

## Топливные брикеты новой конфигурации

А.Р. Бирман<sup>a</sup>, Н.А. Белоногова<sup>b</sup>, В.А. Соколова<sup>c</sup>, А.С. Кривоногова<sup>d</sup>, Нгуен Ван Тоан<sup>e</sup>

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, пер. Институтский 5, Санкт-Петербург, Россия

<sup>a</sup>birman1947@mail.ru, <sup>b</sup>graph@spbftu.ru, <sup>c</sup>sokolova\_vika@inbox.ru, <sup>d</sup>krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com,

<sup>e</sup>toanckct@gmail.com

Статья поступила 5.09.2016, принята 11.11.2016

*В статье рассматривается вопрос об использовании энергетического потенциала древесной биомассы — древесных топливных брикетов, технология производства которых основана на процессе прессования мелкоизмельченных сухих отходов древесины (опилок, щепы, коры). Исследованы перспективы увеличения объема древесных отходов за счет развития лесопиления в РФ. Приведены преимущества древесных топливных брикетов в сравнении с другими видами твердого топлива. Брикеты, используемые в настоящее время, имеют цилиндрическую или прямоугольную форму. Предлагается разработка новой технологии и оборудования для производства древесных брикетов (из опилок или коры) сферической формы. Достоинствами этих типов брикетов являются минимальные требования к организации производства и низкая себестоимость. Брикеты отличаются высокой калорийностью и длительным временем горения. Высокая теплотворная способность брикета достигается, с одной стороны, благодаря большой плотности после прессования, с другой — за счет небольшой остаточной влажности (как правило, менее 10 %). Установлено, что сжигание древесных топливных брикетов с использованием эффективного теплопроизводящего оборудования позволяет получить в 2–4 раза больше тепловой энергии по сравнению с технологиями сжигания первичных видов древесного топлива (дров). Приводятся данные сравнительных теплотехнических экспериментов работы котла КВ-Р-1 с номинальной теплопроизводительностью 1,0 МВт. Предложены технологии и оборудование для изготовления не только топливных, но и технологических брикетов практически любой конфигурации. Предлагаемое оборудование позволяет изготовить топливные брикеты с равноплотными слоями, начиная с наружного, что обеспечит повышение прочности, равномерное расположение брикетов в топке, их равномерное горение, а также упрощение подачи брикетов в топку.*

**Ключевые слова:** топливные брикеты; древесные отходы; топливо.

## A new shape of fuel briquettes

A.R. Birman<sup>a</sup>, Nataliy Belonogova<sup>b</sup>, Victoria Sokolova<sup>c</sup>, Aleksandra Krivonogova<sup>d</sup>, Nguen Van Toan<sup>e</sup>

St. Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, 5, Institutskiy per., St. Petersburg, Russia

<sup>a</sup>birman1947@mail.ru, <sup>b</sup>graph@spbftu.ru, <sup>c</sup>sokolova\_vika@inbox.ru,

<sup>d</sup>krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com, <sup>e</sup>toanckct@gmail.com

Received 5.09.2016, accepted 11.11.2016

*The article considers the problem of the use of energy potential of wood biomass. The technological process of wood fuel briquettes production is based on the process of pressing multi-crushed dry wood waste, such as sawdust, spill and bark. The prospects of increase in volumes of wood waste due to the development of sawmilling in the Russian Federation are considered. The advantages of wood fuel briquettes in comparison with other types of solid fuel are given. The briquettes, now in use, are of cylindrical or rectangular shape. The development of a new technology and equipment for production of wood briquettes (from sawdust or bark) of spherical shape is offered. The advantages of these types of briquettes are: low production requirements and low cost price. Briquettes are notable for high calorificity and longer burning time. The high calorific value of a briquette is reached, on the one hand, thanks to greater density after pressing, and, on the other hand, due to small residual humidity (as a rule, less than 10%). It is determined that burning of wood fuel briquettes with the help of effective heat producing equipment allows to receive 2-4 times more thermal energy from the available potential of fuel wood in comparison with burning technologies of primary types of wood fuel (firewood). The comparative data, given in the article, include a technical express-test of boiler KB-P-1 work with a nominal heating capacity of 1,0 MW. Technologies and equipment for the production of not only fuel, but also technological briquettes of any shape are offered. This equipment allows the production of fuel briquettes with the layers of equal density, including an external one. The production technology provides the increase of fuel briquettes durability, feed simplification, uniform arrangement of fuel briquettes in a fire chamber and steady burning.*

**Keywords:** fuel briquettes; wood waste; fuel.

### Введение

Возрастающий рост потребления и постепенное исчерпание разработанных месторождений нефти и газа, стремительный рост цен на традиционные энергоносители, а также проблемы экологии, вызывающие все боль-

шую озабоченность мирового сообщества, заставляют человечество все активнее использовать резервы возобновляемых источников энергии.

Возможности России в переработке биомассы практически неограниченны, так как общий лесной прирост

намного опережает лесозаготовки [1]. Однако в перспективе, по мнению промышленных аналитиков, высококачественные пиломатериалы будут производиться в основном в России, что приведет к уменьшению объемов пиловочника, идущего на экспорт, сокращению производства пиломатериалов и, следовательно, отходов лесопиления в Западной Европе [2]. Для России же, напротив, это будет означать резкое увеличение древесных отходов и создание условий, при которых может развиваться значительный рынок прессованного биотоплива [3].

Брикетированное биотопливо является реальной альтернативой каменному углю и нефти, так как не уступает по теплотворным характеристикам углю, а его экологические параметры вообще вне конкуренции [4].

Использование древесного топлива становится все более актуальным в России. Так, в качестве одного из приоритетных направлений в области нетрадиционной энергетики Государственной программой России «Экологически чистая энергетика» рассматривается значительное использование энергетического потенциала древесной биомассы [5].

При этом на фоне всеобщего «пеллетного бума» последних лет специалисты незаслуженно отодвинули на второй план древесные топливные брикеты, в основе технологии производства которых лежит процесс прессования мелко измельченных сухих отходов древесины (опилок, щепы, коры) [6].

Брикеты, используемые в настоящее время, имеют цилиндрическую или прямоугольную форму. Известен 4- или 6-гранный брикет с радиальным отверстием, массой от 0,5 до 2 кг [7, 8, 9].

Достоинствами этих типов брикетов являются минимальные требования к организации производства и низкая себестоимость [10]. Брикеты отличаются высокой калорийностью и длительным временем горения [11]. Высокая теплотворная способность брикета достигается, с одной стороны, благодаря большой плотности после прессования [12], с другой — за счет небольшой остаточной влажности (как правило, менее 10 %).

Древесные топливные брикеты имеют следующие преимущества в сравнении с другими видами твердого топлива [13]:

1. Теплотворная способность брикетов — 4,5–5,0 кВтч/кг, то есть выше, чем у дров, сопоставима с пеллетами и отдельными видами углей.

2. Брикеты не нуждаются в предварительной сушке, горят с минимальным количеством дыма, не «стреляют» и не искрят.

3. Брикеты имеют постоянную температуру на всем продолжении горения, при его высокой длительности.

4. Низкая зольность (0,5–1,0 %). После сгорания брикетов остается пепел, а не угли, как при сжигании других видов твердого топлива.

5. Стоимость брикетов ниже стоимости пеллет. К сырью для производства брикетов нет таких жестких требований, как к пеллетному (в частности, по содержанию коры); брикетирующие линии дешевле и, соответственно, себестоимость производства ниже.

6. Котлы (и камины) для брикетов просты в обслуживании, не требуют специально оборудованных мест

для складирования и автоматической подачи топлива, а потому дешевле пеллетных; брикетами, в отличие от пеллет, можно заменять другие виды твердого топлива (уголь, дрова) без модернизации котлов и печей. Именно поэтому производители пеллетных котлов в последнее время включают в линейку своей продукции комбинированные котлы, которые могут работать и на брикетах.

7. Выброс оксида углерода в атмосферу при сгорании топливных брикетов минимален.

8. Возможно длительное хранение брикетов без ухудшения их качественных характеристик, отрицательного влияния на окружающую среду [14]; топливные брикеты пожаро- и взрывобезопасны.

9. Использование брикетов обеспечивает улучшение условий труда обслуживающего персонала котельных.

**Методика исследования.** В зависимости от условий использования [15] можно применять брикеты различной плотности [16]. Достижение заданной плотности брикета осуществляется [17] установкой на подвижной плите устройства различного количества пуансонов, формирующих сферическую форму изделия.

Минимальное число пуансонов — два: первый осуществляет подпрессовку измельченной древесины, второй обеспечивает формообразование и плотность готового изделия.

С увеличением плотности [18] пропорционально увеличивается количество пуансонов, устанавливаемых за пуансоном, осуществляющим подпрессовку. Число прессующих пуансонов определяется эмпирически, в зависимости от требуемой степени уплотнения прессуемой массы [19].

**Результаты исследования.** Сжигание древесных топливных брикетов и использование для этого эффективного теплопроизводящего оборудования позволяет получить в 2–4 раза больше тепловой энергии из имеющегося потенциала топливной древесины по сравнению с технологиями сжигания первичных видов древесного топлива (дров).

Сравнительные теплотехнические экспериментальные работы котла КВ-Р-1 с номинальной теплопроизводительностью 1,0 МВт дают следующие практические результаты:

- процесс горения древесных топливных брикетов в топках котла характеризуется устойчивостью и равномерностью;

- при небольшой разнице теплотворной способности угля (4 920 ккал/кг) и топливных брикетов (4 291 ккал/кг) КПД котлов при использовании топливных брикетов достигает 51,83 %, что на 5,28 % превышает показатели каменного угля;

- расход условного топлива на 1 Гкал выработанного тепла: каменный уголь — 306,9 кг у.т./Гкал, топливные брикеты — 276,1 кг у.т./Гкал;

- наблюдается снижение коррозии поверхности котлов, дымоходов и дымовых труб;

- выбросы сажи, золы и других твердых частиц при сжигании брикетов практически отсутствуют; количество золы при использовании брикетов минимально, очистку пространства под колосниками достаточно

производить один раз в сутки, а золу можно использовать для удобрения и раскисления почвы, избегая таким образом проблем с утилизацией шлака;

- отсутствуют угольная пыль и грязь, упрощается и облегчается подача топлива в топку, не требуется частое удаление шлака, имеющего высокую температуру и выделяющего газообразные продукты, в том числе угарный газ.

Нами предлагается разработка новой технологии и оборудования для производства древесных брикетов (из опилок или коры) сферической формы.

Необходимость реализации предлагаемого технического решения заключается в том, что цилиндрические или иные, не шарообразные, брикеты, при всех перечисленных достоинствах, имеют ряд существенных недостатков, обусловленных именно конфигурацией (формой) готового брикета:

- неравноплотность брикета в направлении прессующего усилия [20], а, значит, существенные различия прочностных свойств готового изделия по его объему;

- неравномерность расположения не шарообразных (цилиндрических или прямоугольных) брикетов в топках котлов или печей (где-то легли, как спички в коробке, а где-то расположились хаотически). Это приводит к неравномерному поступлению и распределению воздуха [21] к брикетам в процессе их горения, нарушению режима горения, градиенту теплового поля, неполному сгоранию топлива и повышению зольности;

- необходимость использования механизмов принудительной подачи брикетов в топку, так как хаотично ориентированные брикеты не сферической формы неспособны самостоятельно и равномерно перемещаться, например, по наклонной плоскости только за счет силы их тяжести;

- требуются значительные усилия при формовании брикетов, что усложняет конструкцию прессового оборудования;

- наличие кромок на поверхности брикетов, которые легко разрушаются при хранении и транспортировке. Это снижает объем топливной биомассы и требует организации сбора и утилизации отходов.

Достоинства сферических брикетов:

- радиальное усилие прессования (от периферии к центру) определяет максимальные плотность и равномерность наружного слоя сферического брикета;

- шарообразная форма брикетов априори определяет их равномерное расположение в топке, а, значит, равномерный подвод воздуха ко всему объему биотоплива и равномерный режим горения;

- формообразование сферических брикетов требует наименьшего усилия прессования по отношению к брикетам любой иной формы;

- сферические брикеты легко скатываются в топку по наклонной плоскости; их поток легко контролируется и дозируется;

- сферические брикеты не имеют кромок, следовательно, не разрушаются при хранении и транспортировке, не образуют отходов.

Прессовое оборудование для производства сферических брикетов [22] изображено на рис. 1, 2.

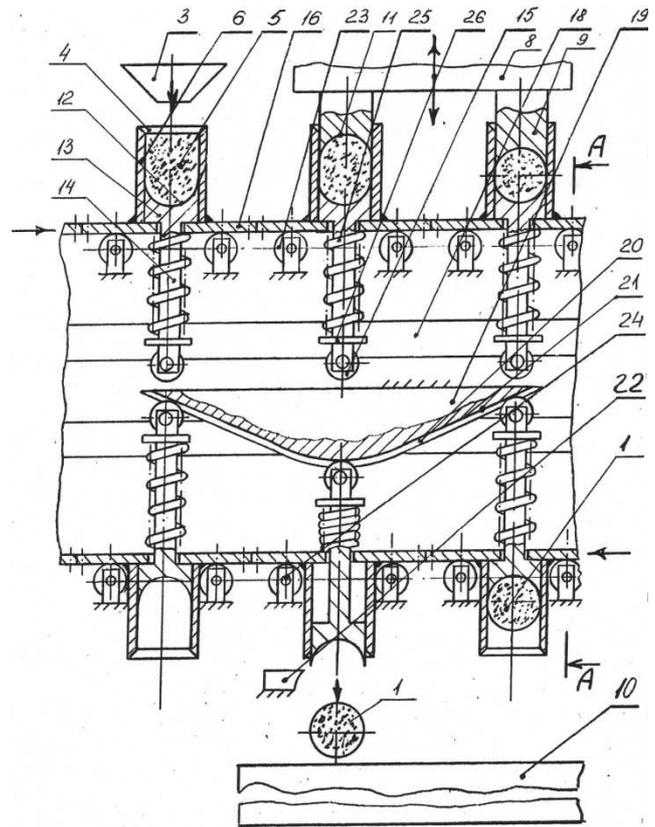


Рис. 1. Устройство для изготовления брикетов сферической формы

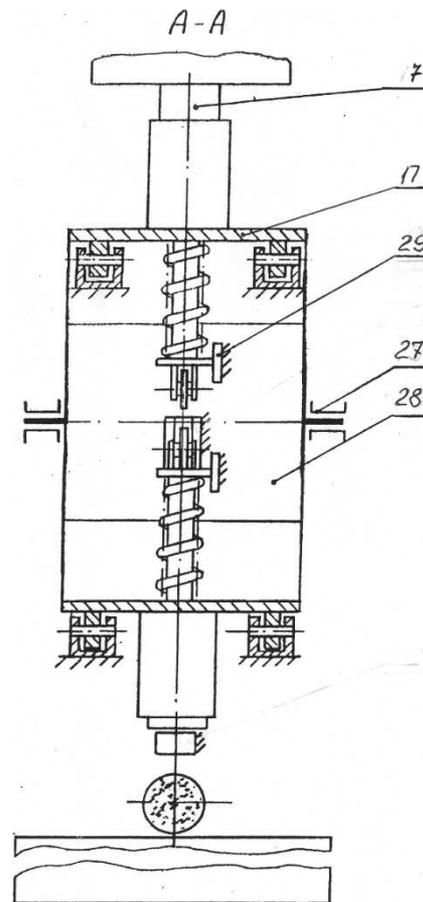


Рис. 2. Разрез А-А по рис. 1

Оборудование для изготовления топливных брикетов 1 включает станину 2, дозатор 3, матрицы 4 для прессуемой массы 5, содержащие цилиндрическую боковую поверхность 6, механизм создания прессующего усилия 7. Последний выполнен в виде группы смонтированных на плите 8 пуансонов 9, длины которых последовательно увеличиваются к концу стадии брикетирования, а также приемник 10 готовых брикетов и привод.

Каждый пуансон 9 имеет полусферическую рабочую поверхность 11, а каждая из матриц 4 снабжена имеющим полусферическую рабочую поверхность 12 вертикально подвижным дном 13, жестко скрепленным с подпружиненным ползуном 14, содержащим на конце ролик 15. При этом матрицы 4 смонтированы на траках 16 конвейера 17. На станине 2 устройства смонтированы прямолинейная направляющая 18 и кулачок 19 с криволинейной направляющей 20 на его нижней поверхности 21 для перемещения по направляющим 18 и 20 роликов 15 ползунов 14.

На выходе брикетов 1 из устройства смонтирован отбойник 22, предназначенный для воздействия на готовое изделие 1 в момент его высадки из устройства. Траки 16 верхней ветви конвейера 17 опираются на опоры качения 23, а нижней ветви — на опоры качения 24. На хвостовик каждого из ползунов 14 установлены пружина 25 и квадратная шайба 26, жестко скрепленная с хвостовиком. Квадратная шайба 26 предназначена для исключения вращения ползуна 14 вокруг своей оси за счет контакта с направляющей 29. Вал ведущего барабана 28 конвейера 17 смонтирован в подшипниках 27.

Устройство для производства сферических брикетов работает следующим образом.

Из дозатора 3 измельченные древесные материалы, например опилки, загружают в матрицу 4 пресс-формы. Затем включают привод конвейера 17 с траками 16, и загруженная матрица 4 пресс-формы перемещается на некоторое расстояние (шаг) и останавливается соосно с первым из пуансонов 9 (наиболее короткий), рабочая поверхность которого выполнена в виде полусферы. При опускании пуансонов происходит подпрессовка древесной массы. При этом ролики 15 ползуна 14 перемещаются по прямолинейной направляющей 18, а ползун 14 опирается на траки 16, прогиб которых за счет усилия прессования предотвращают опоры 23, жестко скрепленные со станиной 2 устройства.

При дальнейшем перемещении траков 16 конвейера 17 на один шаг пресс-форма останавливается соосно со вторым пуансоном 9 (более длинным), и происходит окончательное формирование древесной массы 5 в шар.

Отметим, что количество пуансонов 9 может быть больше двух, в зависимости от требуемого числа ударов пуансона 9 с целью достижения окончательной плотности и формы древесной массы.

При дальнейшем движении траки 16 огибают ведущий барабан 28, вращающийся на валу, укрепленном в подшипниках 27, при этом ролики 15 ползунов 14 постепенно начинают перемещаться по криволинейной направляющей 20 кулачка 19, и происходит перемещение ползунов 14 вдоль матриц 4, которые постепенно переворачиваются загрузочным отверстием вниз.

При этом происходит принудительная высадка готового изделия 1 в приемник 10.

Для исключения прогиба траков 16 в момент высадки готового изделия 1 нижняя ветвь конвейера 17 с траками 16 опирается на вращающиеся опоры 24, жестко скрепленные со станиной устройства. При перемещении пресс-формы с матрицей 4 на следующую после высадки позицию пружина 15 возвращает ползун 14 в исходное положение.

### Выводы

Устройство позволяет изготовить топливные брикеты с равноплотными слоями, начиная с наружного, что обеспечивает повышение прочности и равномерное расположение топливных брикетов в топке, равномерное горение, а также упрощение подачи брикетов в топку. Это достигается благодаря сферической форме брикетов.

По предлагаемой технологии и на описанном оборудовании возможно изготовление не только топливных, но и технологических брикетов практически любой конфигурации.

### Литература

1. Кривоногова А.С. Совершенствование технологии подготовки древесины мягких лиственных пород для производства угля высокого качества: автореф. дис.... канд. техн. наук. СПб., 2015. 265 с.
2. Grigorev I.V., Grigorev G.V., Nikiforova A.I., Kunitckaia O.A., Dmitrieva I.N., Khitrov E.G., Pásztor Z. Experimental study of impregnation birch and aspen samples // BioResources. 2014. Т. 9, № 4. С. 7018-7026.
3. Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан. Модификация древесины мягких лиственных пород методом глубокого уплотнения // Научное обозрение. 2015. Вып. 17. С. 90-94.
4. Кривоногова А.С., Белоногова Н.А., Бирман А.Р. Теоретическое обоснование взаимосвязи процесса глубокого уплотнения древесины и эксплуатационных характеристик // Вестн. Нижневар. гос. ун-та. 2015. № 3. С. 54-61.
5. Кривоногова А.С. Нгуен Ван Тоан, Соколова В.А., Бирман А.Р. Статистические показатели эксплуатационных характеристик модифицированной древесины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. тр. по материалам междунар. заочной науч.-практ. конф. ВГЛТА. Воронеж, 2015. Ч. 2. С. 239-243.
6. Vasiliev A.S., Shegelman I.R., Shchukin P.O. Special aspects of patent search for innovations in the field of rock disintegration equipment // Innovation in industry and social sphere: the proceedings of the national SIK. Petrozavodsk state University. Petrozavodsk, 2015. P. 17-18.
7. Куницкая О.А., Григорьев И.В. Переработка низкотемпературной древесины: проблемы и перспективы // Энергия: экономика, техника, экология. 2015. № 9. С. 70-75.
8. Куницкая О.А. Ресурсы низкотемпературной древесины в субъектах Российской Федерации // Наука, образование, инновации в приграничном регионе: материалы республ. науч.-практической конф. Петрозаводск, 2015. С. 15-17.
9. Simonenko M.V., Pashkov A.V., Lokshantov B.M., Bacherikov I.V. Future Applications of Burning Wood Wastes in the Example of Moscow Region // Wood, Design & Technology. 2014. Vol. 3, № 1. P. 106-110.
10. Бирман А.Р., Локштанов Б.М., Кривоногова А.С., Нгуен Ван Тоан. Критический анализ использования способов пропитки с целью повышения качественных характери-

стик древесного сырья // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы науч.-технической конф. ВолГУ 2015 г. Вологда, 2016. С. 58-60.

11. Baily P.J., Preston R.D. Some Aspects of Softwood Permeability. II Flow of Polar and Non Polar liquids Sapwood and Heartwood of Douglas Fir // *Holzforschung*. 1970. V 24, N 2. P. 34-45.

12. Ugolev B.N. General laws of wood of deformation and rheological proportions of hardwood // *Wood Science and Technology*. 1976. T. 10, № 3. P. 169-181.

13. Кривоногова А.С., Бирман А.Р. Пропитка капиллярно-пористых структур встречно-центробежным способом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. материалы науч.-практической конф. ВГЛУ. Воронеж, 2015. № 3. С. 236-240.

14. Labat G., LeBayon I., Callot H., Brunet C. Potentialités des borates de protéines en tant que produits de préservation du bois à faible impact environnemental // *Annales des 6èmes Journées scientifique de La Foret et Du Bois*. Bordeaux, 2003. P. 275-327.

15. Bazarov S.M., Birman A.R., Sugaipov U.U., Mettee H.D. Activated charcoals from wood // *Bio Resources*. USA, College of natural resources. NC State University, 2008. № 3. P. 731-744.

16. Кривоногова А.С. Методика статистического анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотнённой древесины // *Научное обозрение*. 2015 № 7. С. 244-250.

17. Ugolev B.N. Wood as a natural smart material // *Wood Science and Technology*. 2014. T. 48, № 3. P. 553-568.

18. Bazarov S.M. The Principles of spacetime mechanics // *The Intern. acad. "The information, communication, management in technics, the nature, society"*. St.-Petersburg, 2005.

19. Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А. Определение коэффициента фильтрации и параметров процесса пропитки древесных углей в поле центробежных сил // *Научное обозрение*. 2015. Вып. 7. С. 238-243.

20. Bramhall G. The Validity of Darcy Law in the Axial Penetration of Wood // *Wood Sci. and Technol*. 1971. Vol. 5, № 2. P. 121-134.

21. Heizemann, P. ThermoWood process // *Holz als Roh- und Werkstoff*. 1970. № 8. P. 295-309.

22. Бирман А.Р. Белоногова Н.А. Топливный брикет и устройство для изготовления топливных брикетов: пат. полезную модель № 126702 Рос. Федерация.

#### References

1. Krivonogova A.S. Improvement of technology of preparation of wood of soft deciduous breeds for production of quality coal: avtoref. dis.... kand. tekhn. nauk. SPb., 2015. 265 p.

2. Grigorev I.V., Grigorev G.V., Nikiforova A.I., Kunitckaia O.A., Dmitrieva I.N., Khitrov E.G., Pásztor Z. Experimental study of impregnation birch and aspen samples // *BioResources*. 2014. T. 9, № 4. P. 7018-7026.

3. Birman A.R., Krivonogova A.S., Sokolova V.A., Nguen Van Toan. Modification of wood of soft deciduous breeds by method of deep consolidation // *Nauchnoe obozrenie*. 2015. Vyp. 17. P. 90-94.

4. Krivonogova A.S., Belonogova N.A., Birman A.R. Theoretical justification of interrelation of process of deep consolidation of wood and operational characteristics // *Vestn. Nizhnevar. gos. un-ta*. 2015. № 3. P. 54-61.

5. Krivonogova A.S. Nguen Van Toan, Sokolova V.A., Birman A.R. Statistical indicators of operational performance of the modified wood // *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy*

XXI veka: teoriya i praktika: sb. tr. po materialam mezhdunar. zaachnoi nauch.-prakt. konf. VGLTA. Voronezh, 2015. Ch. 2. P. 239-243.

6. Vasiliev A.S., Shegelman I.R., Shchukin P.O. Special aspects of patent search for innovations in the field of rock disintegration equipment // *Innovation in industry and social sphere: the proceedings of the national SIK*. Petrozavodsk state University. Petrozavodsk, 2015. P. 17-18.

7. Kunitskaya O.A., Grigor'ev I.V. Recycling of low-commodity wood: problems and prospects // *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*. 2015. № 9. P. 70-75.

8. Kunitskaya O.A. Resources of low-commodity wood in subjects of the Russian Federation // *Nauka, obrazovanie, innovatsii v prigranichnom regione: materialy respubl. nauch.-prakticheskoi konf*. Petrozavodsk, 2015. P. 15-17.

9. Simonenko M.V., Pashkov A.V., Lokshantov B.M., Bache-rikov I.V. Future Applications of Burning Wood Wastes in the Example of Moscow Region // *Wood, Design & Technology*. 2014. Vol. 3, № 1. P. 106-110.

10. Birman A.R., Lokshantov B.M., Krivonogova A.S., Nguen Van Toan. Critical analysis of the use of methods of impregnation in order to improve the quality characteristics of wood raw material // *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy nauch.-tekhnicheskoi konf*. VolGU 2015 g. Vologda, 2016. P. 58-60.

11. Baily P.J., Preston R.D. Some Aspects of Softwood Permeability. II Flow of Polar and Non Polar liquids Sapwood and Heartwood of Douglas Fir // *Holzforschung*. 1970. V 24, N 2. P. 34-45.

12. Ugolev B.N. General laws of wood of deformation and rheological proportions of hardwood // *Wood Science and Technology*. 1976. T. 10, № 3. P. 169-181.

13. Krivonogova A.S., Birman A.R. Impregnation of capillary-porous structures of the counter-centrifugal method // *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. materialy nauch.-prakticheskoi konf*. VGLTU. Voronezh, 2015. № 3. P. 236-240.

14. Labat G., LeBayon I., Callot H., Brunet C. Potentialités des borates de protéines en tant que produits de préservation du bois à faible impact environnemental // *Annales des 6èmes Journées scientifique de La Foret et Du Bois*. Bordeaux, 2003. P. 275-327.

15. Bazarov S.M., Birman A.R., Sugaipov U.U., Mettee H.D. Activated charcoals from wood // *Bio Resources*. USA, College of natural resources. NC State University, 2008. № 3. P. 731-744.

16. Krivonogova A.S. Methods of the statistical analysis of regularities of changes of physico-mechanical characteristics of compacted wood // *Nauchnoe obozrenie*. 2015. № 7. P. 244-250.

17. Ugolev B.N. Wood as a natural smart material // *Wood Science and Technology*. 2014. T. 48, № 3. P. 553-568.

18. Bazarov S.M. The Principles of spacetime mechanics // *The Intern. acad. "The information, communication, management in technics, the nature, society"*. St.-Petersburg, 2005.

19. Birman A.R., Krivonogova A.S., Sokolova V.A. Determination of filtration coefficient and parameters of the impregnation process of charcoal in the field of centrifugal forces // *Nauchnoe obozrenie*. 2015. Vyp. 7. P. 238-243.

20. Bramhall G. The Validity of Darcy Law in the Axial Penetration of Wood // *Wood Sci. and Technol*. 1971. Vol. 5, № 2. P. 121-134.

21. Heizemann, P. ThermoWood process // *Holz als Roh- und Werkstoff*. 1970. № 8. P. 295-309.

22. Birman A.R. Belonogova N.A. Fuel briquettes and apparatus for the production of fuel pellets: pat. poleznuyu model' № 126702 Ros. Federatsiya.