

Научная статья

УДК 676.017

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-184-194

Зольность тарного картона. Проблемы и пути их решения

Д.Н. Жирнов¹, канд. техн. наук; ResearcherID: [HKE-0109-2023](#),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4243-3536>

Е.В. Дернова², канд. техн. наук; ResearcherID: [HKE-0047-2023](#),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7869-9646>

В.В. Гораздова^{2✉}, канд. техн. наук; ResearcherID: [GWC-4729-2022](#),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4732-7791>

Д.А. Дулькин², д-р техн. наук; ResearcherID: [HKD-9977-2023](#),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6517-2979>

¹ООО «Сухонский картонно-бумажный комбинат», пл. Печаткина, д. 4, г. Сокол, Вологодская обл., Россия, 162135; zhirnov@suhona.com

²ООО «Управляющая компания “Объединенные бумажные фабрики”», Киевское шос., 22-й км, д. 4, стр. 1, блок Б, поселение Московский, Москва, Россия, 108811; edernova@ukobf.com, vgorazdova@ukobf.com[✉], ddulkin@ukobf.com

Поступила в редакцию 19.01.23 / Одобрена после рецензирования 11.04.23 / Принята к печати 16.04.23

Аннотация. Исследована природа зольности тарного картона из макулатуры, а также фракционный состав золы. С ростом использования макулатурного картона с белым покровным слоем и ухудшением условий сбора и хранения макулатуры на заготовительных площадках происходит увеличение размеров минеральных загрязнений в поступающей на переработку макулатуре. Данный факт приводит к повышению нагрузки на очистное оборудование и ускорению износа рабочих частей сортировок и мельниц. Зольность характеризует все минеральные загрязнения без какого-либо деления на фракции или источники возникновения. Снижение общей зольности продукции становится довольно затруднительным, так как поставщики очистного оборудования гарантируют эффективность удаления только тех минеральных загрязнений, размер которых больше определенного значения (70...100 мкм). Стандартные методики измерения зольности бумаги и картона не подразумевают возможность определения фракционного состава. Для решения данной проблемы авторами была применена методика установления фракционного состава сыпучих материалов в аттестованной лаборатории. Методика подготовки проб для проведения анализа разработана авторами самостоятельно. На основании результатов исследований удалось выявить объем той фракции зольности, который может быть выделен посредством очистного оборудования. Данный объем включает в основном кварцевый песок различной степени измельчения, а другая часть – наполнитель, карбонат кальция, его нельзя эффективно удалить из технологического процесса вследствие небольшого размера частиц. Для определения содержания карбоната кальция использовали качественный и количественный методы исследований – обработку соляной кислотой с последующей промывкой и взвешивание образовавшегося осадка. Данная методика испытаний и результаты исследовательской работы могут служить обоснованием необходимости установки дополнительного или модернизации существующего очистного оборудования. К сожалению, в настоящее время нет данных об абразивной

способности основного наполнителя – карбоната кальция – и его влиянии на срок службы гофроагрегата. Также отсутствует информация о критическом размере частиц золы, который приводит к неизбежному ускоренному износу валов. В то же время определение критического размера частиц является важным с точки зрения настройки и модернизации очистного оборудования размольно-подготовительного отдела бумажной фабрики, перерабатывающей макулатурное сырье.

Ключевые слова: зольность, зола, наполнитель, макулатура, тарный картон

Для цитирования: Жирнов Д.Н., Дернова Е.В., Гораздова В.В., Дулькин Д.А. Зольность тарного картона. Проблемы и пути их решения // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 5. С. 184–194. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-5-184-194>

Original article

Ash Content of Containerboard. Problems and Solutions

Denis N. Zhirnov¹, Candidate of Engineering, ResearcherID: [HKE-0109-2023](https://orcid.org/0000-0003-4243-3536),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4243-3536>

Elena V. Dernova², Candidate of Engineering, ResearcherID: [HKE-0047-2023](https://orcid.org/0000-0002-7869-9646),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7869-9646>

Victoria V. Gorazdova^{2✉}, Candidate of Engineering, ResearcherID: [GWC-4729-2022](https://orcid.org/0000-0003-4732-7791),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4732-7791>

Dmitry A. Dulkin², Doctor of Engineering, ResearcherID: [HKD-9977-2023](https://orcid.org/0000-0001-6517-2979),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6517-2979>

¹LLC Sukhonsky Cardboard and Paper Mill, sq. Pechatkin, bldg. 4, Sokol, Vologodskaya Oblast, 162135, Russian Federation; zhirnov@suhona.com

²LLC «Management company “Consolidated Paper Mills”», 22nd kilometer of the Kievskoe highway, Moskovsky settlement, household 4, bldg. 1, block B, Moscow, 108811, Russian Federation; edernova@ukobf.com, vgorazdova@ukobf.com[✉], ddulkin@ukobf.com

Received on January 19, 2023 / Approved after reviewing on April 11, 2023 / Accepted on April 16, 2023

Abstract. This article covers the study of the nature of ash content of containerboard from waste paper, as well as fractional composition of ash. With increasing use of waste paper with white top layer and deterioration of conditions of collecting and storing waste paper at the storing fields, there is an increase in mineral impurities in the incoming waste paper. This fact leads to increased load on cleaning equipment and accelerated wear of working parts of sorters and mills. Ash content includes all mineral impurities without any division into fractions or sources of occurrence. Reducing the total ash content of products becomes quite difficult, because suppliers of cleaning equipment guarantee the efficiency of removing only those mineral contaminants, the size of which is greater than the a certain value (70...100 microns). Standard methods for determining ash content of paper and cardboard do not imply the possibility of determining the fractional composition. To solve this problem, the authors applied a method for determining the fractional composition of granular materials in a certified laboratory. The method of sample preparation for analysis was developed by the authors independently. Based on the results of the research, it was possible to identify the volume of the ash fraction that can be separated by means of cleaning equipment. This volume is mainly quartz sand of various degrees of grinding, and the other part of ash content is the

filler, calcium carbonate, which cannot be effectively removed from the technical process due to the small particle size. To determine the content of calcium carbonate, qualitative and quantitative research methods were used - treatment with hydrochloric acid followed by washing and weighing of the resulting sludge. This test methodology and the results of the research work can serve as a basis for the need to install additional or upgrade the existing cleaning equipment. Unfortunately, at present there are no studies concerning abrasive ability of the main filler – calcium carbonate, and its influence on service life of the corrugator. Also, at the moment there are no data concerning critical size of ash particles, which lead to accelerated wear of the rolls. At the same time, determination of critical particle size is important from the point of view of setting up and upgrading of cleaning equipment of the stock preparation department of a typical paper mill processing waste paper raw materials.

Keywords: ash content, ash, filler, waste paper, containerboard

For citation: Zhirnov D.N., Dernova E.V., Gorazdova V.V., Dulkin D.A. Ash Content of Containerboard. Problems and Solutions. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 5, pp. 184–194. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-5-184-194>

Введение

В настоящее время широкое использование макулатурного картона с белым поверхностным слоем, а также неудовлетворительные условия хранения макулатуры в местах заготовки приводят к повышенному содержанию минеральных частиц в заготавливаемом вторичном сырье. Для производства качественного белого поверхностного слоя кроме беленых видов целлюлозы или беленых волокнистых полуфабрикатов применяют различные наполнители, в том числе мел. Использование мела обусловлено как желанием улучшить печатные свойства продукции, так и экономическими показателями (частичная замена более дорогостоящего целлюлозного волокна) [1, 2]. Таким образом, содержание наполнителя в композиции белого покровного слоя картона может достигать 20...25 %. Условия заготовки макулатуры являются дополнительным источником крупных минеральных включений. С полигонов вместе с макулатурой поступают песок и другие нежелательные минеральные включения различного происхождения.

Технология переработки макулатуры подразумевает применение оборудования для очистки макулатурной массы от тяжелых включений (скрепки, крупный песок и др.) [4, 5, 7], что защищает технологическое оборудование от чрезмерного абразивного износа рабочих частей [6–13, 19]. Как правило, в зависимости от размера минеральных частиц и концентрации массы очистное оборудование размещается в начале технологического потока и перед подачей макулатурной массы непосредственно на бумагоделательную машину (БДМ) [14, 17]. Эффективность функционирования данного оборудования существенно зависит от размера минеральных частиц – чем он больше, тем выше эффективность [15, 18].

С этой точки зрения зольность макулатуры необходимо рассматривать не только с позиций общей зольности, но и с позиций размера частиц. Крупные частицы (более 100 мкм) обычно поступают с полигонов заготовки в качестве загрязнений и представляют собой различные фракции кварцевого песка. Мелкие частицы (менее 100 мкм) образуются при механическом исти-

рании кварцевого песка в процессе подготовки макулатурной массы, например при размоле. Более мелкие частицы (менее 12 мкм) относятся к фракциям наполнителя. Так, медианный размер частиц механически измельченного наполнителя из натурального мрамора составляет 3 мкм, 50 % частиц имеют размер менее этого значения; при этом максимальный размер – 12 мкм, размер 98 % частиц ниже данного значения. Размер отделяемых минеральных включений должен быть свыше 100 мкм, что приведет к возрастанию эффективности удаления первичного (неизмельченного) кварцевого песка с увеличением размера частиц.

Данные мониторинга очистного оборудования позволяют сделать вывод о том, что фактически отделяемый объем крупной фракции минеральных включений из общей зольности составляет 1,9...3,7 % [3, 16, 20]. Такой диапазон может показаться очень скромным, но с учетом суточной выработки количество вывозимых на мусорные полигоны минеральных загрязнений – более 800 кг, при этом фактическая зольность готовой продукции из макулатурной массы равняется примерно 6...7 %.

Увеличение содержания наполнителя в производственной воде обуславливает дополнительное выделение углекислого газа при снижении уровня pH воды. Например, если в технологический поток поступает макулатура, pH водной вытяжки которой ниже нейтрального, то возможно уменьшение общего pH технологического потока с возникновением перечисленных проблем. Это неблагоприятный фактор с точки зрения качества бумажного полотна. Повышение содержания воздуха в бумажной массе напорного ящика приводит как к ухудшению обезвоживания бумажной массы и, следовательно, к увеличению влажности готовой продукции и снижению прочностных и жесткостных показателей, так и к уменьшению равномерности формирования бумажного полотна.

Для определения необходимости установки дополнительного очистного оборудования было проведено исследование по выявлению фракционного состава зольности готовой продукции и бумажной массы в напорном ящике БДМ.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использованы пробы макулатурной массы и образцы готовой продукции. Пробы золы получали путем сжигания навески макулатурной массы и образцов готовой продукции в муфельной печи при температуре 525 °С в соответствии с ГОСТ Р ИСО 1762–2022 «Бумага, картон и целлюлоза. Метод определения остатка (золы) при прокаливании при 525 °С», что гарантирует отсутствие разложения карбоната кальция. Пробы золы проанализированы на лазерном дифракционном анализаторе размеров частиц Malvern Mastersizer 2000 с диспергатором HYDRO 2000G (по ГОСТ Р 8.777–2011 «Государственная система обеспечения единства измерений. Дисперсный состав аэрозолей и взвесей. Определение размеров частиц по дифракции лазерного излучения») в Курчатовском институте. Для исключения из общей зольности наполнителя (карбоната кальция) использована методика международного стандарта TAPPI T 244 sm-11.

Результаты исследования и их обсуждение

Фракционный состав частиц золы в пробах бумажной массы и образцах готовой продукции представлен на рис. 1 и 2. Фракционный состав золы в образцах имеет характерный пик при размере 12 нм, красной линией отмечен критический размер частиц – более 100 нм, который может отрицательно сказываться на последующей переработке.

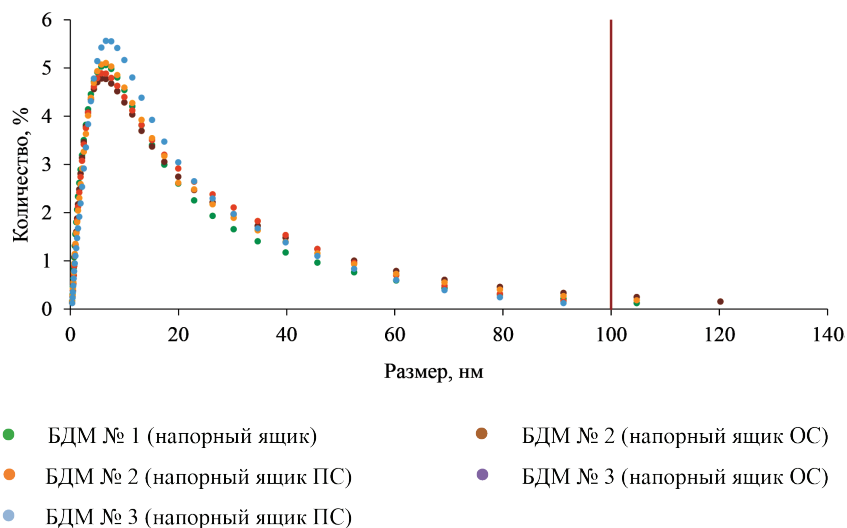


Рис. 1. Фракционный состав частиц золы в пробах бумажной массы (ПС – покровный слой; ОС – основной слой)

Fig. 1. Fractional composition of ash particles in paper pulp samples

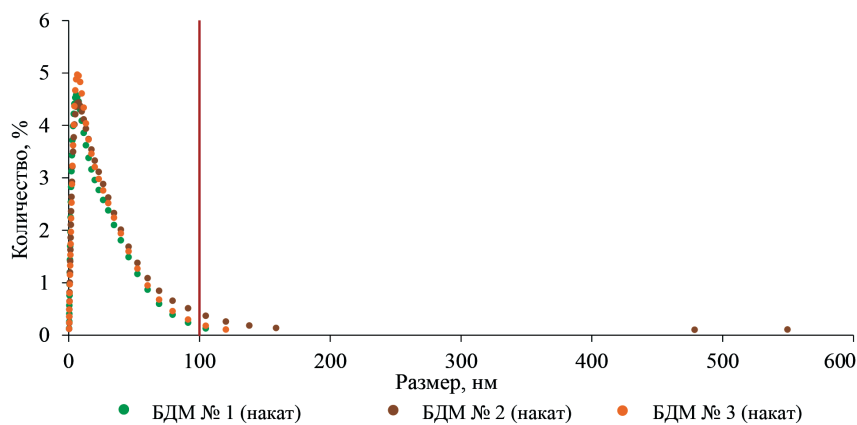


Рис. 2. Фракционный состав частиц золы в образцах готовой продукции

Fig. 2. Fractional composition of ash particles in finished product samples

Пробы бумажной массы и образцы готовой продукции были выработаны на БДМ с разным уровнем удержания мелкодисперсного волокна (табл. 1). Характеристики фракционного состава золы в пробах бумажной массы и готовой продукции представлены в табл. 2 и 3 соответственно.

Таблица 1

**Средневзвешенные коэффициенты удержания мелкого
макулатурного волокна на БДМ, %**
Weighted average retention rate of fine waste paper fiber on PM, %

Образец	№ пробы		
	1	2	3
БДМ № 1 (напорный ящик)	88,0		
БДМ № 2 (напорный ящик ОС)	78,5	83,3	86,0
БДМ № 2 (напорный ящик ПС)	63,5	78,5	69,0
БДМ № 3 (напорный ящик ОС)	82,0		
БДМ № 3 (напорный ящик ПС)	81,5		

Таблица 2

Фракционный состав частиц золы в пробах бумажной массы
Fractional composition of ash particles in paper pulp samples

Образец	Доля от общего содержания (%) зольных частиц размером (мкм)											
	более 100			50...100			менее 50			менее 12		
	№ пробы											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
БДМ № 1 (напорный ящик)	0,10			1,90			98,00			76,50		
БДМ № 2 (напорный ящик ОС)	3,28	0,44	0,47	2,52	2,43	3,13	94,20	97,13	96,40	71,50	72,60	73,23
БДМ № 2 (напорный ящик ПС)	1,32	0,07	0,05	1,94	1,68	2,55	96,74	98,27	97,40	74,09	75,17	69,42
БДМ № 3 (напорный ящик ОС)	0,40			2,40			97,20			73,80		
БДМ № 3 (напорный ящик ПС)	0,05			1,75			98,20			73,20		

Очевидно, что с повышением общего удержания на сеточном столе увеличивается и удержание мелкодисперсной фракции зольности (менее 12 мкм). Данный вывод подтверждается результатами определения фракционного состава как бумажной массы, так и готовой продукции, выработанной на БДМ № 1 (табл. 1 и 2).

Таблица 3

Фракционный состав частиц золы в готовой продукции
Fractional composition of ash particles in finished products

Образец	Доля от общего содержания (%) зольных частиц размером (мкм)							
	более 100		50...100		менее 50		менее 12	
	№ пробы							
	1	2	1	2	1	2	1	2
БДМ № 1	0,10		2,60		97,30		71,40	
БДМ № 2	2,98	0,10	4,46	2,44	92,56	96,65	62,40	69,04
БДМ № 3	0,30		2,90		96,80		68,70	

За 100 % взят весь массив данных и разделен на 3 группы: более 100, 50...100, менее 50 мкм. Также приведена группа мелкодисперсной фракции золы бумажной массы – менее 12 мкм, которая входит в состав группы менее 50 мкм. Относительно высокое наличие частиц более 100 мкм на БДМ № 2 (1,5 %) обусловлено повышенным содержанием этой фракции в массе напорного ящика основного слоя данной БДМ (табл. 2).

Для оперативного контроля (по затратам времени) содержания песка и наполнителя в макулатурной массе выполнен лабораторный количественный и качественный анализ фракций минеральных включений. В состав золы могут входить:

- минеральные вещества, содержащиеся в целлюлозе, и остатки химикатов, применяемых при производстве целлюлозы;
- металлосодержащие частицы от труб и оборудования;
- наполнители, пигменты, покрытия или остатки различных добавок, используемых при производстве бумаги и картона;
- песок, попадающий в производство с макулатурой.

Определение зольности проводили по стандартной методике ГОСТ Р ИСО 1762–2022. Данный метод применим для всех видов целлюлозы, бумаги и картона и позволяет точно установить содержание минеральных веществ в испытуемом образце. Прокаливание при температуре 525 °С практически не оказывает влияния на изменение массы некоторых наполнителей и пигментов (например, карбоната кальция, глины, диоксида титана), содержащихся в бумаге, картоне и целлюлозе.

При исключении из общей зольности наполнителя (карбоната кальция) по методике международного стандарта TAPPI T 244 sm-11 остаток после прокаливания при температуре 525 °С обработан несколько раз соляной кислотой с последующим выпариванием на паровой бане досуха, промыт горячей дистиллированной водой (до отсутствия реакции на хлорид-ионы) и повторно прокален. По отношению массы нерастворимого остатка к массе остатка, взятого для анализа после прокаливания при 525 °С, определена доля песка в пробе.

Для испытаний отбирали пробу золы в количестве 1 г для каждой исследуемой точки БДМ № 1, 2, 3. В табл. 4 приведены данные общей зольности (стандартный метод прокаливания при 525 °С), доли песка (стандарт TAPPI T 244 sm-11) и количества наполнителя.

Таблица 4

Общая зольность, количество песка в пробе золы и наполнителя**Total ash content, amount of sand in ash and filler sample**

Образец	Общая зольность, %	Доля, % от общей зольности	
		остатка, нерастворимого в соляной кислоте	наполнителя
БДМ № 1 (напорный ящик)	10,5	22,7	77,3
БДМ № 1 (накат)	7,0	21,8	78,2
БДМ № 2 (напорный ящик ОС)	10,6	22,0	78,0
БДМ № 2 (напорный ящик ПС)	10,6	24,2	75,8
БДМ № 2 (накат)	6,8	21,1	78,9
БДМ № 3 (напорный ящик ОС)	10,2	22,1	77,9
БДМ № 3 (напорный ящик ПС)	12,7	23,5	76,5
БДМ № 3 (накат)	6,4	22,0	78,0

Из полученных данных следует, что фактическое содержание песка в пробе золы составляет 21,1...22,0 % для наката и 22,7...24,2 % в пробах бумажной массы из напорных ящиков БДМ № 1, 2, 3.

Затем проводили повторные исследования зольного остатка в пробах бумажной массы из напорного ящика основного слоя и бумаги с наката БДМ № 3. Сопоставление результатов испытаний отражено в табл. 5.

Таблица 5

Результаты испытаний образцов золы БДМ № 3 (2020–2021 гг.)**Test results of PM 3 ash samples (2020–2021)**

№ пробы	Точка отбора	Общая зольность, %	Доля, % от общей зольности	
			остатка, нерастворимого в соляной кислоте	наполнителя
1	Напорный ящик ОС	10,7	22,7	77,3
	Накат	6,4	22,7	77,3
2	Напорный ящик ОС	10,2	22,1	77,9
	Накат	6,4	22,0	78,0

При анализе результатов заметно, что в течение года существенных изменений количественного содержания песка в зольном остатке не произошло, его содержание в пробах также незначительно – 22,1...22,7 % от общей зольности. Разница в значениях составляет 0,6 и 0,7 % для напорного ящика основного слоя и наката БДМ № 3 соответственно.

Таким образом, данные эксперимента, полученные методом лазерной дифракции с традиционными представлениями о фракционном разделении наполнителя и песка, сходятся с данными более оперативного метода лабораторного контроля количества наполнителя по методике TAPPI T 244 sm-11.

Выводы

1. Для оперативного контроля содержания песка и наполнителя может использоваться лабораторный анализ количественного определения песка по методу TAPPI T 244 sm-11.

2. С учетом существующих особенностей и ограничений систем вихревой очистки содержание фракции (свыше 50 мкм), которая может быть удалена, составляет 2,0...4,1 % общей зольности или 0,12...0,24 % в натуральном выражении. Данный вывод подтверждается лабораторными методами анализа.

3. Как следует из производственной практики, наибольшую опасность для гофрвалов представляет крупная фракция песка. Критический размер фракции в настоящее время не определен. Присутствие в золе наполнителя, который является слабым абразивом, также может вносить свой вклад в повышенный износ рабочих элементов оборудования.

4. Рост количества наполнителя в производственной воде создает дополнительный эффект газообразования при снижении pH воды вследствие выделения углекислого газа. Этот неблагоприятный фактор в конечном итоге приводит к увеличению влажности готовой продукции и снижению прочностных и жесткостных показателей, равномерности бумажного полотна.

5. В условиях относительно низкого содержания крупной фракции песка (с размерами частиц более 100 нм) – 0,05...1,4 % использование дополнительного очистного оборудования является нецелесообразным. В данных условиях необходимо сосредоточиться на максимальном выделении минеральной части на стадии роспуска макулатуры, чтобы исключить дальнейшее измельчение. Данное направление требует дополнительных исследований с определением фракционного состава минеральной части на каждой стадии технологического процесса.

6. Существующие методы очистки макулатурной массы от минеральных включений позволяют убрать только крупнодисперсную часть минеральной составляющей. Часть крупнодисперсного песка, которая своевременно не удаляется на стадии роспуска макулатуры, дополнительно измельчается, проходя через стадии очистки. Данный факт объясняется только практически наблюдениями, поскольку источниками песка в макулатуре являются промышленные полигоны. Изначальный «нативный» песок является крупнодисперсным, и наличие в технологическом потоке фракций размером от 50 нм и выше косвенно говорит о том, что крупный песок при прохождении через размольную гарнитуру дополнительно измельчается, образуя мелкую фракцию.

Массоподготовительный отдел становится более энерго- и машиноёмким, т. е. увеличивается число стадий размола макулатуры, при этом электродвигатели современных мельниц потребляют большое количество электроэнергии. Повторное выведение уже мелкодисперсной минеральной части становится практически невозможным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Акулов Б.В., Ермаков С.Г. Производство бумаги и картона. Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2010. 433 с.
Akulov B.V., Ermakov S.G. *Production of Paper and Cardboard*. Perm, Perm State Technical University Publ., 2010, 433 p.
2. 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.
Dulkin D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I. *Current State and Prospects for the Use of Recycled Fiber from Waste Paper in the Global and Domestic Paper Industry*. Arkhangelsk, Arkhangelsk State Technical University Publ., 2007. 1118 p.
3. Журнов Д.Н. Оптимизация процессов подготовки бумажной массы с использованием ключевых показателей эффективности: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2019. 127 с.
Zhironov D.N. *Optimization of Paper Pulp Preparation Processes using Key Performance Indicators*: Cand. Tech. Sci. Diss. Arkhangelsk, 2019. 127 p.
4. Иванов С.Н. Технология бумаги. 3-е изд. М.: Школа бумаги, 2006. 696 с.
Ivanov S.N. *Paper Technology*. 3rd Edition. Moscow, School of Paper Publ., 2006. 696 p.
5. Auhorn W.J. *Chemistry of Chemical and Mechanical Pulp, and Paper: A Historical Review, the Status Quo, and Future Prospects*. Wochenbl. Papierfabr Publ, 2009. 510 p.
6. CEPI Key Statistics. *European Pulp and Paper Industry*. Confederation of European Paper Industries, Brussels. 2013.
7. Chabot B., Daneault C., Fournier F., Morneau D., Arial M. A Methodology to Determine Retention and Drainage in Laboratory. *Paperi Ja Puu*, 2004, vol. 86, no. 6, pp. 445–449.
8. Chamberlain D., Kirwan M.J. *Paper and Paperboard – Raw Materials, Processing and Properties. Handbook of Paper and Paperboard Packaging Technology*, 2nd Ed., New Jersey, USA, Blackwell Publ., 2005, pp. 1–49.
9. Chauhan V.S., Bhardwaj N.K. Effect of Particle Size and Preflocculation of Talc Filler on Sizing Characteristics of Paper. *Appita J.*, 2013, vol. 66(1), pp. 66–72.
10. Chauhan V.S., Bhardwaj N.K., Chakrabarti Swapan K. Inorganic Filler-modification and Retention During Papermaking: A Review. *IPPTA: Quarterly Journal of Indian Pulp and Paper Technical Association*, 2011, vol. 23(2), pp. 93–100.
11. Deng Y.L., Jones P., McLain L., Ragauskas A.J. Starch-modified Fillers for Linerboard and Paper Grades: A Perspective Review. *TAPPI J.*, 2010, vol. 9(4), pp. 31–36. <https://doi.org/10.32964/TJ9.4.31>
12. Fan H., Wang S., Liu J. The Influence of Particle Size of Starch- sodium Stearate Complex Modified GCC Filler on Paper Physical Strength. *BioResources*, 2014, vol. 9(4), pp. 5883– 5892. <https://doi.org/10.15376/biores.9.4.5883-5892>
13. Giese T. Dispersants for Fillers and Coating Pigments. *Professional Papermaking*, 2007, vol. 4(2), pp. 22–26.
14. Gill R.A. TAPPI 2004 Introduction to Wet End Chemistry Course Notes. *TAPPI Press*, 2004, Atlanta.

15. Hjelt T., Sirviö J., Saarela M. Effect of Filler Clustering on Paper Properties. *Appita Journal*, 2008, vol. 61(3), pp. 209–211.

16. Hubbe M.A. Prospects for maintaining strength of paper and paperboard products while using less forest resources: A review. *BioResources*, 2014, vol. 9(1), pp. 1634–1763. <https://doi.org/10.15376/biores.9.1.1634-1763>

17. Hubbe M.A., Gill R.A. Fillers for Papermaking: A Review of Their Properties, Usage Practices, and Their Mechanistic Role. *BioResources*, 2016, vol. 11(1), pp. 2886–2963. <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.2886-2963>

18. Hubbe M.A. Filler Particle Shape vs. Paper Properties – A Review, *Proc. TAPPI 2004 Spring Tech. Conf.*, Paper 7–3, TAPPI Press, Atlanta.

19. Kinoshita N., Katsuzawa H., Nakano S., Muramatsu H., Suzuki J., Ikumi Y., Yukie T. Influence of Fibre Length and Filler Particle Size on Pore Structure and Mechanical Strength of Filler-containing Paper. *Can. J. Chem. Eng.*, 2000, vol. 78(5), pp. 974–982. <https://doi.org/10.1002/cjce.5450780515>

20. Zhang M., Song S., Wang J., Sun J., Li J.Z., Ni Y., Wei X. Using a Novel Fly Ash Based Calcium Silicate as a Potential Paper Filler. *BioResources*, 2013, vol. 8(2), pp. 2768–2779. <https://doi.org/10.15376/biores.8.2.2768-2779>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interests: The authors declare that there is no conflict of interests

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article