankt-Peterburg* [Forests of Russia in the XXI century: materials of the XI international scientific and technical Internet conference dedicated to the 85th anniversary of the Forest Engineering Faculty of St. Petersburg State Technical University and the 95th anniversary of the Department of Land Transport of Forests St. Petersburg], October 08–10, 2014, 2014, pp. 170–172.
- [20] Kolesnikova A.V. *Lesopol'zovaniye na territorii Sibiri i Dal'nego Vostoka: sostoyaniye i dinamika* [Forest management in Siberia and the Far East: status and dynamics] *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Trans-Baikal State University], 2015, no. 6 (121), pp. 127–142.

## Authors' information

**Fokin Sergey Vladimirovich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Forestry and Landscape Construction of the Saratov State Agrarian University, feht@mail.ru

**Fomina Ol'ga Aleksandrovna** — Senior Lecturer of the Department of Forestry, Woodworking and Applied Mechanics of the State Agrarian University of Northern Zauria, os-stolbova@mail.ru

Received 29.10.2019.

Accepted for publication 12.02.2020.