

В.В. Гораздова, Е.В. Дернова, Д.А. Дулькин

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗМОЛА КОРОТКОВОЛОКНИСТОЙ ФРАКЦИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МАКУЛАТУРНОГО ТАРНОГО КАРТОНА

Введение. Макулатурная масса является крайне неоднородной полидисперсной системой, которая содержит волокна различной длины и толщины, полученные различными способами из различных пород древесины [Ванчаков и др., 2019]. Бумажную массу из вторичного волокна принято условно делить на коротко- и длинноволокнистую фракции (КВФ и ДВФ).

Длинноволокнистая фракция характеризуется заметно большей средней длиной волокна, низкой степенью помола и потенциально высокими прочностными свойствами [Яблочкин и др., 2004].

Коротковолокнистая фракция имеет невысокую среднюю длину волокна, содержит в своем составе обрывки и фрагменты сильно ороговевших волокон с высокой степенью помола, недостаточными бумагообразующими свойствами и особой способностью к укорочению в процессе размола вследствие недостаточной гибкости. КВФ обуславливает увеличение степени помола массы и препятствует оптимальному воздействию при размоле на ДВФ [Дулькин и др., 2007].

Совместный размол коротко- и длинноволокнистой фракций приводит к еще большему измельчению коротких и недостаточной обработке длинных волокон. Для приготовленной таким образом бумажной массы характерны невысокие бумагообразующие свойства [Дьякова и др., 2009].

Основные цели фракционирования:

- возможность повышения качества готовой продукции;
- сокращение затрат на процесс размола макулатурной массы за счет селективной обработки либо раздельного использования КВФ и ДВФ;
- снижение количества мелочи при обычном размоле.

Следовательно, разнонаправленный характер воздействия на длинное и короткое волокно приводит к повышению бумагообразующих свойств вторичных волокон.

Настоящее исследование направлено на изучение технологических факторов фракционирования и размола, влияющих на стабильность и повышение показателей качества тарного картона.

Целью исследования является усовершенствование режима размола коротковолокнистой фракции для повышения показателей качества макулатурного тарного картона.

Для реализации указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Определить оптимальную степень помола КВФ.
2. Установить влияние характера воздействия укорачивающего и фибриллирующего размола на КВФ.
3. Определить оптимальное содержание доли КВФ в композиции с ДВФ.
4. Провести опытно-промышленные испытания.

Материалы и методика исследования. В качестве объектов исследования использовали пробы бумажной массы, отобранные непосредственно из технологического потока, а также промышленные и лабораторные образцы готовой продукции.

Степень помола бумажной массы определяли на аппарате Шоппер-Риглера в соответствии с ГОСТ 14363.4-89 «Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям».

Время обезвоживания бумажной массы характеризует ее способность к водоотдаче в зависимости от степени разработки волокон в процессе размола и, как следствие, является одним из важнейших факторов процесса формирования бумажного полотна на сетке БДМ. Время обезвоживания определяли на аппарате Шоппер-Риглера.

Перед работой на аппарате Шоппер-Риглера производится калибровка прибора, определение так называемого «водного числа».

Определение средней длины волокна выполнено на анализаторе Fiber Tester, который позволяет оперативно измерять структурно-морфологические характеристики отдельных волокон, формировать электронные массивы данных и выполнять их обработку [Дернова и др., 2022]. Анализатор промывается чистой водой после измерения каждой серии проб бумажной массы.

Качество лабораторных образцов картона-лайнера и флутинга оценивали по следующим физико-механическим показателям: сопротивление сжатию на коротком расстоянии SCT в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9895-2013 «Бумага и картон. Определение сопротивления сжатию. Метод испытания на коротком расстоянии между зажимами», сопротивление плоскостному сжатию гофрированного образца СМТ в соответствии с ГОСТ Р ИСО 3035-2013 «Картон гофрированный. Метод определения сопротивления плоскостному сжатию», сопротивление продавливанию BST в соот-

ветствии с ГОСТ Р ИСО 2759-2017 «Картон. Метод определения сопротивления продавливанию».

Для расчета индекса физико-механических показателей значение делят на массу 1 м² образца. Вариация показателей рассчитывается как разность между максимальным и минимальным значением признака, выражается в %.

Результаты исследования. Исследования проводили в три этапа. На первом этапе определили влияние характера воздействия укорачивающего и фибриллирующего размол, на втором – оптимальную степень помола КВФ, на третьем – оптимальную композицию бумажной массы по волокну для оценки показателей качества лабораторных образцов.

Для решения первой задачи исследования был выбран диапазон степени помола коротковолокнистой фракции 42...51 °ШР с шагом 3 °ШР (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики макулатурной массы

Characteristics of waste paper pulp

Степень помола, °ШР	Время обезвоживания, с	Длина волокна, мм
<i>Укорачивающий размол</i>		
42	56	1,07
45	69	1,03
48	70	0,98
51	75	0,96
<i>Фибриллирующий размол</i>		
42	44	1,15
45	51	1,10
48	54	1,07
51	79	1,04

Для проведения укорачивающего воздействия на волокно была использована мельница НДМ с концентрацией 3,5% при размол, для фибриллирующего воздействия – мельница Йокро с концентрацией 6%.

Очевидно, что при увеличении степени помола массы время обезвоживания плавно возрастает, а длина волокна снижается. Размол уже короткой фракции желателен проводить с минимальной потерей длины волокна, следовательно, рекомендован фибриллирующий характер размол.

На следующем этапе эксперимента для определения оптимальной степени помола КВФ были изготовлены лабораторные образцы из 100%-ной коротковолокнистой фракции массой 1 м^2 120 г с последующим определением сопротивления сжатию на коротком расстоянии. На рис. 1 продемонстрирована зависимость сопротивления сжатию на коротком расстоянии по методу SCT от степени помола КВФ.

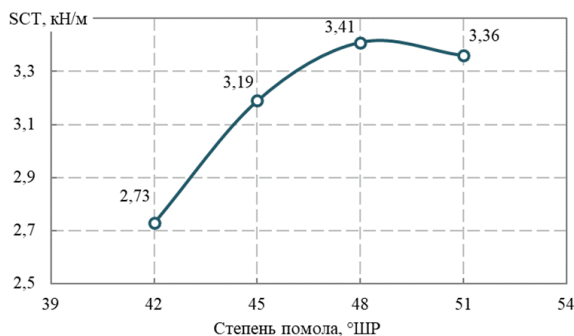


Рис. 1. Зависимость SCT от степени помола КВФ

Fig. 1. Dependence of SCT on the degree of grinding of SFF

Максимальный прирост показателя SCT (на 25%) отмечен у образцов, имеющих степень помола 48 °ШР.

Далее было определено влияние размолотой коротковолокнистой массы в композиции с длиноволокнистой. На рис. 2 представлена зависимость сопротивления сжатию на коротком расстоянии по методу SCT от степени помола КВФ.

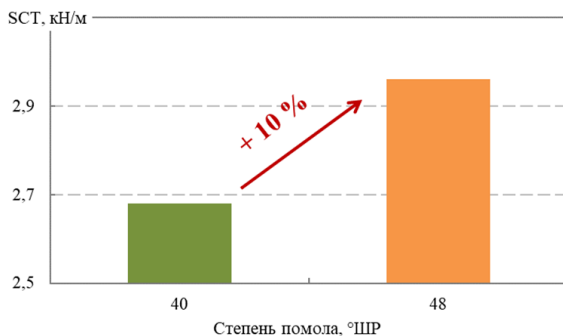


Рис. 2. Прирост значений SCT за счет увеличения степени помола КВФ

Fig. 2. Increase in SCT values due to increase in the degree of grinding of the SFF

При увеличении степени помола КВФ на 8 °ШР в композиции с ДВФ наблюдается прирост показателя SCT на 10%. Состав композиции по волокну ДВФ : КВФ = 42 : 58%.

На заключительном этапе исследований был проведен анализ композиционного состава бумажной массы, а именно влияния повышения доли КВФ в композиции с ДВФ на показатели качества бумажной массы и готовой продукции. В табл. 2 представлены характеристики макулатурной массы с различной долей КВФ в композиции.

Таблица 2

Характеристики макулатурной массы

Characteristics of waste paper pulp

Композиция	Длина волокна, мм	Время обезвоживания, с
55% КВФ + 45% ДВФ	1,42	46,4
60% КВФ + 40% ДВФ	1,32	50,4
65% КВФ + 35% ДВФ	1,25	52,4
70% КВФ + 30% ДВФ	1,16	56,8

Показано, что при увеличении доли КВФ снижается средняя длина волокна и увеличивается время обезвоживания бумажной массы.

На рис. 3 представлены физико-механические показатели лабораторных образцов в зависимости от содержания в композиции доли КВФ.

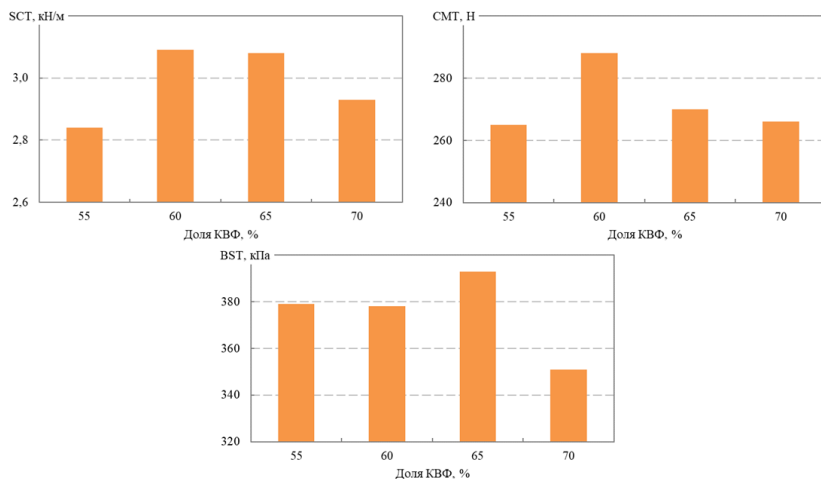


Рис. 3. Физико-механические показатели образцов исследуемых композиций
Fig. 3. Physical and mechanical properties of samples of the studied compositions

Для композиции 60% КВФ и 40% ДВФ обнаружены максимальные значения сопротивления плоскостному сжатию и сопротивлению сжатию на коротком расстоянии, прирост составил 10%. Максимальные значения абсолютного сопротивления продавливанию наблюдаются у образцов с композицией 65% КВФ и 35% ДВФ, прирост – 4%. Оптимальным вариантом композиции следует считать 60% КВФ и 40% ДВФ, поскольку для данной композиции обнаружен больший прирост по двум показателям на 10%.

В производственных условиях проведена опытно-промышленная выработка готовой продукции с композиционным составом 60% КВФ и 40% ДВФ и дополнительным размолом КВФ. На рис. 4 показан сравнительный анализ индекса SCT и вариабельность значений без размола и с размолом КВФ. Коротковолокнистая фракция без размола имеет степень помола 40 °ШР, после размола – 48 °ШР.

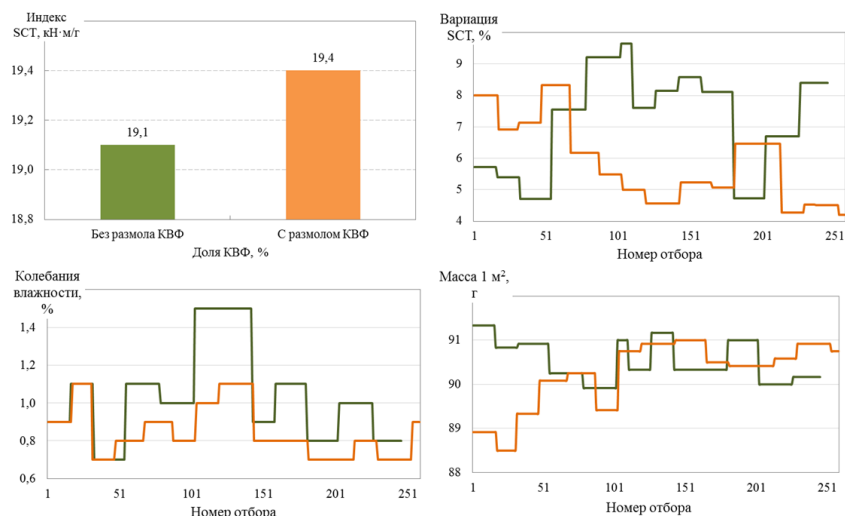


Рис. 4. Показатели качества промышленных образцов:

— без размола КВФ, — с размолом КВФ

Fig. 4. Quality indicators of industrial designs:

— without grinding SFF, — with grinding SFF

Опытно-промышленные испытания проведены успешно с получением прироста по индексу SCT на 0,3 единицы. Дополнительным бонусом является то, что вариация по SCT и колебания влажности по ширине бумажно-

го полотна с размолом КВФ ниже, чем без размола, следовательно, показатели стали стабильнее.

Обсуждение. Отметим, что равномерность влажности по ширине и длине бумажного полотна играет огромную роль в технологичности переработки сырья при производстве гофрированного картона.

Наличие на бумажном полотне сухих и влажных полос (неравномерная влажность) приводит к разной степени впитываемости клея и, как следствие, образованию дефектов, таких как коробление, пузырение и др.

При использовании дополнительного размола КВФ вариабельность показателей снизилась, произошло увеличение показателя СМТ и SCT, влажность стала наиболее стабильна по всей ширине полотна. Это важный момент для переработчиков тарного картона, т.к. при скорости гофроагрегата свыше 250 м/мин основными факторами, влияющими на качество гофрокартона, являются масса 1 м², равномерность влажности по ширине полотна и высокие показатели качества готовой продукции.

В лабораторных условиях определена оптимальная степень помола КВФ – 48 °ШР, направленный фибриллирующий характер размола, композиция по волокну 60% КВФ и 40% ДВФ. В качестве дальнейшего исследования полезно было бы смоделировать размол при еще большей концентрации бумажной массы, используя, например, лабораторную мельницу PFI.

Исследования подтверждены опытно-промышленными испытаниями, которые показали положительный эффект от проведенных мероприятий.

Заключение. Выявлена оптимальная степень помола коротковолокнистой массы – 48 °ШР, характер размола – фибриллирующий, композиция по волокну 60% КВФ и 40% ДВФ.

Вклад авторов. Вклад каждого автора равнозначен.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Александров А.В., Гаузе А.А. Технология и оборудование переработки макулатуры: учеб. пособ. Ч. I. СПб., 2019. 107 с.

Дернова Е.В., Гораздова В.В., Гурьев А.В., Дулькин Д.А., Дернов А.И., Окулова Е.О. Практикум по технологии бумаги и картона: учеб. пособ. Часть I: Анализ полуфабрикатов, химикатов и бумажной массы. Архангельск: САФУ, 2022. 88 с.

Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. Архангельск: АГТУ, 2007. 1118 с.

Дьякова Е.В., Дулькин Д.А., Комаров В.И. Переработка макулатуры: учеб. пособ. Архангельск: АГТУ, 2009. 172 с.

Яблочкин Н.И., Комаров В.И., Ковернинский И.Н., Дулькин Д.А. Фракционирование вторичного волокна в центробежно-гидродинамическом фракционаторе // ИВУЗ. Лесной журнал. 2004. № 6. С. 62–89.

References

Dernova E.V., Gorazdova V.V., Guryev A.V., Dulkan D.A., Dernov A.I., Okulova E.O. Paper and cardboard technology workshop: textbook. Part I: analysis of semi-finished products, chemicals and paper pulp. Arkhangelsk: NarFU, 2022. 88 p. (In Russ.)

Dulkan D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I. Current state and prospects for the use of secondary fiber from waste paper in the global and domestic paper industry. Arkhangelsk: ASTU, 2007. 1118 p. (In Russ.)

Dyakova E.V., Dulkan D.A., Komarov V.I. Recycling of waste paper: textbook. Arkhangelsk: ASTU, 2009. 172 p. (In Russ.)

Vanchakov M.V., Kuleshov A.V., Aleksandrov A.V., Gause A.A. Technology and equipment for recycling waste paper: textbook. Part I. St. Petersburg, 2019. 107 p. (In Russ.)

Yablochkin N.I., Komarov V.I., Koverninsky I.N., Dulkan D.A. Fractionation of secondary fiber in a centrifugal-hydrodynamic fractionator. *IVUZ. Forestry magazine*, 2004, no. 6, pp. 62–89. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 27.11.2024

Гораздова В.В., Дернова Е.В., Дулькин Д.А. Анализ влияния размола коротковолокнистой фракции на показатели качества макулатурного тарного картона // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 255. С. 511–520. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.511-520

Исследования проводили в три этапа. На первом этапе определили влияние характера воздействия укорачивающего и фибриллирующего размола, на втором – оптимальную степень помола КВФ, на третьем – оптимальную композицию бумажной массы по волокну. Для решения первой задачи исследования был выбран диапазон степени помола коротковолокнистой фракции 42...51 °ШР с шагом 3 °ШР. Для проведения укорачивающего размола была использована мельница НДМ с концентрацией 3,5% при размоле, для фибриллирующего – мельница Йокро с концентрацией 6%. На следующем этапе для определения оптимальной степени помола КВФ были изготовлены лабораторные образцы из 100%-ной КВФ массой 1 м² 120 г для определения сопротивления сжатию на коротком расстоянии. Максимальный прирост показателя SCT (на 25%) отмечен у образцов, имеющих степень помола 48 °ШР. При увеличении степени помола КВФ на 8 °ШР в композиции с ДВФ наблюдается прирост показателя SCT на 10%. Состав

композиции по волокну ДВФ : КВФ = 42 : 58%. Для композиции 60% КВФ и 40% ДВФ обнаружены максимальные значения сопротивления плоскостному сжатию и сопротивления сжатию на коротком расстоянии, прирост 10%. Максимальные значения сопротивления продавливанию наблюдаются у образцов 65% КВФ и 35% ДВФ, прирост – 4%. Оптимальным вариантом композиции следует считать 60% КВФ и 40% ДВФ, поскольку для данной композиции обнаружен прирост по двум показателям на 10%. В производственных условиях проведена опытно-промышленная выработка готовой продукции с композиционным составом 65% КВФ и 35% ДВФ и дополнительным размолом КВФ. Опытно-промышленные испытания проведены с получением прироста по индексу SCT на 0,3 единицы, кроме того, дополнительным благоприятным фактором является то, что вариация по SCT и колебания влажности по ширине бумажного полотна с размолом КВФ ниже, чем без размола, т. е. показатели стали стабильнее. Равномерность влажности по ширине и длине бумажного полотна играет огромную роль в технологичности переработки сырья при производстве гофрированного картона.

Ключевые слова: макулатура, бумажная масса, фракционирование, размол, коротковолокнистая фракция, длинноволокнистая фракция.

Gorazdova V.V., Dernova E.V., Dulkan D.A. Analysis of the influence of grinding the short-fiber fraction on the quality indicators of waste containerboard. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2025, iss. 255, pp. 511–520 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.511-520

The research was conducted in three stages. At the first stage, the influence of the nature of the action of shortening and fibrillating grinding was determined, at the second stage – the optimal degree of grinding of the SFF, at the third – the optimal composition of the paper pulp by fiber. To solve the first task of the study, the range of the degree of grinding of the short-fiber fraction of 42 ... 51 °ShR with a step of 3 °ShR was selected. For shortening grinding, an NDM mill with a concentration of 3.5% during grinding was used, for fibrillating – a Yokro mill with a concentration of 6%. At the next stage, to determine the optimal degree of grinding of the SFF, laboratory samples were made from 100% SFF with a weight of 1 m² 120 g to determine the compression resistance at a short distance. The maximum increase in the SCT indicator (by 25%) was noted for samples with a grinding degree of 48 °ShR. With an increase in the degree of grinding of SFF by 8 °SR, a 10% increase in the SCT index is observed in the composition with LFF. The composition by fiber is LFF: KVF = 42: 58%. For the composition of 60% SFF and 40% LFF, the maximum values of resistance to planar compression and resistance to compression over a short distance were found, an increase of 10%. The maximum values of punching resistance are observed in samples of 65% SFF and 35% LFF, an increase of 4%. The optimal composition option should be considered to be 60% SFF and 40% LFF, since an increase of 10% was found for both indicators for this composition. Under production conditions, a pilot production of finished products with a composite composition of 65% SFF and 35% LFF and additional grinding of SFF was carried out.

Pilot-industrial tests were conducted with an increase in the SCT index of 0.3 units, in addition, an additional favorable factor is that the variation in SCT and fluctuations in humidity across the width of the paper web with SFF refining are lower than without refining, i.e. the indicators have become more stable. The uniformity of humidity across the width and length of the paper web plays a huge role in the technological efficiency of processing raw materials in the production of corrugated cardboard.

Keywords: waste paper, paper pulp, fractionation, grinding, short-fiber fraction, long-fiber fraction.

ГОРАЗДОВА Виктория Валерьевна – ведущий специалист по научно-технологическим вопросам ООО «УК «ОБФ», кандидат технических наук. SPIN-код: 4305-7564. ORCID: 0000-0003-4732-7791.

108811, Киевское шоссе, 22-й километр, поселение Московский, домовл. 4, стр. 1, г. Москва, Россия. E-mail: vgorazdova@ukobf.com

GORAZDOVA Victoria V. – PhD (Technical), leading specialist on scientific and technological issues LLC "MC "CPM". SPIN-code: 4305-7564. ORCID: 0000-0003-4732-7791.

108811. 22nd kilometer of the Kievskoe highway. Moskovsky settlement. Household 4. Build. 1. Moscow. Russia. E-mail: vgorazdova@ukobf.com

ДЕРНОВА Елена Валентиновна – генеральный директор АО «Троицкая бумажная фабрика», доцент, кандидат технических наук. SPIN-код: 5359-3028. ORCID: 0000-0002-7869-9646.

249831, ул. Маяковского, д. 1, г. Кондрово, Калужская обл., Россия. E-mail: edernova@ukobf.com

DERNOVA Elena V. – PhD (Technical), CEO JSC «Troitskaya Paper Mill», assistant professor. SPIN-code: 5359-3028. ORCID: 0000-0002-7869-9646.

249831. Mayakovsky st. 1. Kondrovo. Kaluga region. Russia. E-mail: edernova@ukobf.com

ДУЛЬКИН Дмитрий Александрович – генеральный директор ООО «УК «ОБФ», доктор технических наук. SPIN-код: 4161-3490. ORCID: 0000-0001-6517-2979.

108811, Киевское шоссе, 22-й километр, поселение Московский, домовл. 4, стр. 1, Москва, Россия. E-mail: ddulkin@ukobf.com

DULKIN Dmitry A. – DSc (Technical), CEO LLC "MC "CPM". SPIN-code: 4161-3490. ORCID: 0000-0001-6517-2979.

108811. 22nd kilometer of the Kievskoe highway. Moskovsky settlement. Household 4. Build. 1. Moscow. Russia. E-mail: ddulkin@ukobf.com