

УДК 676.153

## СВОЙСТВА РАФИНЕРНОЙ МАССЫ ИЗ ЛЬНЯНОЙ КОСТРЫ

© Р.А. Марченко, Л.В. Чендылова, Н.В. Каретникова, Р.З. Пен\*, Ю.Д. Алашкевич

Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика  
М.Ф. Решетнева, пр. Мира, 82, Красноярск, 660049 (Россия),  
e-mail: mapt@sibgtu.ru

Льняная костра – многотоннажный побочный продукт при переработке льняной тресты в текстильной промышленности. Техническая целлюлоза из костры может быть использована в качестве сырья для производства бумажно-картонной продукции. Существующие способы делигнификации из-за сложности технологического цикла и экологических проблем сводят к минимуму те экономические преимущества, которые предполагает низкая стоимость сырья. Этим обусловлен интерес к производству волокнистых полуфабрикатов без применения химикатов.

Изучены бумагообразующие свойства смесей макулатурной массы и рафинерной механической массы (РММ) из льняной костры, лиственной древесины, пшеничной соломы. Соотношения компонентов варьировали согласно симплекс-решетчатому плану эксперимента. Зависимости свойств от состава смесей аппроксимированы уравнениями регрессии и представлены изолиниями в барицентрических координатах. Установлено, что из-за неудовлетворительных прочностных свойств РММ из льняной костры не может быть использована, как самостоятельный волокнистый полуфабрикат. Возможно ее применение в смеси с макулатурной массой для производства продукции с невысокими требованиями к прочностным свойствам (например, некоторых видов бумаги санитарно-гигиенического назначения).

*Ключевые слова:* льняная костра, рафинерная масса, древесная масса, макулатурная масса, соломенная рафинерная масса.

### Введение

Отходы промышленной переработки однолетних растений (солома различных зерновых культур, отходы переработки волокнодержущих культур в текстильном производстве и т.п.) рассматриваются в качестве перспективного сырья для целлюлозно-бумажного производства. Предпосылки к этому – короткий срок ротации сырья (периодичность – 1 год) и большие количества предлагаемых отходов растительного происхождения в названных выше и других отраслях промышленности и сельского хозяйства. В интересе к переработке этого сырья, помимо экономической составляющей, содержится и экологический аспект: утилизация отходов, сохранение лесов.

К числу волокнодержущих отходов ткацкого производства относится льняная костра. Намечившийся

рост производства и переработки льна как в России, так и во всем мире, обусловлен, прежде всего, повышенным интересом к потреблению льняных тканей и одежды, которые обладают хорошими санитарными и эксплуатационными качествами. Костру утилизируют различными способами: в производстве утеплителей, наполнителей композиционных материалов и др. [1–4].

Имеются публикации о свойствах и возможных областях использования технической целлюлозы из льняной костры [5–11]. Однако существующие способы делигнификации, вследствие сложности технологического цикла и других проблем, сводят к минимуму те экономические преимущества, кото-

---

Марченко Роман Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов промышленных технологий, e-mail: mapt@sibgtu.ru

Чендылова Лариса Валерьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов промышленных технологий, e-mail: loric-krsk@mail.ru

Каретникова Наталья Викторовна – кандидат химических наук, доцент кафедры машин и аппаратов промышленных технологий, e-mail: karetnikova.tata@mail.ru

Пен Роберт Зусьевич – доктор технических наук, профессор кафедры машин и аппаратов промышленных технологий, e-mail: robertpen@yandex.ru

Алашкевич Юрий Давыдович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии образования, заведующий кафедрой машин и аппаратов промышленных технологий, e-mail: mapt@sibgtu.ru

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

рые предполагает низкая стоимость растительного сырья. Этим обусловлен интерес к альтернативным технологиям, в том числе к производству волокнистых полуфабрикатов высокого и сверхвысокого выхода без использования химикатов или с минимальным их использованием.

Японская компания Тайзен (Taizen Co., Ltd) считает перспективным изготовление волокнистых полуфабрикатов из соломы злаков по технологии, близкой к производству рафинерной механической массы (РММ) и состоящей из ряда операций: замачивания сырья; предварительного размола; варки полученной волокнистой массы с водой при температуре до 100 °С; вторичного размола (информация из рекламных проспектов фирмы). В ходе совместных исследований компании Тайзен, ООО Химические системы (РФ) и ТОО Сабан кагазы (Казахстан) изготовили этим способом небеленый волокнистый полуфабрикат из соломы льна сорта «Северный» (Северо-Казахстанская область). Его прочностные свойства (сопротивление разрыву, продавливанию, излому) оказались низкими. Очевидно, что рафинерная механическая масса из льняной соломы в случае необходимости может быть использована для производства некоторых видов бумажной продукции, только как добавка в смеси с другими, более прочными и относительно дешевыми волокнистыми полуфабрикатами, такими, например, как древесная (механическая) и макулатурная масса.

Цель исследования – сравнить свойства рафинерной массы из льняной костры с другими волокнистыми полуфабрикатами (из группы «относительно недорогих») и установить возможные области ее применения в композиции с этими полуфабрикатами. В качестве последних использовали соломенную РММ, макулатурную и древесную массу.

### **Экспериментальная часть**

Льняная костра представляла собой отходы производства пакли и утеплителя из льняной тресты. Место произрастания льна-долгунца – Российская Федерация, Новосибирская область, Маслянинский район. Полидисперсный по фракционному составу материал состоял из частиц длиной 1–10 мм, толщиной 0,3–1,5 мм, с небольшими включениями волокнистой части льна. Массовые доли компонентов в льняной костре определяли общепринятыми методами [12]: целлюлозы – азотно-спиртовым; лигнина – сернокислотным в модификации Комарова; пентозанов – по ГОСТ 10820 (фотоколориметрическим методом с орсиновым реагентом); экстрагируемых веществ – экстракцией водой и дихлорметаном в аппарате Сокслета; золы – сжиганием пробы и прокаливанием при температуре 575 °С.

Воздушно-сухую костру распустили в лабораторном гидроразбивателе до разделения на волокна.

Солому пшеницы, заготовленную по окончании вегетационного периода в Емельяновском районе Красноярского края и высушенную на воздухе, предварительно измельчили в универсальной лабораторной дисковой мельнице сухого помола «Рекорд» примерно до тех же размеров частиц, что и льняная костра.

Макулатуру марки МС-7Б (офисная запечатанная бумага) [13] распустили в лабораторном гидроразбивателе; степень помола волокнистой массы 20° ШР.

Рафинерную древесную массу, изготовленную из лиственной древесины с помощью полупромышленной экспериментальной установки, также распустили в гидроразбивателе; начальная степень помола 13° ШР.

Все перечисленные исходные компоненты – объекты исследования – размолотили в полупромышленной однодисковой мельнице со стандартной прямолинейной гарнитурой до 45–47° ШР при концентрации волокнистой суспензии 1,6%, частоте вращения диска 1500 мин<sup>-1</sup> и зазоре между дисками 0,1 мм. Отливки массой 75 г/м<sup>2</sup> изготовили на листоотливном аппарате типа Рапид-Кетен, сопротивление разрыву определили на динамометре РМБ-30-2М, сопротивление излому – на аппарате системы Шоппер (фирма Drick), капиллярную впитываемость характеризовали высотой поднятия дистиллированной воды по полоске бумаги шириной 15 мм в течение 10 мин. [14].

### **Обсуждение результатов**

Результаты химического анализа льняной костры и другого растительного сырья приведены в таблице 1. Химический состав костры заметно отличается не только от древесины, но и от соломы злаковых культур (пшеница): меньше полисахаридов и больше лигнина. Следует обратить внимание на значительные различия в содержании основных компонентов по данным разных авторов. Причиной этого, несомненно, является как естественная природная (сортовая и региональная) изменчивость льна, так и влияние предшествующего техногенного воздействия на сырье.

Таблица 1. Химический состав растительного сырья, %

Компоненты	Древесина осины [15, 16]	Солома пшеницы [15, 16]	Льняная костра		
			наши данные [9]	[6, 8]	[17]
Лигнин	19.0	16.0	33.1	35.8	21–29
Целлюлоза	52.0	47.8	30.7	37.2	45–58
Пентозаны	22.0	13.0	28.0	–	23–26
Экстрагируемые:					
– горячей водой	2.5	8.6	5.4	–	–
– дихлорметаном	3.0–5.0	2.35	4.3	–	–
Зола	0.5	4.9	1.7	–	–

На рисунке 1 представлена динамика размола волокнистых полуфабрикатов. По способности к размолу все использованные для сравнения волокнистые полуфабрикаты растительного происхождения мало различались между собой, но заметно отличались от макулатурной массы.

Свойства волокнистых полуфабрикатов и результаты статистической обработки результатов измерений приведены в таблице 2. Результаты измерений подвергнуты однофакторному дисперсионному анализу (пакет прикладных программ Statgraphics Centurion, блок Design of Experiments, процедура Single Factor Categorical [18, 19]). В качестве переменного фактора выступают виды волокнистого сырья (четыре дискретных уровня варьирования, обозначенных в таблице 2 и далее буквами А, В, С, D), а в качестве выходных параметров – показатели свойств волокнистых полуфабрикатов Y1, Y2 и Y3.

Критерий (дисперсионное отношение) Фишера F в контексте – отношение полной дисперсии выходного параметра к дисперсии «воспроизводимости». При уровне значимости 0.05 табличное значение  $F_{0.05} = 6.59$ . Поскольку в обсуждаемом наблюдении все вычисленные значения F (табл. 2) больше, чем  $F_{0.05}$ , можно утверждать с вероятностью не менее 95%, что влияние уровней фактора на все выходные параметры статистически значимо. Наглядное представление о результатах сравнения свойств полуфабрикатов дает рисунок 2. По сопротивлению разрыву и излому отливки из макулатурной массы значительно превосходят прочность остальных полуфабрикатов. По сопротивлению разрыву самым низким показателем выделяется льняная масса. По сопротивлению излому все изученные полуфабрикаты, за исключением макулатурной массы, образовали гомогенную группу с очень низким показателем, близким к нулю. Причина низких прочностных свойств рафинерной массы известна – короткое волокно и большое количество лигнина в полуфабрикатах и, как следствие, малая прочность межволоконных сил связи в бумажном листе и рыхлая структура листа. Косвенное подтверждение последнего утверждения – «зеркальная», по отношению к разрывной длине, картина впитываемости воды отливками (рис. 2, графики Y1 и Y3).

Результаты дисперсионного анализа с очевидностью показали, что использование рафинерной волокнистой массы для производства бумажно-картонной продукции возможно только в смеси с другими волокнистыми полуфабрикатами, имеющими лучшие бумагообразующие свойства, в частности – с макулатурной массой. С целью установления зависимости этих свойств от состава смеси изучаемые полуфабрикаты смешивали в соотношениях согласно симплекс-решетчатому плану (пакет прикладных программ математической статистики Statgraphics Centurion XVI, блок DOE, процедура Mixture, план Simplex-Lattice) [18].

Композиционные составы и свойства бумажных отливок приведены в таблице 3. Зависимости свойств от состава отливок аппроксимировали уравнениями регрессии

$$\hat{Y} = \sum b_i X_i + \sum b_{ij} X_i X_j; i, j = A, B, C, D; i \neq j.$$

Коэффициенты регрессии  $b_i$  и  $b_{ij}$ , статистические характеристики результатов аппроксимации приведены в таблице 4.

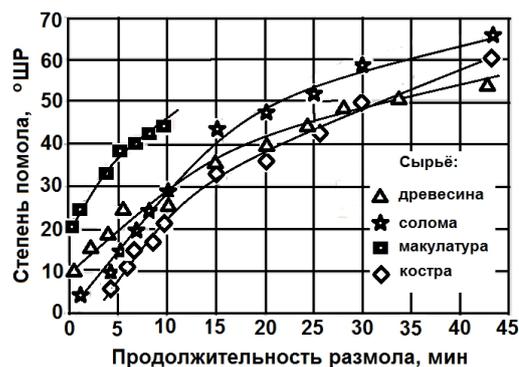


Рис. 1. Динамика размола волокнистых полуфабрикатов

Таблица 2. Результаты наблюдений (свойства волокнистой массы) и статистические характеристики

Характеристики	Уровни фактора (исходное сырье)			
	А древесина	В солома	С макулатура	Д костра
Разрывная длина, $Y_1$ , м				
Средние значения, м	670	382	2435	110
Коэффициенты вариации, %	4.22	4.44	27.0	12.8
Дисперсионное отношение Фишера F	20.3			
Уровень значимости P	0.0070			
Сопrotивление излому, $Y_2$ , число двойных перегибов (ч.д.п.)				
Средние значения, ч.д.п.	1	1	155	0
Коэффициенты вариации, %	141.4	141.4	6.39	0
Дисперсионное отношение Фишера F	467.0			
Уровень значимости P	0.0000			
Капиллярная впитываемость, $Y_3$ , мм				
Средние значения, мм	63.5	77.0	29.5	80.5
Коэффициенты вариации, %	13.9	12.8	2.4	4.4
Дисперсионное отношение Фишера F	23.7			
Уровень значимости P	0.0052			

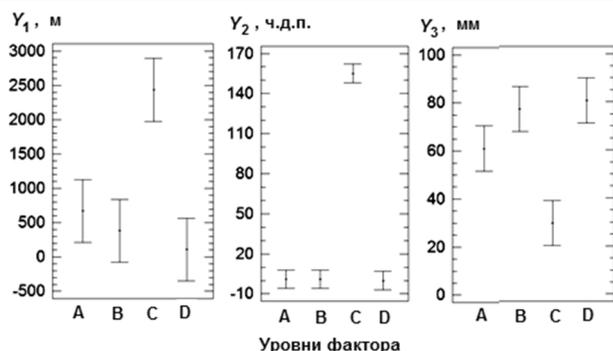


Рис. 2. Средние значения (крестики) и 95%-ные доверительные интервалы свойств волокнистых полуфабрикатов

Таблица 3. План эксперимента и результаты его реализации (средние из двух опытов)

Массовые доли компонентов в смеси				Результаты наблюдений		
$X_A$	$X_B$	$X_C$	$X_D$	$Y_1$ , м	$Y_2$ , ч.д.п.	$Y_3$ , мм
1	0	0	0	382	1	76.5
0.5	0.5	0	0	525	1	69.0
0.5	0	0.5	0	1025	61	48.0
0.5	0	0	0.5	158	1	65.0
0	1	0	0	670	1	61.0
0	0.5	0.5	0	1100	68	47.5
0	0.5	0	0.5	312	1	80.0
0	0	1	0	2435	155	29.5
0	0	0.5	0.5	1006	56	61.5
0	0	0	1	110	0	80.5

На рисунках 3–5 результаты моделирования уравнениями регрессии представлены изолиниями свойств трехкомпонентных смесей в барицентрических координатах на треугольных диаграммах «состав – свойство».

Согласно ГОСТ Р 52354 [20], бумага группы А (туалетная однослойная) должна иметь сопротивление разрыву (разрушающее усилие) в сухом состоянии не менее 2,2 Н (соответствующая разрывная длина не менее 250 м) и впитываемость не менее 22 мм. Сопротивление излому и другие прочностные свойства для этого вида бумаги указанным стандартом не нормируются. По способности отливок впитывать влагу практически все испытанные композиции отвечают предъявляемым требованиям. Учитывая, что предприятия, производящие туалетную бумагу, в настоящее время в качестве сырья используют только макулатуру, для них вполне реальна возможность замены значительной доли макулатуры (вплоть до 80%) рафинерной массой из более дешевого сырья – льняной костры, как следует из диаграмм на рисунках 3 и 5. Даже композиции из смеси равных долей рафинерной массы из пшеничной соломы и льняной костры способны обеспечить требуемые прочностные и впитывающие свойства однослойной туалетной бумаги, что открывает дополнительные резервы снижения расходов предприятия на сырье.

Таблица 4. Статистические характеристики уравнений регрессии

Характеристики	Выходные параметры		
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
Коэффициенты регрессии:			
$b_A$	363	0.8	75.0
$b_B$	655	1.2	61.8
$b_C$	2435	155.0	30.2
$b_D$	60	0.4	83.0
$b_{AB}$	0	0.0	0.0
$b_{AC}$	-1462	-67.5	0.0
$b_{AD}$	0	0.0	-55.9
$b_{BC}$	-1780	-38.3	0.0
$b_{BD}$	0	0.0	70.5
$b_{CD}$	-965	-86.7	0.0
Дисперсионные отношения $F$	40.3	318.7	39.2
Уровни значимости $P$	0.0000	0.0000	0.0000
Коэффициенты детерминации $R^2$ , %	92.5	99.0	90.9

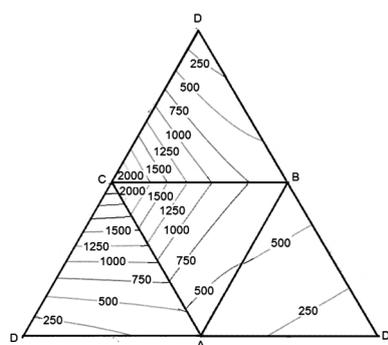


Рис. 3. Зависимость сопротивления отливок разрыву  $Y_1$ , м, от состава трехкомпонентных смесей волокнистых полуфабрикатов

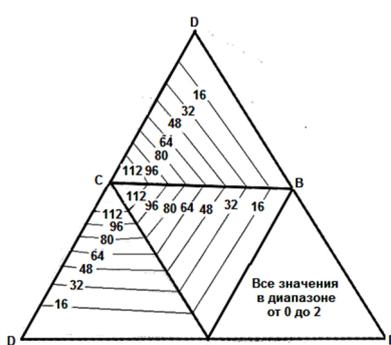


Рис. 4. Зависимость сопротивления отливок излому  $Y_2$ , ч.д.п., от состава трехкомпонентных смесей волокнистых полуфабрикатов

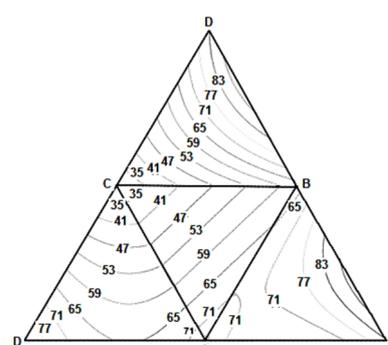


Рис. 5. Зависимость капиллярной впитываемости отливок  $Y_3$ , мм, от состава трехкомпонентных смесей волокнистых полуфабрикатов

### Выводы

1. Из-за неудовлетворительных прочностных свойств рафинерная масса из льняной костры не может быть использована как самостоятельный волокнистый полуфабрикат в качестве сырья для производства бумажно-картонной продукции.

2. Возможно и целесообразно использование рафинерной массы из льняной костры в композиции с другими волокнистыми полуфабрикатами, в частности, с макулатурной массой, для производства продукции с невысокими требованиями к прочностным свойствам (например, некоторых видов бумаги санитарно-гигиенического назначения).

### Список литературы

1. Живетин В.В., Гинзбург Л.Н., Ольшанская О.М. Лен и его комплексное использование. М., 2002. 400 с.
2. Нугманов О., Лебедев Н., Яруллин Р. Травяная целлюлоза в российских регионах // The Chemical Journal / Химический журнал. 2012. №9. С. 30–32.
3. Шумный В.К., Колчанов Н.А., Сакович Г.В. и др. Поиск возобновляемых источников целлюлозы для многоцелевого использования // Вестник ВОГиС. 2010. Т. 14. С. 569–578.
4. Куничан В.А., Харитонов С.В. Синтез карбоксиметилцеллюлозы из льняной целлюлозы // Химия растительного сырья. 1999. №2. С. 155–157.
5. А.с. 1008315 (СССР). Способ получения целлюлозы / И.И. Савина, А.Д. Алексеев, В.М. Резников, Ж.Г. Дрожжа, Л.Ю. Малицкая, В.Л. Колесников // БИ. 1983. №12. 3 с.

6. Ефанов М.В., Панченко О.А., Забелина А.В. Окислительное нитрование костры льна // Химия растительного сырья. 2004. №3. С. 95–97.
7. Прусова С.М., Прусов А.Н., Рыжов А.И. Льняное сырье для получения целлюлозы // Боеприпасы и высокоэнергетические системы. 2010. №1. С. 63–69.
8. Лён в пороховой промышленности / под ред. С.И. Григорова. М., 2012. 248 с.
9. Каретникова Н.В., Чендылова Л.В., Пен Р.З. Свойства волокнистых полуфабрикатов из костры льна // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы IV междунар. научно-техн. конф. Архангельск, 2017. С. 268–272.
10. Каретникова Н.В., Чендылова Л.В., Пен Р.З., Муравицкая А.А. Техническая целлюлоза из костры льна // Решетниковские чтения: материалы XXI Междунар. научно-практ. конф. В 2 частях. Красноярск, 2017. Ч. 2. С. 143–144.
11. Каретникова Н.В., Чендылова Л.В., Пен Р.З. Делигнификация льняной костры // Химия растительного сырья. 2018. №1. С. 155–162. DOI: 10.1414258/jcprin.2018012757.
12. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М., 1991. 320 с.
13. ГОСТ 10700-97. Макулатура бумажная и картонная. Технические условия (с Изменением N 1). Межгосударственный стандарт. Дата введения 01.01.2003.
14. ГОСТ 12602-93 (ИСО 8787-86). Бумага и картон. Определение капиллярной впитываемости. Метод Клемма. Межгосударственный стандарт. Дата введения 01.01.1995.
15. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 1. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 1. СПб., 2002. 420 с.
16. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 1. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 2. СПб., 2003. 633 с.
17. Большая Российская энциклопедия. М., 2010. Т. 15. С. 472.
18. Пен Р.З. Планирование эксперимента в Statgraphics Centurion. Красноярск, 2014. 293 с.
19. Пен Р.З., Пен В.Р. Статистические методы моделирования и оптимизации технологических процессов. Красноярск, 2016. 285 с.
20. ГОСТ Р 52354. Изделия из бумаги бытового и санитарно-гигиенического назначения. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2). Национальный стандарт Российской Федерации. Дата введения 01.01.2006.

*Поступила в редакцию 4 апреля 2018 г.*

*После переработки 21 апреля 2018 г.*

*Принята к публикации 10 мая 2018 г.*

**Для цитирования:** Марченко Р.А., Чендылова Л.В., Каретникова Н.В., Пен Р.З., Алашкевич Ю.Д. Свойства рафинерной массы из льняной костры // Химия растительного сырья. 2018. №4. С. 247–253. DOI: 10.14258/jcprgm.2018043927.

Marchenko R.A., Chendylova L.V., Karetnikova N.V., Pen R.Z.\* , Alashkevich Yu.D. PROPERTIES OF THE REFINER MECHANICAL PULP FROM FLAX SHIVE

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, pr. Mira, 82, Krasnoyarsk, 660049 (Russia),  
e-mail: mapt@sibgtu.ru

Flax shive is a large-tonnage by-product at the conversion of linen in the textile industry. The pulp from shive can be used as raw material for making of the paper-board production. The existing methods of delignification, because of the difficulty of the technological cycle and of the ecological problems, reduce to a minimum those economic advantages, which assume the low cost of the raw material. By that is conditioned interest to produce pulp without using of the chemicals.

Paper-making characteristics of the mixtures of waste-paper and refiner mechanical pulp (RMP) from flax shive, hard wood, wheat straw were studied. The components ratio varied according to simplex-lattice plan of the experiment. The characteristic dependencies from composition of the mixtures are approximated by regression equation and are presented as isolines in barycentric coordinates. It is determined that because of unsatisfactory strength properties RMP from flax shive can be not used, as independent fibrous half-finished product. Possible its using in mixture with waste-paper for produce of the product with the low requirements to the strength properties (for instance, some type of the sanitary-hygienic purpose paper).

**Keywords:** flax shive, refiner mechanical pulp, waste-paper, straw refiner mechanical pulp.

## References

- Zhivetin V.V., Ginzburg L.N., Ol'shanskaya O.M. *Lyon i ego kompleksnoe ispol'zovanie*. [Flax and its complex use]. Moscow, 2002. 400 p. (in Russ.)
- Nugmanov O., Lebedev N., YArullin R. *The Chemical Journal*, 2012, no. 9, pp. 30–32. (in Russ.)
- Shumnyj V.K., Kolchanov N.A., Sakovich G.V. i dr. *Vestnik VOGiS*, 2010, vol. 14, pp. 569–578. (in Russ.)
- Kunichan V.A., Haritonov S.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 1999, no. 2, pp. 155–157. (in Russ.)
- Patent 1008315 (SU). 30.03.1983 (in Russ.).
- Efanov M.V., Panchenko O.A., Zabelina A.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2004, no. 3, pp. 95–97. (in Russ.).
- Prusova S.M., Prusov A.N., Ryzhov A.I. *Boeprisy i vysoko-ehnergeticheskie sistemy*, 2010, no. 1, pp. 63–69. (in Russ.)
- Lyon v porokhovoј promyshlennosti*. [Flax in the powder industry]. Moscow, 2012. 248 p. (in Russ.)
- Karetnikova N.V., Chendylova L.V., Pen R.Z. *Problemy mekhaniki cellyulozno-bumazhnykh materialov. Mat IV Mezhdunar. nauchnotekhn. konf.* [Problems of pulp and paper mechanics. Materials of the IV International Scientific Conference]. Arkhangel'sk, 2017, pp. 268–272. (in Russ.)
- Karetnikova N.V., Chendylova L.V., Pen R.Z., Muravickaya A.A. *Reshetnikovskie chteniya. Mat. XXI Mezhdunar. nauchnoprakt. konf. V 2 chastyakh*. [Reshetnikov readings. Materials of the XXI International Scientific and Practical Conference. In 2 parts.]. Krasnoyarsk, 2017, part. 2, pp. 143–144. (in Russ.)
- Karetnikova N.V., Chendylova L.V., Pen R.Z. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 1, pp. 155–162. DOI: 10.1414258/jcprn.2018012757. (in Russ.)
- Obolenskaya A.V., El'nickaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i cellyulozy*. [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose]. Moscow, 1991. 320 p. (in Russ.)
- GOST 10700-97. *Makulatura bumazhnaya i kartonnaya. Tekhnicheskie usloviya (s Izmeneniyem N 1)*. [State Standard 10700-97. Waste paper and cardboard. Technical conditions (with a change N 1)]. 01.01.2003.
- GOST 12602-93 (ISO 8787-86). *Bumaga i karton. Opredelenie kapillyarnoy vpytyvaemosti. Metod Klemma. Mezhdunarstvennyj standart*. [State Standard 12602-93 (ISO 8787-86). Paper and cardboard. Determination of capillary absorption. Clamp method. Interstate standard]. 01.01.1995.
- Tekhnologiya cellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. V 3-kh tomakh. T. 1: Syr'e i proizvodstvo polufabrikatov*. [Pulp and paper production technology. In 3 volumes. Vol. 1: Raw materials and production of semi-finished products]. Part. 1. St. Petersburg, 2002. 420 p.
- Tekhnologiya cellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. V 3-kh tomakh. T. 1: Syr'e i proizvodstvo polufabrikatov*. [Pulp and paper production technology. In 3 volumes. Vol. 1: Raw materials and production of semi-finished products]. Part. 2. St. Petersburg, 2003. 633 p.
- Bol'shaya Rossijskaya ehnciklopediya*. [Great Russian Encyclopedia]. Moscow, 2010. Vol.15. P. 472. (in Russ.)
- Pen R.Z. *Planirovanie ehksperimenta v Statgraphics Centurion*. [Experiment Planning in Statgraphics Centurion]. Krasnoyarsk, 2014. 293 p. (in Russ.)
- Pen R.Z., Pen V.R. *Statisticheskie metody modelirovaniya i optimizacii tekhnologicheskikh processov*. [Statistical methods for modeling and optimization of technological processes]. Krasnoyarsk, 2016. 285 p. (in Russ.)
- GOST R 52354. *Izdeliya iz bumagi bytovogo i sanitarno-gigienicheskogo naznacheniya. Obshchie tekhnicheskie usloviya (s Izmeneniyami N 1, 2). Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii*. [State Standard R 52354. Paper products for household and sanitary purposes. General technical conditions (with Amendments N 1, 2). National standard of the Russian Federation]. 01.01.2006.

Received April 4, 2018

Revised April 21, 2018

Accepted May 10, 2018

**For citing:** Marchenko R.A., Chendylova L.V., Karetnikova N.V., Pen R.Z., Alashkevich Yu.D. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 4, pp. 247–253. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2018043927.

\* Corresponding author.

