

УДК 676.153.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТРУЗИВНОЙ ХИМИКО-ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ МАССЫ

© *И.Н. Ковернинский**, *В.К. Дубовый*, *К.Д. Прокопенко*

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский переулок, 5, Санкт-Петербург, 194021 (Россия), e-mail: kovern@list.ru

В статье приводятся результаты исследования экструзивной химико-термомеханической массы (ЭХТММ) из древесины тополя белой. В результате исследования установлено:

Микроскопические исследования волокна ЭХТММ подтверждают механизм преимущественного фибриллирования древесины по слою S₁. Средне- и длиноволокнистая фракция ЭХТММ составляет 85–80% при степени помола 24–43°ШР. Этот факт подтверждает малое укорочение волокна при увеличении степени помола более чем на 20°ШР.

Для использования в композиции бумаги и картона ЭХТММ рекомендуется размалывать до пределов 35–45°ШР. Замораживание ЭХТММ, как и высушивание, снижает физико-механические показатели в пределах 10–15%. Рекомендуется, по возможности, перерабатывать ЭХТММ сразу после получения, не подвергая сушке или замораживанию.

ЭХТММ является целлюлозно-бумажным волокнистым полуфабрикатом, пригодным для использования в композиции многих видов бумаги и картона.

Ключевые слова: экструзивная технология, экструзивная химико-термомеханическая масса, макулатурные волокна, бумага для гофрирования, физико-механические показатели, волокно-костричная масса, жесткость бумаги.

Введение

Приоритетным направлением развития науки и технологий в лесном секторе Российской Федерации является повышение комплексности использования ресурсов древесины за счет максимально возможной переработки всевозрастающих маловостребованных ресурсов древесины, отходов лесозаготовительных и лесоперерабатывающих предприятий [1].

Одним из новых перспективных направлений использования указанных ресурсов для России является переработка древесины на малотоннажных заводах в востребованный вид ЦБВП – экструзивную химико-термомеханическую древесную массу (ЭХТММ) с применением экструзивной технологии. Название технологии и древесной массы применено авторами, исходя из принципа работы основной машины – двухшнекового (двухвинтового) экструдера [2–3]. В нем предварительно подготовленная щепка подвергается одновременному многофакторному воздействию с превращением в волокнисто-костричную массу (ВКМ). Особенностью подготовки щепы является пропитка щелочью при температуре (70–90 °С) и нормальном атмосферном давлении. Полученная ВКМ подвергается последовательному размолу, вначале в две-три ступени в дисковых рафинерах при высокой концентрации (35–37%), а после – в 2–3 ступени в дисковых рафинерах при средней концентрации (6–9%) в массу требуемой степени помола (28–36°ШР). Далее массу можно использовать в жидком потоке для производства бумаги (картона) на данном предприятии либо высушить до товарного продукта и реализовать на рынке.

Ковернинский Иван Николаевич – доктор технических наук, профессор, руководитель инновационных программ, e-mail: kovern@list.ru

Дубовый Владимир Климентьевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии бумаги и картона, e-mail: dubovy2004@mail.ru

Прокопенко Кирилл Дмитриевич – студент, e-mail: prokopenko.ligg@gmail.com

Технология обеспечивает дефибрирование размягченного щелочью, в сочетании с температурой, сырья на волокно. При этом часть легкорасщепляемых веществ древесины, экстрагированных щелочью в жидком виде, и часть твердого древес-

* Автор, с которым следует вести переписку.

ного вещества выводятся из экструдера в виде побочных продуктов (отходов). Выход основного продукта – ЭХТММ составляет 80–85% от массы древесины.

Цель исследования: установить влияние степени помола ЭХТММ на механические показатели бумаги.

Задачами исследования явились:

- определение физико-механических свойств массы;
- проведение микроскопического исследования качества массы;
- определение дисперсионного состава массы.

Экспериментальная часть

Предметом исследования был образец ЭХТММ беленой из тополя, произведенный на китайской технологической линии.

Физико-механические свойства массы, жесткость и микроскопические исследования волокна проводили по методикам, опубликованным в лабораторном практикуме [4].

Дисперсионный состав массы проводили на приборе «Анализатор волокна GUALSCKAN III» [5].

Результаты и обсуждение

При исследовании физико-механических свойств массы были получены следующие данные: влажность 60%; жесткость 99.6 ед. Каппа; степень помола 24°ШР; сопротивление продавливанию 166 кПа; разрывная длина 2850 м.

Микроскопическое исследование массы показано на рисунке.

Данные физико-механических испытаний массы показывают, что данное волокно является типовым представителем химико-термомеханической древесной массы [6]. То же подтверждается микроскопическими исследованиями. На микрофотографиях отчетливо видны характерные лиственной древесине волокна: волокна либриформа, сердцевинные лучи (тонкие длинные) и сосуды (короткие толстые) [7, 8].



Микрофотографии ЭХТММ беленой

Волокна остаются малоизмененными (малоповрежденными), сохраняют длину и высокую поверхностную активность для образования межволоконных связей [9–11].

В следующих экспериментах получены количественные характеристики дисперсности ЭХТММ. Учитывая, что определяющим бумагообразующим фактором волокна является степень помола, важно было исследовать влияние степени помола на фракционный состав массы [12–15]. Данные о средней величине размеров волокна и влияние степени помола на фракционный состав массы представлены в таблице 1.

Как видно в таблице 1, средняя длина волокна составляет 0.838 мм, исходя из общего интервала длины волокна в древесине 0.5–1.7 мм. При размоле волокна от исходной величины 18 до 40°ШР ожидается увеличивается доля коротковолокнистой фракции 0.20–0.53 мм, прирастает доля длины 0.53–0.85 мм. Доли длиноволокнистых фракций снижаются, что подтверждает укорочение волокна в процессе размола. Результаты исследования показали, что в технологии экструзивной ЭХТММ следует предусматривать процессы для максимального сохранения исходной длины волокна [16, 17].

Длина волокна и степень помола напрямую влияют на физико-механические показатели бумаги (картона). Классическая зависимость – чем длиннее волокно и больше степень помола по режиму преимущественно фибрилляции поверхности волокна, тем выше физико-механические показатели. Особенно важны эти показатели для тароупаковочных видов бумаги и картона [18]. С целью установления основных физико-механических показателей для ЭХТММ были определены показатели, нормируемые для одного из главных компонентов гофрокартона – бумаги для гофрирования (флютинг). Результаты исследования представлены в таблице 2.

Как видно в таблице 2, при степени помола свыше 40°ШР ЭХТММ по показателям сопротивление продавливанию, разрывное усилие и разрывная длина значительно превосходит макулатуру, а по показателю сопротивление излому – значительно ей уступает. Это подтверждает высокую жесткость бумаги из 100% ЭХТММ. Учитывая, что макулатурные волокна более эластичные, а волокна ЭХТММ очень жесткие, результирующий эффект оказывается положительным. Бумага для гофрирования производится более жесткой, обеспечивающей повышенную жесткость, а следовательно, придает лучшие механические свойства гофрощикам [19]. В технологии бумаги нужно только оптимизировать соотношение макулатуры и ЭХТММ в композиции волокна. Содержание ЭХТММ в композиции можно рекомендовать в пределах 30–50% [20, 21].

Таблица 1. Средние величины основных характеристик исходного волокна

	Средняя длина, мм	Средняя ширина мкм	Средний фактор формы, %	Грубость
ЭХТММ	0.838	29.1	90.7	185
Диапазоны длины, мм	Доля волокон в общей массе, %			
		Степень помола 18°ШР	Степень помола 40°ШР	
	0.20–0.53	17.0	21.3	
	0.53–0.85	32.9	34.9	
	0.85–1.18	33.8	30.9	
	1.18–1.5	13.5	10.5	
	1.5 и выше	2.9	2.5	

Таблица 2. Зависимость нормируемых показателей для флютинга от степени помола и содержания макулатуры (макулатура МС-5Б)

Композиция	Степень помола, °ШР	Сопротивление продавливанию, КПа	Сопротивление излому, ч.д.п.	Разрывное усилие, Н	Разрывная длина, м	Сопротивление плоскостному сжатию, Н	Сопротивление торцевому сжатию, кН/м
ЭХТММ 100%	24	166	4	51	2850	239	1.64
ЭХТММ 100%	43	286	15	89	5580	345	2.27
Макулатура 100%	21	226	47	55	3570	–	–
ЭХТММ 50% Макулатура 50%	31	251	31	66	4260	222	1.60

При производстве ЭХТММ вначале получают «сырую» массу, сухостью 35–40%. Возможны варианты продажи ее близлежащим предприятиям без сушки до сухости 90–92%. В зимнее время возможно замораживание массы и изменение ее свойств. Для выяснения влияния замораживания массы на физико-механические показатели бумаги проведен эксперимент с «замораживанием-размораживанием». Результаты приведены в таблице 3.

Как видно в таблице 3, замораживание массы отрицательно сказывается на всех физико-механических показателях. Причем снижение показателей существенно, в пределах 10–15%. Очевидно, что при перевозке в зимнее время необходимо принимать меры для исключения замораживания массы.

Таблица 3. Зависимость нормируемых показателей для флютинга от степени помола и содержания макулатуры (макулатура МС-5Б)

Композиция	Степень помола, °ШР	Соппротивление продавливанию, КПа	Соппротивление излому, ч.д.п.	Разрывное усилие, Н	Разрывная длина, м	Соппротивление плоскостному сжатию, Н	Соппротивление торцевому сжатию, кН/м
ЭХТММ 100%	40	260	15	77	4900	288	2.05
ЭХТММ 100% после заморозки	38	236	10	64	4200	261	2.03

Выводы и рекомендации

1. Микроскопические исследования волокна ЭХТММ подтверждают механизм преимущественного фибриллирования древесины по слою S₁.

2. Средне- и длинноволокнистая фракция ЭХТММ составляет 85–80% при степени помола 24–43°ШР. Этот факт подтверждает малое укорочение волокна при увеличении степени помола более чем на 20°ШР.

3. Для использования в композиции бумаги и картона ЭХТММ рекомендуется размалывать до пределов 35–45°ШР.

4. Замораживание ЭХТММ, как и высушивание, снижает физико-механические показатели в пределах 10–15%. Рекомендуется, по возможности, перерабатывать ЭХТММ сразу после получения, не подвергая сушке или замораживанию.

Список литературы

1. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 11 февраля 2021 г. №312-р. М., 2021. 77 с.
2. Ковернинский И.Н., Прокопенко К.Д. Перспективные малотоннажные заводы переработки балансов и отходов лесопиления в высокорентабельную химико-термомеханическую массу для бумаги и картона // Лесной комплекс. 2019. №2(36). С. 64–69.
3. Оборудование для подготовки целлюлозно-бумажной массы. Оборудование для очистки сточных вод/материалы фирмы «Zibo Jepps Trading Co. Ltd». Zhangdian, Zibo, Shandong, China, 2018. 11 с.
4. Дубовый В.К. и др. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона. СПб., 2006. 230 с.
5. Приборы для контроля качества целлюлозы, бумаги, картона. Каталог 2017 ООО «Сигма Микрон». СПб., 2017. 43 с.
6. Кларк Д. Технология целлюлозы. М., 1983. 436 с.
7. Атлас ультраструктуры древесных полуфабрикатов, применяемых для производства бумаги / под ред. Н.П. Зотовой-Спановской. М., 1984. 232 с.
8. Чивчавадзе Е.С. и др. Атлас древесины и волокон для бумаги. М., 1992. 136 с.
9. Ковернинский И.Н. Исследование физико-механических свойств химико-термомеханической массы из древесины тополя // Химия растительного сырья. 2019. №2. С. 305–310. DOI: 10.14258/jcrpm.2019024482.
10. Прокопенко К.Д., Ковернинский И.Н. Исследование свойств волокна из древесины, полученного по технологии двухвинтовой экструзии для применения в производстве бумаги и картона // Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов в области целлюлозно-бумажной промышленности, посвященной памяти В.А. Чуйко. СПб., 2018. С. 107–112.
11. Ковернинский И.Н., Прокопенко К.Д., Дубовый В.К., Криницин Н.А., Суслов Г.А. Исследование бумаги на основе беленой химико-термомеханической массы из древесины тополя // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 226. С. 162–170. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.226.162-170.

12. Комаров В.И. Критическая длина волокна – фактор, определяющий деформативность и прочность целлюлозно-бумажных материалов // Лесной журнал. 1993. №4. С. 74–83.
13. Le Saalheux. Теоретические исследования сопротивления бумаги и картона на разрыв // Paper. 1953. №10.
14. Page D.H. A theory for the strength of paper // Tappi. 1969. Vol. 52. Pp. 674–681.
15. Паламарчук Н.Ф., Мороз В.Н. Химико-термомеханическая древесная масса для картона // Химия растительного сырья. 2012. №3. С. 193–196.
16. Комаров В.И. и др. Технология механической массы из щепы. Архангельск, 1991. 76 с.
17. Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И. Современное состояние и перспективы развития использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. Архангельск, 2007. 118 с.
18. Кулешов А.В., Смолин А.С. Влияние цикличности использования макулатурного волокна на бумагообразующие свойства // Лесной журнал. 2008. №4. С. 131–138.
19. Rodriguez C., Alaswad A., El-Hassan Z., Olabi A.G. Mechanical pretreatment of waste paper for biogas production // Waste Management. 2017. Vol. 68. Pp. 157–164. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.06.040.
20. Bobalek J.F., Chaturvedi M. The effects of recycling on the physical properties of handsheets with respect to specific wood species // Tappi Journal. 1989. Vol. 72 (6). P. 123.
21. Pivnenko K., Eriksson E., Astrup T.F. Waste paper for recycling: Overview and identification of potentially critical substances // Waste Management. 2015. Vol. 45. Pp. 134–142.

Поступила в редакцию 4 октября 2021 г.

После переработки 25 ноября 2021 г.

Принята к публикации 26 ноября 2021 г.

Для цитирования: Ковернинский И.Н., Дубовый В.К., Прокопенко К.Д. Исследование экструзивной химико-термомеханической массы // Химия растительного сырья. 2022. №1. С. 319–324. DOI: 10.14258/jcrpm.20220110438.

*Koverninskiy I.N.**, *Duboviy V.K.*, *Prokopenko K.D.* STUDY OF EXTRUSIVE CHEMICAL THERMOMECHANICAL PULP

St. Petersburg State Forest Engineering University named after V.I. Kirov, Institutskiy pereulok, 5, St. Petersburg, 194021 (Russia), e-mail: kovern@list.ru

The article presents the results of a study of extrusive chemical-thermomechanical pulp (ECTMP) from bleached poplar wood. As a result of the study, it was established:

Microscopic studies of the ECTMP fiber confirm the mechanism of predominant fibrillation of wood along the S layer.

The medium- and long-fiber fraction of ECTMP is 85–80%, with a grinding degree of 24–43°. This fact confirms the small shortening of the fiber with an increase in the degree of grinding by more than 20°.

For use in the composition of paper and cardboard, it is recommended to grind ECTMP to the limits of 35–45°.

Freezing ECTMP, like drying, reduce physical and mechanical properties within 10–15%. It is recommended, if possible, to recycle ECTMP immediately after receipt, without drying or freezing.

ECTMP is a pulp and paper fibrous semi-finished product suitable for use in the composition of many types of paper and cardboard.

Keywords: extrusion technology, extrusion chemical-thermomechanical pulp, recycled fibers, corrugating paper, physical and mechanical parameters, fiber pulp, paper stiffness.

* Corresponding author.

Referenses

1. *Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda: Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 11 fevralya 2021 g. №312-r.* [Strategy for the development of the forest complex of the Russian Federation until 2030: Decree of the Government of the Russian Federation dated February 11, 2021 No. 312-r]. Moscow, 2021, 77 p. (in Russ.).
2. Koverninskiy I.N., Prokopenko K.D. *Lesnoy kompleks*, 2019, no. 2(36), pp. 64–69. (in Russ.).
3. *Oborudovaniye dlya podgotovki tsellyulozno-bumazhnoy massy. Oborudovaniye dlya ochistki stochnykh vod/materialy firmy «Zibo Jepps Trading Co. Ltd».* [Equipment for the preparation of pulp and paper pulp. Wastewater Treatment Equipment/Materials by Zibo Jepps Trading Co. ltd.]. Zhangdian, Zibo, Shandong, China, 2018, 11 p. (in Russ.).
4. Dubovyy V.K. i dr. *Laboratornyy praktikum po tekhnologii bumagi i kartona. Ucheb. Posobiye.* [Laboratory workshop on technology of paper and cardboard. Proc. Benefit]. St. Petersburg, 2006, 230 p. (in Russ.).
5. *Pribory dlya kontrolya kachestva tsellyulozy, bumagi, kartona. Katalog 2017 OOO «Sigma Mikron».* [Devices for quality control of pulp, paper, cardboard. Catalog 2017 Sigma Micron LLC]. St. Petersburg, 2017, 43 p. (in Russ.).
6. Klark D. *Tekhnologiya tsellyulozy.* [Cellulose technology]. Moscow, 1983, 436 p. (in Russ.).
7. *Atlas ul'trastruktury drevesnykh polufabrikatov, primenyayemykh dlya proizvodstva bumagi* [Atlas of the ultrastructure of wood semi-finished products used for paper production], ed. N.P. Zotova-Spanovskaya. Moscow, 1984, 232 p. (in Russ.).
8. Chivchavadze Ye.S. i dr. *Atlas drevesiny i volokon dlya bumagi.* [Atlas of wood and fibers for paper]. Moscow, 1992, 136 p. (in Russ.).
9. Koverninskiy I.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 305–310. DOI: 10.14258/jcprm.2019024482. (in Russ.).
10. Prokopenko K.D., Koverninskiy I.N. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh, spetsialistov v oblasti tsellyulozno-bumazhnoy pro-myshlennosti, posvyashchennoy pamyati V.A. Chuyko.* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists, Specialists in the Pulp and Paper Industry, dedicated to the memory of V.A. Chuiko]. St. Petersburg, 2018, pp. 107–112. (in Russ.).
11. Koverninskiy I.N., Prokopenko K.D., Dubovyy V.K., Krinitsin N.A., Suslov G.A. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2019, vol. 226, pp. 162–170. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.226.162-170. (in Russ.).
12. Komarov V.I. *Lesnoy zhurnal*, 1993, no. 4, pp. 74–83. (in Russ.).
13. Le Caaheux. *Paper*, 1953, no. 10.
14. Page D.H. *Tappi*, 1969, vol. 52, pp. 674–681.
15. Palamarchuk N.F., Moroz V.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2012, no. 3, pp. 193–196. (in Russ.).
16. Komarov V.I. i dr. *Tekhnologiya mekhanicheskoy massy iz shepely.* [Technology of mechanical mass from wood chips]. Arkhangel'sk, 1991, 76 p. (in Russ.).
17. Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I. *Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya ispol'zova-niya vtorichnogo volokna iz makulatury v mirovoy i otechestvennoy industrii bumagi.* [Current state and development prospects for the use of recycled fiber from waste paper in the global and domestic paper industry]. Arkhangel'sk, 2007, 118 p. (in Russ.).
18. Kuleshov A.V., Smolin A.S. *Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 4, pp. 131–138. (in Russ.).
19. Rodriguez C., Alaswad A., El-Hassan Z., Olabi A.G. *Waste Management*, 2017, vol. 68, pp. 157–164. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.06.040.
20. Bobalek J.F., Chaturvedi M. *Tappi Journal*, 1989, vol. 72 (6), p. 123.
21. Pivnenko K., Eriksson E., Astrup T.F. *Waste Management*, 2015, vol. 45, pp. 134–142.

Received October 4, 2021

Revised November 25, 2021

Accepted November 26, 2021

For citing: Koverninskiy I.N., Duboviy V.K., Prokopenko K.D. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 1, pp. 319–324. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220110438.