

ISSN 0536-1036

DOI:10.37482/0536-1036

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# Лесной журнал

Основан в 1833 г.

СПбГУПТД  
НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ  
ЦЕНТР  
С-Петербург, ул.Ивана Черных, 4

1/373

2020

УДК 676.038.14+676.038.4

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-200-208

## УПРУГО-РЕЛАКСАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ И ИХ РОЛЬ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ДРЕВЕСНЫХ И ДРЕВЕСНО-УГОЛЬНЫХ БРИКЕТОВ

*А.А. Пекарец<sup>1</sup>, аспирант**О.А. Ерохина<sup>2</sup>, зав. лаб.**В.В. Новожилов<sup>2</sup>, магистр**Ю.Г. Мандре<sup>2</sup>, д-р техн. наук**Э.Л. Аким<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.*

<sup>1</sup>ООО «Лесная технологическая компания», ул. Звездочка, д. 1, пос. Качуг, Иркутская область, Россия, 666210; e-mail: esrplus@yandex.ru

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 198095; e-mail: art-stones@bk.ru

Переработка опилок, на долю которых приходится 10...12 % от объема перерабатываемого древесного сырья в продукцию с высокой добавленной стоимостью, является одним из направлений биорефайнинга древесины. Это предпосылка их переработки в биотопливо второго поколения – остеклованные брикеты, а также карбонизированные брикеты на их основе. Учитывая специфические особенности релаксационных переходов на стадиях получения древесных и древесно-угольных брикетов, изучены релаксационные свойства древесины лиственницы и проанализирована их роль в технологическом процессе, осуществляемом при создании биотоплива нового поколения с заданным комплексом эксплуатационных свойств. Рассмотрена взаимосвязь направленного изменения релаксационного состояния полимерных компонентов древесины (лигнина, целлюлозы, гемицеллюлоз) и технологических параметров процесса. В исходной древесине и древесных опилках целлюлоза и гемицеллюлоза находятся в высокоэластическом состоянии, что подтверждается полученными экспериментальными данными. Для измельчения древесных опилок до порошкообразного состояния при минимальном расходе энергии целесообразно обеспечить перевод полимерных компонентов древесины ниже температуры хрупкости, т. е. осуществить сушку древесины до минимально-возможной остаточной влажности. Последующее увлажнение паром до влажности 3...4 % придает системе экструдированность за счет образования на поверхности древесных частиц гемицеллюлозного геля.

**Для цитирования:** Пекарец А.А., Ерохина О.А., Новожилов В.В., Мандре Ю.Г., Аким Э.Л. Упруго-релаксационные свойства древесины лиственницы и их роль при получении древесных и древесно-угольных брикетов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 1. С. 200–208. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-200-208

**Ключевые слова:** биорефайнинг древесины, древесина лиственницы, биотопливо, древесные брикеты, древесно-угольные брикеты, пеллеты, физико-механические свойства, релаксационные свойства.

### Введение

За последние 20 лет в мире создано новое направление переработки в лесном комплексе – биорефайнинг древесины [2, 18, 21, 24–26] с производством биотоплива второго поколения. Объем мирового производства древесных пеллет и брикетов в 2018 г. достиг 30 млн т [18]. В материалах Лесного комитета Европейской экономической комиссии ООН и ФАО ООН приведено

описание ситуации с древесным топливом [18, 20–22, 24–26], в частности с древесным углем, который для многих африканских стран является основным видом топлива [24]. Такая же подотрасль создана и в России, причем ни по одному другому направлению лесного сектора наша страна не занимает столь заметного места на мировом рынке, как по экспорту пеллет и брикетов, – 1,5...1,8 млн т/ год. Однако эти производства базируются на импортном оборудовании и технологиях. В последнее время в России развернулись исследования, связанные с получением твердого биотоплива второго поколения [3–9, 14].

Особое место в производстве биотоплива второго поколения занимает разработанная и реализованная в России [2, 10–13, 16, 17, 19] инновационная аэродинамическая релаксационная технология получения древесных брикетов (ДБ) и древесно-угольных брикетов (ДУБ), которая защищена 4 патентами Российской Федерации [10–13]. Опытно-промышленная линия по этой технологии в Иркутской области работает с 2015 г., к настоящему времени в России уже имеется 5 таких линий. В ближайшее время в Риге начинается серийное производство оборудования для производства брикетов по этой технологии.

Теоретической основой для данной технологии является концепция об определяющей роли релаксационных состояний полимерных компонентов древесины при ее биорефайнинге [2, 16, 17]. Важное место в этой инновационной технологии занимают процессы сжатия древесины, точнее измельченных до порошкообразного состояния древесных опилок и других древесных отходов. Существует ряд работ по исследованию сжатия древесины и древесных отходов [9, 15, 23].

Цель исследования – изучение упруго-релаксационных свойств древесины лиственницы с использованием метода одноосного сжатия как модели процессов, происходящих при получении древесных и древесно-угольных брикетов.

#### *Объекты и методы исследования*

В качестве объекта исследования использовали модельные кубики из древесины лиственницы. При этом процессы сжатия были смоделированы путем длительного нагружения модельных кубиков размером  $20 \times 20 \times 20$  мм в режиме одноосного сжатия с последующим эластическим восстановлением их формы при нагрузках  $P = 1500; 2500; 3500; 4500$  Н и продолжительности действия нагрузок  $t = 1; 10; 100; 1000$  мин на универсальной испытательной установке «ИНСТРОН-1121» при постоянной скорости деформирования  $V = 100$  мм/мин [1]. Остаточную деформацию измеряли после снятия нагрузки и эластического восстановления формы образца. Продолжительность эластического восстановления, подобранная в ходе эксперимента, изменялась от 10 до 1000 мин.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Механизм процессов, происходящих при получении из древесных опилок топливных древесных и древесно-угольных брикетов, с позиций структурной физикохимии древесины рассмотрен в предыдущих статьях [2, 16, 17], где было показано, что формирование структуры древесных брикетов плотностью до  $1300 \text{ кг/м}^3$  на различных стадиях технологического процесса сопро-

вождается рядом релаксационных явлений. В данной работе рассмотрено поведение в технологическом процессе составляющих компонентов древесного брикета на стадии сжатия.

На рис. 1 представлена типичная кривая сжатия–разгрузки в радиальном направлении образца из древесины лиственницы.

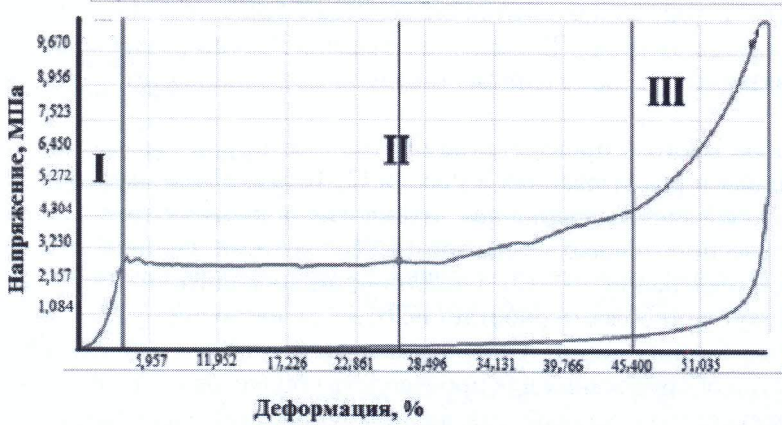


Рис. 1. Диаграмма сжатия–разгрузки до  $P = 4500$  Н образца из древесины  
Fig. 1. Diagram of compression-discharge up to  $P = 4500$  N of a wood sample

Как видно из рис. 1, кривая сжатия имеет 3 характерные области: I – упругая; II – эластическая; III – вынужденно-эластическая. Области I соответствует деформация до 4 %. При дальнейшем сжатии образца происходит переход материала из упругого в высокоэластическое состояние, о чем свидетельствует первый пик на кривой, отображающий релевантную (значимую) нагрузку, необходимую для его деформирования. Экспериментально установлено, что этот пик связан с началом выделения жидкого экстракта из древесины лиственницы. При дальнейшем сжатии образца с увеличением деформации происходит незначительное изменение нагрузки (область II). Это характерно для образцов из древесины лиственницы (заболонь с высокой влажностью 40 %) при сжатии в радиальном направлении и связано, вероятно, со сложением слоев и выделением жидкого компонента – комплекса «арабиногалактан–вода» [2, 16, 17, 19]. В области III наблюдается значительный подъем напряжения с увеличением деформации, что характерно для значительного накопления необратимых деформаций. Полученные нами результаты подтверждают данные более ранних работ [3, 9, 15, 23] для древесины различных пород, однако указывают на специфические особенности древесины лиственницы.

Физико-механические характеристики исследуемых образцов древесины лиственницы:

Плотность при исходной влажности .....	0,88 г/см <sup>3</sup>
Деформация при $P = 4500$ Н.....	56,7 %
Максимальная нагрузка .....	4500 Н
Модуль упругости.....	60...70 МПа
Работа при сжатии до $P = 4500$ Н .....	40 Дж·м/м <sup>3</sup>
Влажность.....	36...42 %

На рис. 2 представлены кривые релаксации напряжений во времени образцов древесины лиственницы при различной величине деформаций, на рис. 3 – накопление остаточной деформации во времени.

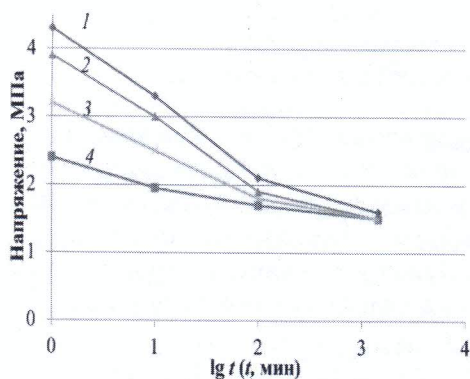


Рис. 2. Релаксация напряжения во времени у образцов древесины лиственницы при различных значениях  $P$ , Н: 1 – 4500; 2 – 3500; 3 – 2500; 4 – 1500

Fig. 2. Stress relaxation over time in larch wood samples under various values of  $P$  (N): 1 – 4500; 2 – 3500; 3 – 2500; 4 – 1500

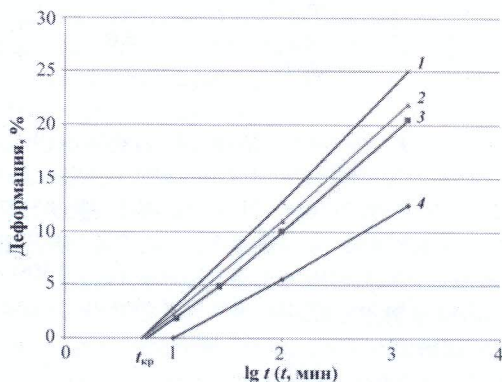


Рис. 3. Накопление остаточной деформации во времени у образцов древесины лиственницы при различных значениях  $P$ , Н (скорость деформирования образца  $V_d = 100$  мм/мин): 1 – 4500; 2 – 3500; 3 – 2500; 4 – 1500

Fig. 3. Accumulation of residual deformation over time in larch wood samples at various values of  $P$  (N) (sample deformation rate  $V_d = 100$  mm/min): 1 – 4500; 2 – 3500; 3 – 2500; 4 – 1500

Как видно из рис. 2 и 3, с увеличением задаваемой деформации возрастают напряжение, скорость релаксационного процесса и значения остаточной компоненты деформации. Это связано с тем, что под действием нагрузки и времени ее действия наблюдается ряд процессов, влияющих на изменение структуры: послоевое сжатие волокон древесины лиственницы с выделением жидкой фракции; накопление вынужденно-эластической (остаточной) компоненты деформации.

В результате экстраполяции на ось времени (рис. 3) получим точку  $t_{кр}$  – критическое время, при котором в образце древесины лиственницы начинают накапливаться необратимые компоненты деформации.

Измерения показали, что после действия на образец древесины лиственницы задаваемой деформации в течение времени до  $t_{кр}$  происходит полное восстановление формы образца (рис. 3). В процессе длительных нагрузок при  $t > t_{кр}$  развиваются вынужденно-эластические деформации, которые при температуре  $20^\circ\text{C}$  на воздухе не восстанавливаются. Экспериментально установлено, что в исследуемых диапазонах нагрузок и времени их действия в образце развиваются деформации, которые практически полностью восстанавливаются при его погружении в воду на 1 сут.

В таблице приведены составляющие компонент деформации при  $P = 4500$  Н.

### Зависимость составляющих компонент деформации у образцов древесины лиственницы от продолжительности действия нагрузки

Время $t$ , мин	Деформация, %			
	заданная	упругая	эластическая	остаточная
10	56,7	3,6	50,1	3,0
100	56,7	3,6	40,1	13,0
1000	56,7	3,6	28,1	25,0

Из данных таблицы видно, что с увеличением продолжительности действия нагрузки величина эластической компоненты деформации уменьшается за счет внутренних изменений структуры и накопления остаточной компоненты деформации. На рис. 4 представлена кривая изменения плотности во времени после снятия нагрузки  $P = 4500$  Н. Такое изменение плотности характерно для материалов с высокими упругими и эластическими свойствами.

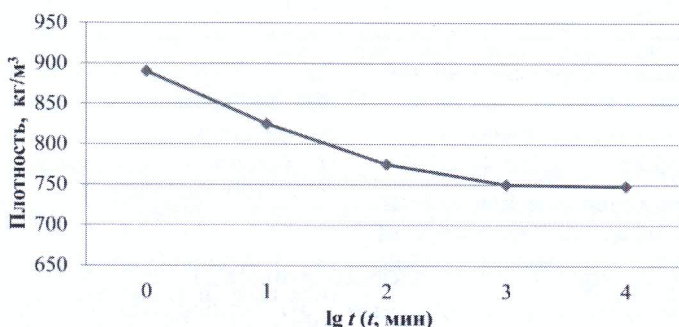


Рис. 4. Изменение плотности образца древесины лиственницы после снятия нагрузки  $P = 4500$  Н

Fig. 4. Change in density of a larch wood sample after unloading  $P = 4500$  N

Таким образом, для древесины лиственницы естественной влажности характерны упруго-релаксационные свойства, типичные для полимерных объектов, находящихся в высокоэластическом состоянии. Измельчение объектов до порошкообразного состояния является очень энергоемким процессом. В то же время известно, что хрупкое измельчение полимерных объектов значительно менее энергоемко.

Как уже указывалось выше, в настоящее время наиболее перспективным инновационным методом утилизации отходов древесины лиственницы считается изготовление древесно-угольных брикетов на основе опилок [2, 10, 11, 13, 17, 21]. Инновационная технология получения топливных древесных и древесно-угольных брикетов из опилок древесины (в том числе лиственницы) базируется на направленном изменении релаксационного состояния полимерных компонентов древесины (лигнина, целлюлозы и гемицеллюлоз) [2, 16, 17, 19]. Она позволяет превратить древесные отходы в древесно-угольный брикет без использования связующих веществ при минимальном расходе энергии и приемлемых капитальных затратах.

Соответственно, для измельчения древесных опилок до порошкообразного состояния, целесообразно осуществить сушку древесины до минимально-возможной остаточной влажности, т. е. обеспечить перевод полимерных

компонентов древесины не просто в стеклообразное состояние, а ниже температуры хрупкости. Именно такая операция предлагается в патентах [10–13], что позволяет провести процесс хрупкого измельчения при минимальном расходе энергии. Специфика инновационной аэродинамической технологии заключается в том, что частицы древесины, измельченной в стеклообразном состоянии при остаточной влажности около 1 % до дисперсности древесной муки, увлажняются паром до влажности 3...4 %. В этом случае значительную роль играет и градиент влажности по толщине частиц. При сушке до остаточной влажности 1 % и менее на поверхности частиц опилок находятся практически абсолютно сухие слои древесного вещества, которые и отделяются от «тела» частиц при их соударениях в аэродинамическом потоке. В процессе последующего увлажнения водяным паром до 3...4 % имеется противоположная картина – на поверхности частиц находятся максимально увлажненные слои, например в виде гелицееллюлозного геля [2, 16, 17, 19], которые и придают системе экструдированность. В случае опилок древесины лиственницы эти поверхностные слои вообще могут представлять собой аквакомплекс «арабиногалактан–вода», находящийся в вязко-текучем состоянии в широчайшем температурном диапазоне. В последующем система испытывает в экструдере очень большие усилия на сжатие и сдвиг, приводящие не только к ее переводу в вынужденно-пластическое состояние, но и к переходу системы от максимальной к минимальной ньютоновской вязкости. Именно благодаря этим факторам удается получить древесный брикет плотностью до 1300 кг/м<sup>3</sup>. По имеющимся у нас данным, никакой другой метод пока не позволяет в промышленных условиях достигать таких значений плотности. Исследования позволяют экстраполировать изученные на модели в условиях одноосного сжатия упруго-релаксационные свойства исходной древесины на процессы, реально протекающие при измельчении опилок и в экструдере.

### Выводы

1. Для древесины лиственницы в условиях одноосного сжатия выявлена типичная картина развития упругих и высокоэластических деформаций; показана взаимосвязь между нагрузкой, продолжительностью ее действия и величиной остаточной деформации; определены условия, при которых происходит полное восстановление формы образца.
2. Установлено, что снятие вынужденно-эластических деформаций возможно после воздействия воды.
3. Полученные данные могут быть использованы при отработке технологических параметров формирования древесных брикетов экструзионным способом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аким Э.Л., Коваленко М.В., Рассказова Н.Я., Васильев В.В., Ерохина О.А., Бучельникова Я.В., Мандре Ю.Г. Проект «Лиственница». Программно-аппаратный комплекс для изучения свойств древесины лиственницы // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 5. С. 24–28. [Akim E.L., Kovalenko M.V., Rasskazova N.Ya., Vasil'yev V.V., Erokhina O.A., Buchel'nikova Y.V. The Larch Project. Hardware and Software Package for Studying the Properties of Larch Wood. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2011, no. 5, pp. 24–28].

2. Аким Э.Л., Мандре Ю.Г., Пекарец А.А. Изменение релаксационного состояния полимерных компонентов древесины при проведении ее высокотемпературного биорефайнинга // Химические волокна. 2019. № 3. С. 14–18. [Akim E.L., Mandre Yu.G., Pekarets A.A. Change in the Relaxation State of Polymeric Components of Wood during High Temperature Biorefining. *Khimicheskiye volokna* [Fibre Chemistry], 2019, no. 3, pp. 14–18].

3. Виноградов Н.В. Компрессионные свойства древесины лиственницы какоснова отжимной технологии извлечения арабиногалактана: автореф. ... канд. техн. наук. СПб., 2019. 16 с. [Vinogradov N.V. *Compression Properties of Larch Wood as the Basis for Squeezing Technology of Arabinogalactan Extraction*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Saint Petersburg, SPbGUPTD, 2019. 16 p.].

4. Голубев В.А. Обоснование и совершенствование способов энергетического использования растительных отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Барнаул, 2014. 16 с. [Golubev V.A. *Substantiation and Improvement of Methods for the Energy Use of Vegetation Residues*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Barnaul, 2014. 16 p.].

5. Кашин Е.М. Разработка газогенераторов роторного исполнения для древесного топлива: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2019. 16 с. [Kashin E.M. *Development of Rotary Gas Generators for Wood Fuel*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Kazan, 2019. 16 p.].

6. Лесная биоэнергетика / под ред. Ю.П. Семенова. М.: МГУЛ, 2008. 348 с. [Forest Bioenergy. Ed. by Yu.P. Semenova. Moscow, MGUL Publ., 2008. 348 p.].

7. Любов В.К. Совершенствование топливно-энергетического комплекса путем повышения эффективности сжигания топлив и вовлечения в энергетический баланс отходов переработки биомассы и местного топлива: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск, 2004. 44 с. [Lyubov V.K. *Improving the Fuel and Energy Complex by Increasing the Efficiency of Fuel Combustion and Involving Biomass and Local Fuel Wastes into the Energy Balance*: Dr. Eng. Sci. Diss. Abs. Arkhangelsk, 2004. 44 p.].

8. Марьяндышев П.А. Совершенствование технологии энергетического использования древесного биотоплива: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2015. 16 с. [Mar'yandyshhev P.A. *Improving the Technology of Energy Use of Wood Biofuel*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs., Saint Petersburg, 2015. 16 p.].

9. Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Любов В.К., Тюрикова Т.В. Математическая модель процесса формирования древесных гранул // Изв. вузов. Лесн. журн. 2015. № 2. С. 104–122. [Muller O.D., Melekhov V.I., Lyubov V.K., Tyurikova T.V. Mathematical Model of Wood Granules Formation. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2015, no. 2, pp. 104–122]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2015.2.104](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2015.2.104); URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/c41/1/-myuller.pdf>

10. Патент № 2596683 Российская Федерация, МПК F26B 20/00, F26B 17/10, F26B 3/10. Комплекс для непрерывной термообработки твердых мелких частиц, преимущественно дисперсных древесных материалов, и способы термообработки, реализуемые с помощью данного комплекса / Пекарец А.А.; заявитель и патентообладатель ООО «ПРОМЕТЕЙ». [Pekarets A.A. *System for Continuous Heat Treatment of Solid Fine Particles, Mainly Disperse Wood Materials and Methods of Heat Treatment, Implemented Using Said Complex*. Patent RF, no. 2596683, 2016].

11. Патент № 2628602 Российская Федерация, МПК C10B 53/02. Устройство для получения древесного угля / А.А. Пекарец; патентообладатель ООО «ПРОМЕТЕЙ». [Pekarets A.A. *Wood Coal Production Device*. Patent RF, no. 2628602, 2017].

12. Патент № 2653513 Российская Федерация, МПК C10L 5/44, C10L 5/40. Высококалорийные топливные брикеты из композиционного материала на основе древесных отходов (варианты) / А.А. Пекарец; патентообладатель ООО «ПРОМЕТЕЙ». [Pekarets A.A. *High-Energy Fuel Briquets from Composite Material Based on Remains of Wooden Materials (Options)*. Patent RF, no. 2653513, 2018].

13. Патент № 2678089 Российская Федерация, МПК C10L 5/44, C10B 47/28, C10B 49/02, B09B 3/00. Промышленный комплекс для производства древесного угля



безотходным способом низкотемпературного пиролиза из брикетированных древесных отходов / А.А. Пекарец; патентообладатель ООО «ПРОМЕТЕЙ». [Pekarets A.A. *Industrial Complex for the Production of Charcoal without Waste Method of Low-Temperature Pyrolysis from Briquette Wood Waste*. Paten tRF, no. 2678089, 2019].

14. Попова Е.И. Совершенствование технологии торрефикации вторичных древесных ресурсов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2018. 24 с. [Popova E.I. *Improving the Technology of Torrefaction of Secondary Wood Resources*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Arkhangelsk, 2018. 24 p.].

15. Соболев Ю.С. Древесина как конструкционный материал. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 249 с. [Sobolev Yu.S. *Wood as a Structural Material*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1979. 249 p.].

16. Akim E.L. Biorefining of Wood. *Fibre Chemistry*, 2016, vol. 48, iss. 3, pp. 181–190. DOI: [10.1007/s10692-016-9765-7](https://doi.org/10.1007/s10692-016-9765-7)

17. Akim E.L., Mandre Y.G., Pekarets A.A. Change in Relaxation State of Polymer Components of Wood During its High-Temperature Biorefining. *Fibre Chemistry*, 2019, vol. 51, iss. 3, pp. 164–169. DOI: [10.1007/s10692-019-10067-8](https://doi.org/10.1007/s10692-019-10067-8)

18. *Forest Products Annual Market Review 2018–2019*. New York, United Nations, 2019. 137 p. Available at: <http://www.unece.org/forests/fpamr2019> (accessed 12.05.19).

19. Pekarets A.A., Mandre Y., Vinogradov N., Akim E.L. Biorefining of Larch Sawdust Producing Wood and Wood-Charcoal Briquettes: Scientific and Technological Aspects. *Proceedings of the 27th European Biomass Conference and Exhibition, Lisbon, Portugal, May 27–30, 2019*. Lisbon, 2019, pp. 1887–1889.

20. Popp J., Lakner Z., Harangi-Rákos M., Fári M. The Effect of Bioenergy Expansion: Food, Energy and Environment. *Renewable and Sustainable Energy*, 2014, vol. 32, pp. 559–578. DOI: [10.1016/j.rser.2014.01.056](https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.056)

21. *Renewable Energy – Medium-Term Market Report 2016*. OECD/IEA, 2016. 281 p.

22. Thiffault E., Asikainen A., Devlin G. Comparison of Forest Biomass Supply Chains from the Boreal and Temperate Biomes. Ch. 2. *Mobilisation of Forest Bioenergy in the Boreal and Temperate Biomes*. Ed. by E. Thiffault, C.T. Smith, M. Junginger, J. Sessler, G. Berndes. Academic Press, 2016, pp. 10–35. DOI: [10.1016/B978-0-12-804514-5.00002-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804514-5.00002-0)

23. Tumuluru S.J., Wright C.T., Kenny K.L., Hess J.R. *A Review on Biomass Densification Technologies for Energy Application*. Idaho Falls, ID, INL, 2010. 85 p.

24. Van Dam J. *The Charcoal Transition: Greening the Charcoal Value Chain to Mitigate Climate Change and Improve Local Livelihoods*. Rome, FAO, 2017. 178 p.

25. Wertz J.-L., Deleu M., Coppée S., Richel A. *Hemicelluloses and Lignin in Biorefineries*. Boca Raton, FL, CRC Press, 2017. 330 p. DOI: [10.1201/b22136](https://doi.org/10.1201/b22136)

26. *Wood Energy in the ECE Region: Data, Trends and Outlook in Europe, the Commonwealth of Independent States and North America*. Ed. by F.X. Aguilar. New York, United Nations, 2018. 94 p. Available at: <http://www.unece.org/index.php?id=48593> (accessed 12.05.19).

## ELASTIC AND RELAXATION PROPERTIES OF LARCH WOOD AND THEIR ROLE IN PRODUCTION OF WOOD AND CHARCOAL BRIQUETTES

A.A. Pekarets<sup>1</sup>, Postgraduate Student

O.A. Erokhina<sup>2</sup>, Head of Laboratory

V.V. Novozhilov<sup>2</sup>, Master

Yu.G. Mandre<sup>2</sup>, Doctor of Engineering

E.L. Akim<sup>2</sup>, Doctor of Engineering, Prof.

<sup>1</sup>LLC Forest Technology Company, ul. Zvezdochka, 1, pos. Kachug, Irkutsk Region, 666210, Russian Federation; e-mail: [esrplus@yandex.ru](mailto:esrplus@yandex.ru)

<sup>2</sup>Higher School of Technology and Energy of the Saint Petersburg State Technological University of Plant Polymers, ul. Ivana Chernykh, 4, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: art-stones@bk.ru

Processing of sawdust, which accounts for 10...12 % of the volume of processed raw wood materials in products with high added value, is one of the areas of woodbiorefining. This became a premise for sawdust processing into secondgeneration biofuel, as well as carbonized briquettes based on it. The relaxation properties of larch wood are studied and their role in the technological process carried out in creation of new generation biofuel with a given set of operational properties is analyzed taking into account the specific features of relaxation transitions at the stages of obtaining wood and charcoal briquettes. The relationship between the directed change in the relaxation state of the wood polymer components (lignin, cellulose and hemicelluloses) and the operational parameters is considered. The experimental data findings confirm that cellulose and hemicelluloses are in a high-elastic state in the initial wood and sawdust. It is advisable to ensure that the wood polymer components are transferred below the brittle temperature, in other words, wood should be dried to the lowest possible residual moisture, in order to grind wood sawdust to a powdery state with minimum energy consumption. Subsequent steam humidification to a moisture content of 3...4 % gives the system extrusion ability due to the formation of hemicellulose gel layers on the surface.

**For citation:** Pekarets A.A., Erokhina O.A., Novozhilov V.V., Mandre Yu.G., Akim E.L. Elastic and Relaxation Properties of Larch Wood and Their Role in Production of Wood and Charcoal Briquettes. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 1, pp. 200–208. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-200-208

**Keywords:** wood biorefining, larch wood, biofuel, wood briquettes, charcoalbriquettes, pellets, physical and mechanical properties, relaxation properties.

Поступила 12.05.19 / Received on May 12, 2019

---