

**Д.С. Казымов, Л.Г. Махотина, А.Б. Никандров, А.Г. Кузнецов,
Э.Л. Аким**

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ В ТЕХНОЛОГИИ ХТММ

Введение. В последние годы наблюдается положительная динамика развития российского лесопромышленного комплекса и рынка целлюлозно-бумажной продукции. Предприятия отечественной ЦБП наращивают мощности, анонсирован ряд новых целлюлозно-бумажных производств, растет выпуск санитарно-гигиенической продукции, прослеживается положительная динамика по выпуску бумаги и картона [Дмитриева, 2017].

Одним из основных рисков развития отечественного ЛПК в среднесрочной перспективе может стать дефицит доступного древесного сырья, что связано с существующими инфраструктурными ограничениями. По этой причине внимание исследователей и технологов все больше привлечено к использованию имеющихся доступных лесных ресурсов, к их глубокой переработке с целью получения максимального выхода полезных продуктов. Одним из самых перспективных для России древесных материалов является древесина лиственницы, а также отходы ее переработки [Прогноз, 2012; Аким и др., 2011; 2012; Дмитриева, 2017].

Однако древесина лиственницы имеет особый состав, в частности, в ней находится большое количество экстрактивных веществ, которые оказывают значительное влияние на процесс ее глубокой химической переработки согласно учебнику Азарова В.И. и др. «Химия древесины и синтетических полимеров. СПб.: Лань, 2010 г.

Цели и задачи. В этой работе была поставлена задача подобрать оптимальные режимы переработки древесины лиственницы в рамках традиционной технологии получения ХТММ (химико-термомеханической массы) из хвойной древесины, а также оценить, как предварительная экстракция повлияет на качество готовой ХТММ из древесины лиственницы. В результате исследования стояла задача определить потенциал применения древесины лиственницы в технологии получения ХТММ и оценить влияние режимов обработки на физико-механические показатели волокна, а также удельный расход энергии при размоле.

Объекты и методика исследования. В качестве сырья была использована свежесрубленная древесина лиственницы Братского ЛПК с влажностью 32%, из которой была приготовлена щепа размером 15×40×4 мм.

Получение ХТММ проводилось с использованием лабораторного оборудования, моделирующего промышленные этапы производства. На первом этапе лабораторная щепа подвергалась обработке паром в автоклаве, при нормальном атмосферном давлении и температуре 90–100 °С. Далее щепа отжималась на прессе, моделируя процесс сжатия в шнековом импрегнаторе и пропитывалась раствором Na_2SO_3 с варьированием расхода и времени дальнейшей выдержки в автоклаве при различной температуре. Процесс размола щепы был реализован на дисковом рафинере лабораторного типа Вауер, оборудованным шнековой подачей щепы в зону рафинирования. Древесное сырье размалывалось в 3-4 этапа при низкой концентрации 3–5% до достижения приемлемого качества массы, с отсутствием крупных включений непромолотой древесины. Полученная масса имела степень помола в диапазоне от 20 до 30 °ШР. На этапе размола проводился сбор данных по расходу энергии для дальнейшего анализа. Предварительная экстракция проводилась также в автоклаве при атмосферном давлении и изменении времени процесса, гидромодуль 1:4 оставался постоянным во всех экспериментах.

Из полученной ХТММ были изготовлены образцы отливок и проанализированы морфологические и физико-механические свойства, а также белизна полученного волокнистого полуфабриката.

Результаты и обсуждение исследований. Результаты предварительного сравнения еловой и лиственничной ХТММ показали, что лиственница при стандартных режимах дает полуфабрикат с более низкими физико-механическими и оптическими свойствами. На рис. 1 видно, что показатели разрывной длины ХТММ из древесины лиственницы в среднем ниже на 25%.

Однако показатели сопротивления раздиранию и пухлости для лиственничной ХТММ выше (рис. 2 и 3), чему возможно способствует присутствие большого количества толстостенных волокон поздних трахеид, которые более устойчивы к механическому воздействию в процессе размола.

Показатель белизны ХТММ из древесины лиственницы также уступает белизне ХТММ из древесины ели. Разница составляет в среднем 20%.

С целью подбора оптимального режима обработки лиственничной щепы в ходе работы был проведен анализ влияния следующих параметров процесса получения ХТММ: варьирование времени пропитки от 5 до 15 мин и температуры пропитки от 135 до 160 °С, расхода Na_2SO_3 от 30 до 90 кг/т и времени предварительной экстракции от 60 до 120 мин.

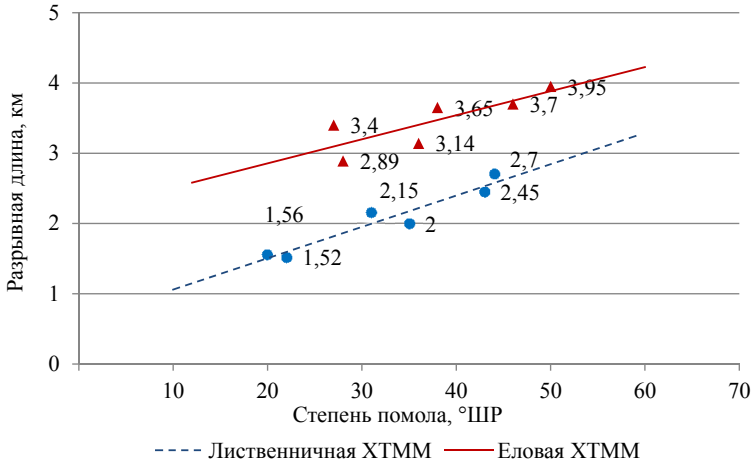


Рис. 1. Показатель разрывной длины ХТММ из древесины ели и лиственницы при различных значениях степени помола в °ШР

Fig. 1. Breaking length value for spruce and larch wood CTMP with different beating rate in °SR

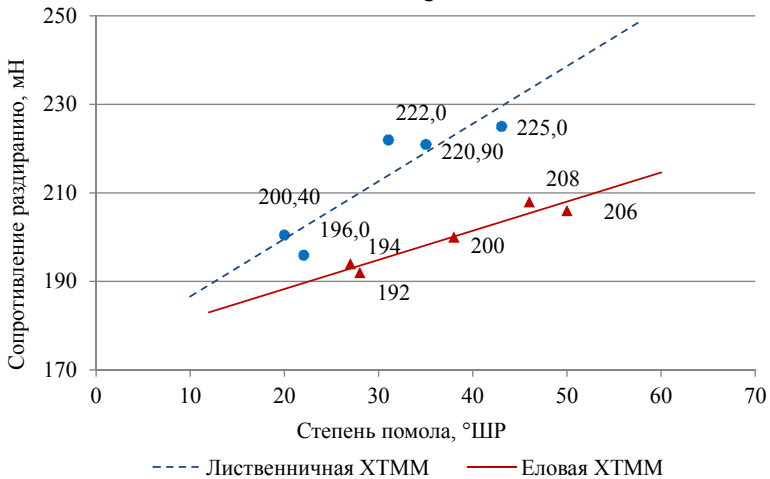


Рис. 2. Показатель сопротивления раздиранию ХТММ из древесины ели и лиственницы при различных значениях степени помола в °ШР

Fig. 2. Tearing strength value for spruce and larch wood CTMP with different beating rate in °SR

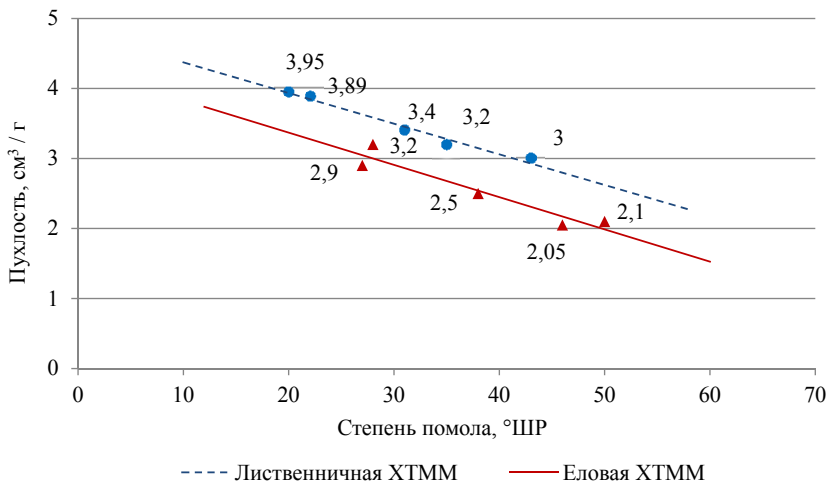


Рис. 3. Показатель пухлости ХТММ из древесины ели и лиственницы при различных значениях степени помола в °ШР

Fig. 3. Bulk value for spruce and larch wood CTMP with different beating rate in °SR

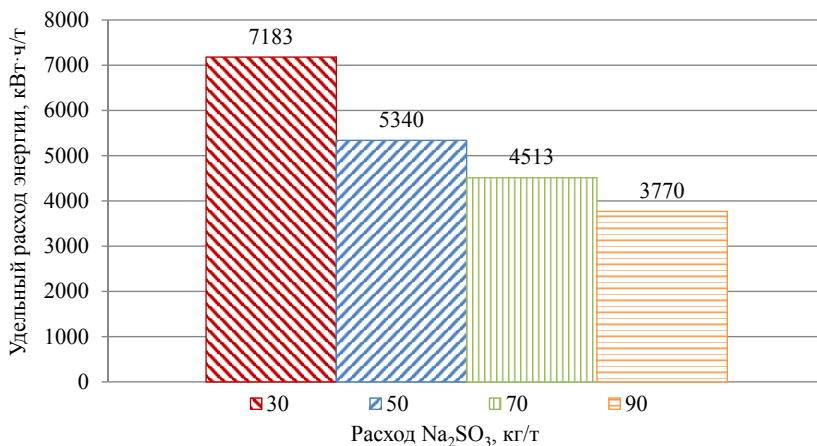


Рис. 4. Влияние расхода Na₂SO₃ на удельный расход энергии на получения ХТММ из древесины лиственницы

Fig. 4. The effect of Na₂SO₃ consumption on specific energy consumption for larch wood CTMP production

При изменении расхода сульфита натрия с 30 до 50 кг/т происходит значительное снижение удельного расхода энергии на размол в среднем на 20–25%, дальнейшее ступенчатое повышение расхода в среднем снижает расход энергии только на 15%.

В то же время при увеличении расхода сульфита натрия происходит снижение физико-механических и морфологических свойств массы, а именно падает разрывная длина и средневзвешенная длина волокон, а также увеличивается количество мелочи.

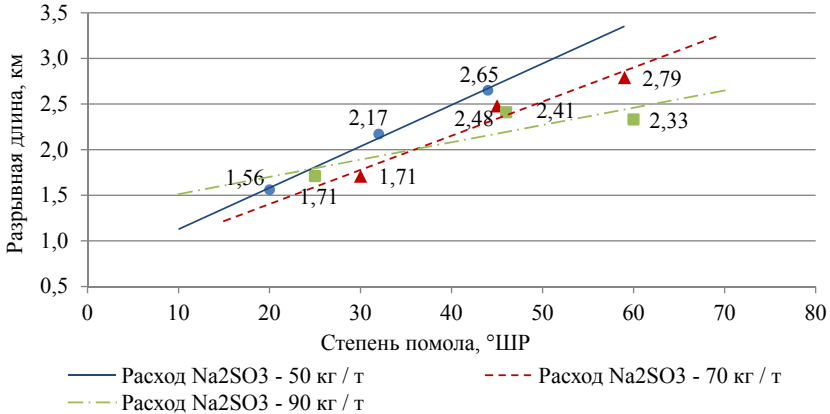


Рис. 5. Влияние расхода Na_2SO_3 на разрывную длину XTMM из древесины лиственницы

Fig. 5. The effect of Na_2SO_3 consumption on breaking length value of larch wood CTMP

Можно предположить, что это происходит вследствие разрушения волокон внешнего слоя древесины. Из-за высокой плотности древесины лиственницы, в процессе пропитки не происходит глубокого проникновения реагента вглубь щепы, следовательно, не происходит размягчения волокон и более глубокой фибрилляции в процессе размола, поэтому не наблюдается увеличение физико-механических свойств с повышением расхода сульфита натрия. Однако увеличение расхода сульфита оказывает положительное влияние на белизну XTMM и позволяет поднять данный показатель на 15%.

Более длительное взаимодействие с раствором сульфита натрия оказывает наиболее сильное влияние на средневзвешенную длину волокон XTMM, при этом не наблюдается значительного снижения разрывной длины, а увеличение количества мелочи также незначительно.

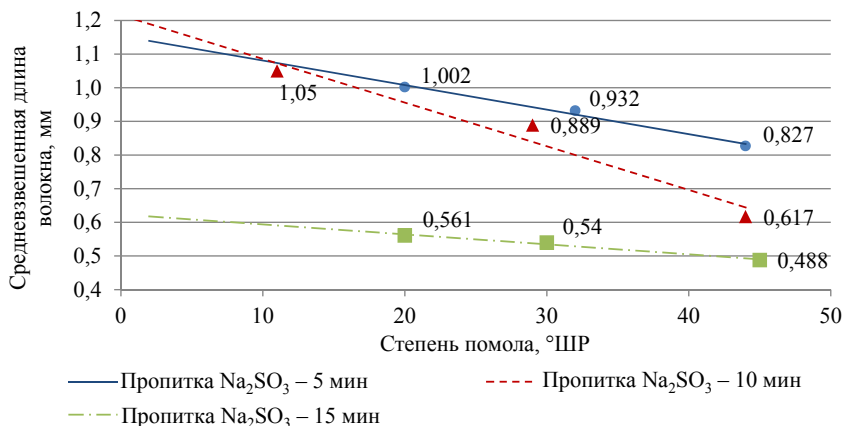


Рис. 6. Влияние времени обработки щепы раствором Na₂SO₃ на средневзвешенную длину волокон ХТММ из древесины лиственницы

Fig. 6. The effect of chip treatment time with Na₂SO₃ solution on average-weighted fiber length of larch wood CTMP

Это может быть связано с тем, что увеличение времени обработки приводит к более глубокому проникновению пропиточного раствора в лиственничную щепу, тем самым начинают происходить процессы разрушения гликозидных связей внутри волокна и его укорочение. Наряду с этим волокно становится более мягким и легче подвергается размолу и фибрилляции, тем самым не происходит снижения прочности ХТММ.

Значимым фактором процесса пропитки является изменение температуры ведения процесса, который оказывает на свойства ХТММ из древесины лиственницы более мягкое воздействие в сравнении с регулированием количества сульфита натрия и времени его взаимодействия с древесным материалом. Это можно объяснить тем, что повышение температуры увеличивает скорость диффузии и параллельно участвует в процессе пластификации лигнина. Известно, что скорость реакции при этом увеличивается значительно быстрее, чем скорость диффузии. Как видно из рис. 7, увеличение температуры пропиточного раствора ведет к значительному снижению УРЭ при проведении процесса размола благодаря тому, что повышение температуры древесины способствует пластификации лигнина и более легкому разделению волокон во время размола в дисковой мельнице.

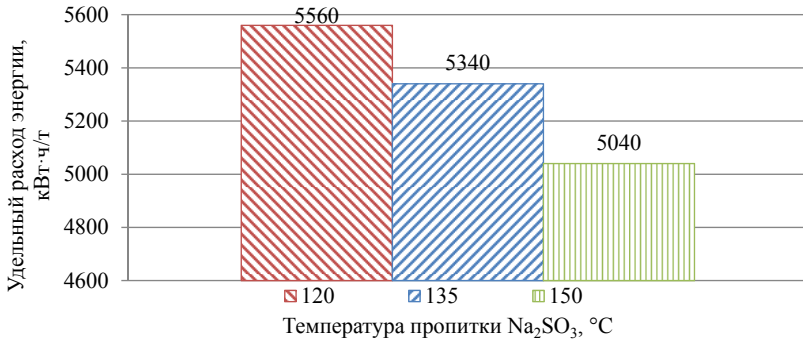


Рис. 7. Влияние температуры раствора Na₂SO₃ на удельный расход энергии при размоле

Fig. 7. The effect of Na₂SO₃ treatment temperature on specific energy consumption for larch wood CTMP production

Предварительная экстракция щепы из древесины лиственницы водой перед получением ХТММ показала интересные результаты, в частности относительно снижения энергопотребления при размоле. Можно отметить, что экстракция в течение 1 ч практически не влияет на удельный расход энергии при размоле, но дальнейшее увеличение времени экстракции позволяет снизить затраты энергии более чем на 50%. Это может быть связано с тем, что благодаря предварительному извлечению экстрактивных веществ из древесины, снижается прочность связывания волокон между собой, что в свою очередь и приводит к более легкому их разделению в процессе размолы. Однако по этой же причине предварительная экстракция в свою очередь оказывает отрицательное влияние на показатель разрывной длины, который ухудшается в среднем на 30–40%.

Выводы. В ходе работы определены оптимальные параметры процесса получения ХТММ из древесины лиственницы: расход Na₂SO₃ – 50 кг/т а.с.в., температура на стадии пропитки 135 °С, время пропитки 5 мин. Данные параметры выбраны с учетом сопоставления результатов по расходу энергии на размол и достижения приемлемых физико-механических характеристик получаемой массы, наиболее приближенных к показателям ХТММ из древесины ели.

Использование предварительной экстракции древесины лиственницы при получении ХТММ из лиственницы оказывает значительное влияние на снижение энергопотребления при размоле, однако приводит к серьезному

ухудшению физико-механических показателей полуфабриката, имеет спорную экономическую эффективность, а также, вероятнее всего, влечет за собой масштабную модернизацию технологического процесса, связанную с капитальными затратами на переработку полученного экстракта, его реализацию и утилизацию побочных отходов производства.

Библиографический список

Qin M., Hannuksela T., Holmbom B. Physico-chemical characterization of TMP resin and related model mixtures // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2003. Vol. 221, no. 12. P. 243–254.

Аким Э.Л., Молотков Л.К., Сапрыкина Н.Н., Коваленко М.В., Мандре Ю.Г., Махотина Л.Г., Сергеев А.Д., Заяц Ю.Н., Виноградов Н.В., Казымов Д.С., Абрамов И.Н., Таразанов А.А. Проект «Лиственница». Свойства древесины лиственницы и сосны и влияние на них удаления водорастворимых веществ // *Целлюлоза. Бумага. Картон*. 2012. № 03. С. 32–39.

Аким Э.Л., Молотков Л.К., Сапрыкина Н.Н., Коваленко М.В., Мандре Ю.Г., Махотина Л.Г., Сергеев А.Д., Виноградов Н.В. Проект Лиственница. Электронно-микроскопические исследования анатомического строения древесины лиственницы // *Целлюлоза, бумага, картон*. 2011. № 7. С. 26–31.

Бабкин В.А. Продукты глубокой химической переработки биомассы лиственницы // *Российский химический журнал*. 2004. Вып. 48, № 3. С. 62–69.

Дмитриева Е. Выручка Лесопромышленного комплекса Российской Федерации за 2017 г. URL: https://www.lesonline.ru/analytic/?cat_id=12&id=362219

Коваленко М.В., Казымов Д.С., Возможность производства полуфабрикатов высокого выхода из древесины лиственницы : матер. VIII Междунар. науч.-практ. конф. // *Научное пространство Европы*. 2012. № 35. С. 54–58.

Левин Э.Д., Денисов О.Б., Пен Р.З. Комплексная переработка лиственницы, М.: Лесн. пром-сть, 1978. 224 с.

Новожилов Е.В. Применение ферментных технологий в целлюлозно-бумажной промышленности: монография / Северный (Арктический) федеральный университет. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. 383 с.

Прогноз развития лесного сектора РФ до 2030 г. ФАО ООН. 2012. URL: <http://www.fao.org/3/i3020r/i3020r00.pdf>

Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. I. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 3. Производство полуфабрикатов / ВНИИБ. СПб.: Политехника, 2004. 316 с.

References

Akim E.L., Molotkov L.K., Saprykina N.N., Kovalenko M.V., Mandre Yu.G., Makhotina L.G., Sergeev A.D., Zayac Yu.N., Vinogradov N.V., Kazymov D.S., Abramov I.N., Tarazanov A.A. The project «Larch». The properties of larch and pine wood and the effect of the removal of water-soluble substances on them. *Cellulose. Paper. Cardboard*, 2012, no. 03, pp. 32–39.

Akim E.L., Molotkov L.K., Saprykina N.N., Kovalenko M.V., Mandre Yu.G., Makhotina L.G., Sergeev A.D., Vinogradov N.V., Project Larch. Electron-microscopic studies of the anatomical structure of larch wood. *Cellulose, paper, cardboard*, 2011, no. 7, pp. 26–31.

Babkin V.A. Products of deep chemical processing of larch biomass. *Russian Chemical Journal*, 2004, is. 48, no. 3, pp. 62–69.

Dmitrieva E. Revenue of the Timber Industry Complex of the Russian Federation for 2017. URL: https://www.lesonline.ru/analytic/?cat_id=12&id=362219

Forecast of the Forest Sector Development in the Russian Federation until 2030. FAO UN. 2012. URL: <http://www.fao.org/3/i3020r/i3020r00.pdf>

Kovalenko M.V., Kazymov D.S. The possibility of high-yield fiber products production from larch wood : Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference. *European Research Space*, 2012, no. 35, pp. 54–58.

Levin E.D., Denisov O.B., Pen R.Z. Complex processing of larch wood, M.: Forestry, 1978. 224 p.

Novozhilov E.V. Application of enzyme technologies in the pulp and paper industry: monograph. Northern (Arctic) Federal University. Arkhangelsk: NAFC NAFC, 2013. 383 s.

Pulp and paper production technology. In 3 t. T. I. Raw materials and production of semi-finished products. Part 3. Production of semi-finished products. VNIIB. SPb.: Polytechnic, 2004. 316 p.

Qin M., Hannuksela T., Holmbom B. Physico-chemical characterization of TMP resin and related model mixtures. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2003, vol. 221, no. 12, pp. 243–254.

Материал поступил в редакцию 09.07.2019 г.

Казымов Д.С., Махотина Л.Г., Никандров А.Б., Кузнецов А.Г., Аким Э.Л. Подбор оптимальных режимов переработки древесины лиственницы в технологии ХТММ // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 227. С. 307–318. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.227.307-318

Цель исследования – проанализировать возможность получения химико-термомеханической массы (ХТММ) из древесины лиственницы и провести сравнение ее характеристик с полученной аналогичным лабораторным методом ХТММ из древесины ели. Так как лиственница относится к числу самых распространенных древесных пород России, на которую приходится порядка 40% всех площадей лесных насаждений [Аким и др., 2012] работа имеет большую актуальность. По строению и составу лиственница значительно отличается от других хвойных деревьев. Она относится к типичным ядровым породам. На долю ядра приходится 70–90% стволовой части дерева. Трахеиды составляют около 90% и более древесного вещества [Левин и др., 1978; Бабкин и

др., 2004]. Поэтому было необходимо провести серию экспериментов, которые позволили оценить влияние расхода Na_2SO_3 , температуры пропиточного раствора и времени пропитки на свойства ХТММ и на удельный расход энергии на размол. Помимо этого, характерной особенностью лиственницы является водорастворимый полисахарид арабиногалактан, содержащийся в ней в количестве около 14% (с колебаниями от 5 до 30%), а также присутствие в ядре лиственницы веществ группы флавоноидов, представленных, главным образом, кверцетином и дигидрокверцетином [Бабкин и др., 2004] и по учебнику Азарова и др. «Химия древесины и синтетических полимеров. СПб.: Лань, 2010 г. Следовательно, в ходе работы было необходимо проанализировать влияние предварительной экстракции на свойства получаемого полуфабриката.

Ключевые слова: древесина лиственницы, химико-термомеханическая масса, режимы переработки, расход сульфита натрия, оптические свойства, физико-механические свойства, предварительная экстракция.

Kazymov D.S., Makhotina L.G., Nikandrov A.B., Kuznetsov A.G., Akim E.L. Selection of optimal modes for larch wood processing in CTMP technology. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2019, is. 227, pp. 307–318 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2019.227.307-318

Analyze the possibility of chemical-thermomechanical pulp (CTMP) production from larch wood and comparison of its characteristics with spruce wood CTMP, which was obtained at same laboratory conditions were the main purposes of this study. Since larch is one of the most widespread tree species in Russia, which accounts for about 40% of all forest plantations [Akim et al., 2012], this work has great relevance. The structure and composition of larch wood is significantly different from other conifers. It belongs to typical heartwood species. The share of the core wood is about 70–90% of the tree trunk. Tracheids takes more than about 90% of a woody substance [Levin et al., 1978; Babkin et al., 2004]. Therefore, it was necessary to perform series of experiments that made it possible to evaluate the effect of Na_2SO_3 consumption, the temperature of impregnating solution and the impregnation time on the properties of CTMP and the specific energy consumption on refining. In addition, a characteristic feature of larch is a water-soluble polysaccharide arabinogalactan, contained in it in an amount of about 14% (with variations from 5 to 30%), as well as the presence in the larch core of substances of the group of flavonoids, represented mainly by quercetin and dihydroquercetin [Babkin et al., 2004] and Azarov et al., 2010. Therefore, during the work, it was necessary to analyze the effect of previous water extraction on the properties of the obtained product.

Keywords: larch wood, chemi-thermomechanical pulp, processing modes, sodium sulfite consumption, optical properties, physico-mechanical properties, pre-extraction.

КАЗЫМОВ Дмитрий Сергеевич – соискатель степени кандидата технических наук Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: dmitriy.kazymov@gmail.com

KAZYMOV Dmitry S. – doctoral student of Higher School of Technology and Energy St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: dmitriy.kazymov@gmail.com

АКИМ Эдуард Львович – профессор, заведующий кафедрой технологии целлюлозы и композиционных материалов Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, доктор технических наук.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: akim-ed@mail.ru

AKIM Eduard L. – DSc (Technical), Professor, Head of department «Cellulose and Composites Technology», Higher School of Technology and Energy St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: akim-ed@mail.ru

МАХОТИНА Людмила Герцевна – профессор кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, доктор технических наук.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lusi_makhotina@mail.ru

МАКНОТИНА Ludmila G. – DSc (Technical), Professor at Cellulose and Composites Technology department, Higher School of Technology and Energy St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: lusi_makhotina@mail.ru

КУЗНЕЦОВ Антон Геннадьевич – доцент кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат технических наук.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: anton.kuznetsov@hotmail.com

KUZNETSOV Anton G. – PhD (Technical), Associate Professor at Cellulose and Composites Technology department, Higher School of Technology and Energy St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: anton.kuznetsov@hotmail.com

НИКАНДРОВ Андрей Борисович – доцент кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат химических наук.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: andrej.nikandrov@gmail.com

NIKANDROV Andrey B. – PhD (Chemical), Associate Professor at Cellulose and Composites Technology department, Higher School of Technology and Energy St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.

198095. Ivana Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: andrej.nikandrov@gmail.com