

В.Д. Бутусов, Е.Г. Смирнова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НА СЕТОЧНОМ СТОЛЕ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ПРИ ВЫРАБОТКЕ БУМАГИ РАЗЛИЧНОЙ МАССОЕМКОСТИ

Введение. Анализ процесса обезвоживания – это эффективный способ оценки работы сеточной части бумагоделательной машины. [Савина и др., 1996] показали изменения в работе сеточной части машины после её модернизации. Также анализ процесса обезвоживания можно применять для оценки способности массы к обезвоживанию под влиянием того или иного технологического фактора. Авторы [Кауров, Кокушин, 2007] описали процесс обезвоживания на гидропланках с учётом прогиба формирующей сетки. Анализ процесса обезвоживания позволяет собирать данные, необходимые для моделирования процесса обезвоживания и формирования в регистровой части сеточного стола, и получать зависимости от различных величин. Также он позволяет показать эффективность работы обезвоживающих элементов. В заметке [Vibrating..., 2003] показаны изменения в режиме работы сеточного стола после его оснащения дополнительным обезвоживающим элементом.

Цель исследования – изучение процесса обезвоживания в сеточной части бумагоделательной машины при выработке бумаги с различной массой 1 м^2 .

Материалы и методика исследования. Измерение массы суспензии на формирующей сетке производили при помощи микроволнового прибора FiberscanOne от фирмы Kristini. Измерения производятся при помощи микроволнового датчика, располагающегося на конце штанги прибора. Общие принципы работы прибора описаны в электронном ресурсе производителя оборудования [Cristini..., 2025]. Расчет материального баланса сеточной части осуществлен при помощи специализированного программного обеспечения – программы Dragon, разработанной фирмой Andritz.

Концентрацию бумажной массы в напорном ящике и содержание волокна в регистровых водах определяли согласно ГОСТ Р 50068-92 «Волокнистые полуфабрикаты. Ускоренный метод определения концентрации массы». Степень помола бумажной массы в напорном ящике определена согласно ГОСТ 14363.4-89 «Целлюлоза. Подготовка проб к физико-механическим испытаниям».

Результаты исследования. В ходе исследования работы БДМ-N был изучен процесс обезвоживания на сеточном столе при выработке бумаги с различной массой $1 \text{ м}^2 - 100, 125 \text{ и } 160 \text{ г}$. Также собрана информация о настройках работы сеточной части при выработке данной продукции. Схема сеточной части с обозначением точек замеров веса бумажной массы на формирующей сетке представлена на рис. 1.

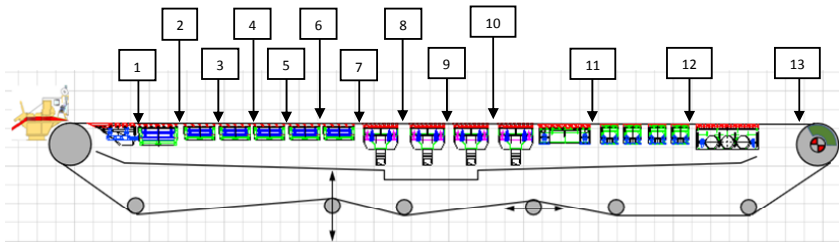


Рис. 1. Схема формирующей части БДМ-N с обозначением точек замеров веса бумажной массы на сетке. 1 – пакет грудной доски, 2 – пакет гидропланок конструкции Multifoil, 3-7 – пакеты гидропланок, 8-10 – мокрые отсасывающие ящики, 10-11 – мокрый отсасывающий ящик+ пакет среднего вакуума, 11-12 – сухие отсасывающие ящики, 13 – трёхкамерный пакет высокого вакуума конструкции Hivac

Fig. 1. Scheme of the forming section of the PM-N with the designation of the points for measuring the dryness of the web. 1 – forming board, 2 – Multifoil package, 3-7 – hydrofoil packages, 8-10 – wet suction boxes, 10-11 – wet suction box + medium vacuum box, 11-12 – dry suction boxes, 13 – three-chamber high vacuum box of the Hivac design

Ширина измерительного датчика прибора FiberScanOne составляет 65 мм, что превышает расстояние между некоторыми обезвоживающими элементами. Таким образом, не было возможности проведения замеров сухости полотна после каждого из элементов. Масса суспензии на сетке после гауч-вала не была измерена, поскольку на данной БДМ отсутствует сеткоповоротный вал. Последний обезвоживающий элемент, после которого была замерена сухость, – это трёхкамерный пакет высокого вакуума конструкции Hivac. [Bajrai, 2018] подробно описал работу данного обезвоживающего элемента и его ключевые особенности. Такие вакуумные пакеты устанавливают в конце сеточного стола прямо перед гауч-валом. При прохождении бумажным полотном однокамерных отсасывающих ящиков происходит процесс обратного увлажнения на открытых участках. Данный процесс обусловлен миграцией воды из ячеек формирующей сетки обратно в бумажное полотно. [McDonald, 1999] описал данный процесс и его механизм. Основная цель – это достижение максимального значения сухости полотна после прохождения сеточной части. Применение пакетов высокого вакуума конструкции Hivac

позволяет достигать максимальных значений сухости благодаря нейтрализации данного эффекта. [Кугушев и др., 2000] также описали устройство и принцип работы других обезвоживающих элементов сеточного стола.

Как видно из табл. 1, при увеличении массы 1 м^2 выпускаемой продукции из 100%-ной макулатуры производительность БДМ-N менялась незначительно. При выработке бумаги с массой 1 м^2 в 125 г производительность была наибольшей. При этом снижается скорость движения формующей сетки, поскольку в ином случае сеточный стол не справится с задачей по удалению такого количества воды. Точка падения струи – это участок формующей сетки, на который осуществляется массонапуск. При выработке бумаги с массой 1 м^2 в 100 и 125 г она располагалась за передней гранью грудной планки. Из-за этого значение первичного обезвоживания на пакете грудной доски было существенно ниже.

Таблица 1

Основные параметры работы БДМ-N**Main operating parameters of PM-N**

Масса 1 м^2 , г	100	125	160
Точка падения струи, мм	за передней гранью грудной планки	за передней гранью грудной планки	10
Удержание волокна, %	93,1	92,8	94,8
Концентрация в напорном ящике, %	0,76	0,62	0,57
Концентрация подсеточной воды, %	0,055	0,045	0,030
Скорость массонапуска, м/мин	284,6	245,0	188,6
Скорость формующей сетки, м/мин	290,4	250,4	190,5
Коэффициент напуска	0,98	0,98	0,99
Расположение сухой линии	Вакуумный пакет Enervac	Вакуумный пакет Enervac	2-й сухой отсасывающий ящик
Скорость на накате	309,0	262,5	195,5
Производительность, т/ч	3,89	4,15	3,94
Степень помола, °ШР	53-55	63	58
Влажность, %	6,8	6,9	6,5

При выработке бумаги с массой 1 м^2 , равной 160 г, точка падения струи располагалась перед грудной планкой. В обоих случаях такая настройка точки падения струи была вызвана необходимостью в повышении качества формирования. При выработке продукции с меньшей массой 1 м^2 , соответственно,

100 и 125 г, концентрация массы в напорном ящике была выше, чем при выработке бумаги с массой 1 м^2 , равной 160 г. В последнем случае точка падения струи была настроена таким образом, чтобы первичное обезвоживание было высоким. Удержание волокна при выработке бумаги с массой 1 м^2 , равной 100 и 125 г, составило 93,1% и 92,8% соответственно. При выработке бумаги с массой 1 м^2 , равной 160 г, общее удержание было несколько выше и составило 94,8%, что обусловлено меньшей турбулентностью в зоне формирования из-за более низкой скорости движения формирующей сетки, а также более высокой массой 1 м^2 и толщиной слоя волокон.

Фотография на рис. 2 была выполнена с лицевой стороны БДМ. На снимке отображено пространство между грудным валом и передней гранью грудной планки.

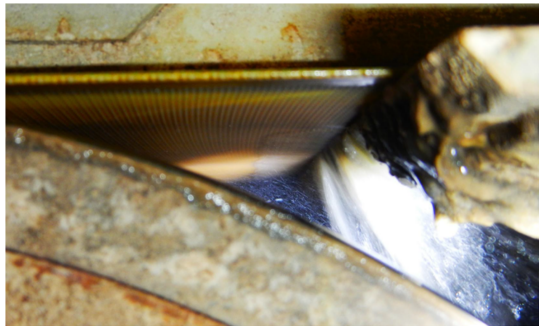


Рис. 2. Точка падения струи при выработке бумаги с массой 160 г/м^2

Fig. 2. The point of impact of the jet when producing paper with a weight of 160 г/м^2

На рис. 3 представлена диаграмма, на которой показано обезвоживание на каждой замеренной позиции сеточного стола. Обезвоживание, выраженное в %, – это доля воды, удаляемой на элементе, от общего количества воды, содержащейся в бумажной массе.

Наибольшее обезвоживание на пакете грудной доски было зафиксировано при выработке бумаги массой 160 г/м^2 . При выработке бумаги массой 100 г/м^2 значение первичного обезвоживания составило 7,8%, а при выработке бумаги массой 125 г/м^2 – 6,5%. Наибольший показатель данной величины зафиксирован при выработке бумаги массой 160 г/м^2 – 31,3% (табл. 2).

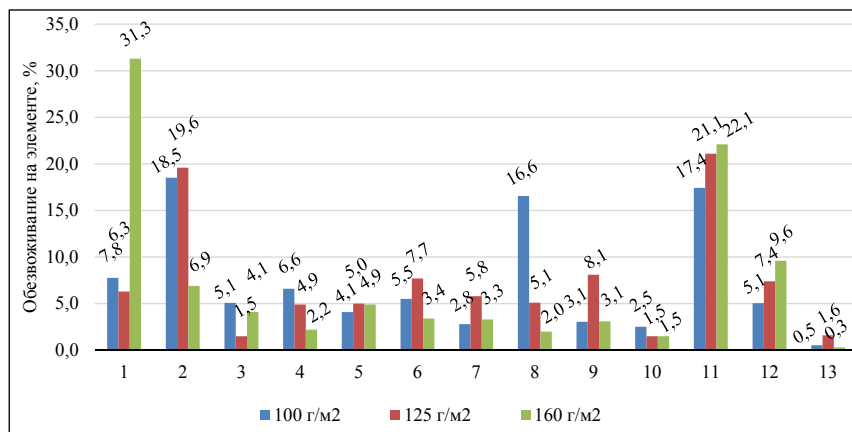


Рис. 3. Обезвоживание на элементе

Fig. 3. Dehydration on the element

Таблица 2

Значение обезвоживания по зонам сеточного стола при выработке бумаги с различной массой 1м²

Dehydration value by wire table zones during the production of paper with different 1m² weight

Номер точки замера	Обезвоживающие элементы	Зона сеточного стола	Масса 1м ² выпускаемой бумаги, г		
			100	125	160
			Обезвоживание, %		
1	Пакет грудной доски	Регистровая часть	7,8	6,3	31,3
2-7	Пакет Multifoil – 5-й пакет гид-ропланок	Регистровая часть	42,6	44,5	24,8
8-10	1-й–3-й мокрые отсасывающие ящики	Зона низкого вакуума	22,1	14,7	6,6
11	4-й мокрый отсасывающий ящик+ пакет среднего вакуума	Зона среднего вакуума	17,4	21,1	22,1
12-13	Мокрые отсасывающие ящики + пакет высокого вакуума	Зона высокого вакуума	5,6	9,0	9,9

Как показано в табл. 2, обезвоживание в регистровой части при производстве бумаги массой 100 и 125 г/м² было наибольшим. Это обусловлено низким

значением первичного обезвоживания. При производстве бумаги массой 160 г/м² значение первичного обезвоживания было существенно выше, поэтому значение обезвоживания в регистражной части было ниже, чем при производстве бумаги массой 100 и 125 г/м². С увеличением массы 1 м² бумаги снизилось значение обезвоживания в зоне низкого вакуума, что обусловлено увеличением сопротивлению фильтрации из-за роста толщины волокнистого слоя. Обезвоживание в зоне среднего вакуума при производстве всех трёх видов продукции различалось незначительно. Самое низкое обезвоживание в зоне высокого вакуума измерено при производстве бумаги с наибольшей массой.

Как показано на рис. 4, наибольшая сухость бумажного полотна достигалась при выработке бумаги с наиболее низким значением массы 1 м², т. е. 100 г/м². Так, к концу сеточного стола значение сухости достигало 15,76%. Это обусловлено тем, что более тонкий слой волокон обезвоживается легче. Наиболее низкая сухость зафиксирована при выработке бумаги с наибольшей массой.

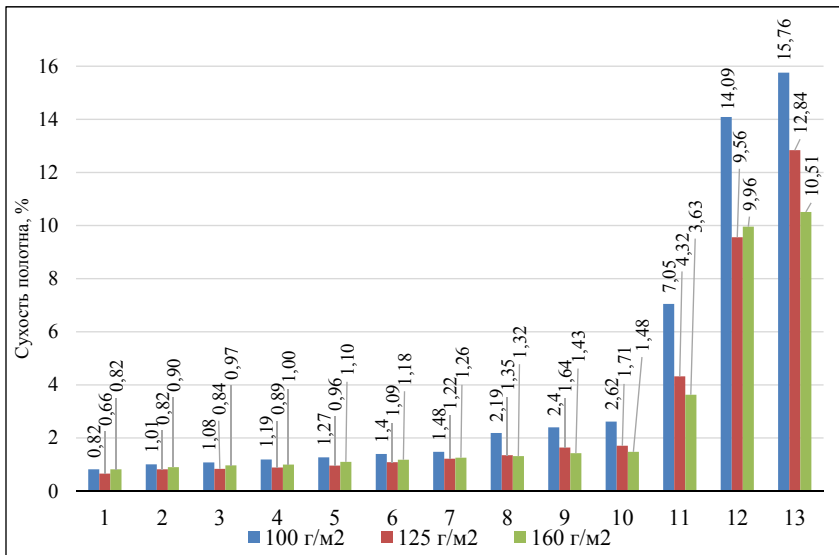


Рис. 4. Сухость бумажного полотна на сеточном столе при выработке бумаги массой 100, 125 и 160 г/м²

Fig. 4. Dryness of the paper web on the wire table during paper production weighing 100, 125 and 160 g/m²

Таким образом, при выработке бумаги с массой 1 м^2 , равной 160 г/м^2 , значение сухости перед гауч-валом составило 10,51%. Далее процесс обезвоживания проходит на гауч-вале, однако вес бумажной массы на формирующей сетке после данного элемента замеры не был. Также при увеличении массы выпускаемой продукции происходило смещение сухой линии по направлению движения полотна. Так, при выработке продукции массой 100 и 125 г/м^2 сухая линия находилась на вакуумном пакете Enepvac. При выработке продукции массой 160 г/м^2 сухая линия находилась на втором сухом отсасывающем ящике. При обезвоживании бумажного полотна на отсасывающих ящиках можно выделить два периода обезвоживания – путём сжатия волокнистого слоя волокон под действием слабого вакуума и под действием воздушного потока, проходящего сквозь бумажное полотно. Механизм данного процесса описали [Åslund, Vomhoff, 2008]. Сообщается [Технология..., 2005], что сухость бумажного полотна после первого периода обезвоживания может составлять 6-8%. Границу перехода первого периода обезвоживания во второй можно проследить посредством так называемой сухой линии.



Рис. 5. Сухая линия при выработке бумаги массой 100 г/м^2

Fig. 5. Dry line for the production of 100 g/m^2 paper

На рис. 5 показана сухая линия, зафиксированная при выработке бумаги массой 100 г/м^2 . Сухая линия располагалась на пакете среднего вакуума конструкции Enepvac. Значение сухости после данного элемента составило 7,05%.

Закключение

1. При перемещении точки падения струи за переднюю грань грудной доски снижается величина первичного обезвоживания. При этом возрастает

величина обезвоживания на пакете гидропланок, следующем за пакетом грудной доски;

2. При понижении концентрации бумажной массы в напорном ящике концентрация твердых веществ в регистравой воде снижается пропорционально;

3. При увеличении массы 1 м^2 выпускаемой продукции производительность БДМ незначительно изменяется, показывая максимальное значение при производстве бумаги со средней массой 1 м^2 . В данном случае это 125 г/м^2 ;

4. При увеличении массы 1 м^2 выпускаемой продукции скорость движения формирующей сетки пропорционально снижается. При этом понижается значение сухости полотна после прохождения сеточного стола. Расположение сухой линии меняется. При увеличении массы 1 м^2 выпускаемой продукции сухая линия сдвигается по направлению движения полотна.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Кауров П.В., Кокушин Н.Н. Расчет обезвоживания бумажной массы на гидропланках с учетом прогиба сетки // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. СПб., 2007. С. 6-9.

Кугушев И.Д., Терентьев А.О., Кокушин Н.Н., Швецов А.О. Сеточные части бумаго- и картоноделательных машин. СПб.: СПБГТУРП, 2000. 98 с.

Савина Т.Е., Агеев А.Я., Парти А.И., Жвирблите А.К. Анализ обезвоживающей способности сеточного стола бумагоделательной машины до и после модернизации // ИВУЗ. Лесной журнал. 1996. №4-5. С. 149-152.

Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. II. Производство бумаги и картона. Ч. 1. Технология производства и обработки бумаги и картона. СПб.: Политехника, 2005. 423 с.

Åslund P., Vomhoff H. Dewatering mechanisms and their influence on suction box dewatering processes – a literature review // Nordic Pulp and Paper Research Journal. 2008. Vol. 23, no. 4. P. 389-397. DOI: 10.3183/npprj-2008-23-04-p389-397.

Bajpai P. Biermann's Handbook of Pulp and Paper: Raw Material and Pulp Making. 3rd ed. Elsevier, 2018. 668 p.

Cristini FiberScan One – Microwave Consistency Meter // Cristini Group Paper Machine Clothing, Department of physics of the microwave, University of Florence. URL: <https://www.tappi.org/content/events/11papercon/documents/Cristini%20pptA.pdf> (дата обращения: 18.06.2025).

McDonald D. Web rewetting by forming fabrics // TAPPI Process and Product Quality Conference & Trade Fair. Anaheim, USA, 1999. P. 597-599.

Vibrating foil improves paper properties, Solutions!, Online Exclusives // TAPPI. 2003. URL: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/03/OCT/03OCTOE01.aspx> (дата обращения: 19.05.2026).

References

Åslund P., Vomhoff H. Dewatering mechanisms and their influence on suction box dewatering processes – a literature review. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 2008, vol. 23, no. 4, pp. 389-397. DOI: 10.3183/npprj-2008-23-04-p389-397.

Bajpai P. *Biermann's Handbook of Pulp and Paper: Raw Material and Pulp Making*. 3rd ed. Elsevier, 2018. 668 p.

Cristini FiberScan One – Microwave Consistency Meter. *Cristini Group Paper Machine Clothing, Department of physics of the microwave, University of Florence*. URL: <https://www.tappi.org/content/events/11papercon/documents/Cristini%20pptA.pdf> (accessed June 18, 2025).

Kaurov P.V., Kokushin N.N. Calculation of dewatering of paper pulp on hydroplanes, taking into account the deflection of the forming wire. *Machines and apparatuses of pulp and paper production: interuniversity collection of sci. works*. St. Petersburg, 2007, pp. 6-9. (In Russ.)

Kugushev I.D., Terentyev A.O., Kokushin N.N., Shvetsov A.O. Forming parts of paper and paperboard machines. St. Petersburg: SPBGTURP, 2000. 98 p. (In Russ.)

McDonald D. Web rewetting by forming fabrics. *TAPPI Process and Product Quality Conference & Trade Fair*. Anaheim, USA, 1999, pp. 597-599.

Savina T.E., Ageev A.Ya., Partie A.I., Zhvirblite A.K. Analysis of the dehydrating ability of the grid table of a paper machine before and after modernization. *IVUZ. Lesnoy zhurnal*, 1996, no. 4-5, pp. 149-152. (In Russ.)

The technology of pulp and paper production. In 3 vols. Vol. II. Production of paper and paperboard. Part 1. Technology of production and processing of paper and paperboard. St. Petersburg: Polytechnic, 2005. 423 p. (In Russ.)

Vibrating foil improves paper properties, Solutions!, Online Exclusives. *TAPPI*. 2003. URL: <https://imrise.tappi.org/TAPPI/Products/03/OCT/03OCTOE01.aspx> (accessed May 19, 2026).

Материал поступил в редакцию 31.10.2025

Бутусов В.Д., Смирнова Е.Г. Исследование процесса обезвоживания на сеточном столе бумагоделательной машины при выработке бумаги различной массеомкости // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2026. Вып. 259. С. 460–470. DOI: 10.21266/2079-4304.2026.259.460-470

В сеточной части бумагоделательной машины удаляется порядка 95-99% воды, содержащейся в бумажной массе. Помимо удаления воды, в сеточной части осуществляется процесс формования бумажного полотна, в ходе которого предопределяется структура бумажного полотна и его свойства. Исследование работы сеточной части произведено на бумагоделательной машине, производящей бумагу для производства гофрокартона. В ходе данного исследования изучен процесс обезвоживания на сеточном столе при выработке

бумаги с массой 1 м^2 , равной 100, 125 и 160 г. Информация об обезвоживании на сеточном столе получена при помощи прибора FiberScanOne от итальянской фирмы Cristini. Данный прибор позволяет измерять вес бумажной массы на сетке при помощи микроволнового датчика. Данные об обезвоживании были обработаны и рассчитаны в специализированном программном обеспечении – программе Dragon, разработанной фирмой Andritz. В ходе исследования показаны различия в динамике процесса обезвоживания при выработке бумаги с различной массой 1 м^2 на одной машине. Установлено, что при повышении массы 1 м^2 происходит снижение сухости бумажного полотна после прохождения сеточной части, а также смещение сухой линии по направлению движения бумажного полотна. Показано, что при снижении величины первичного обезвоживания на пакете грудной доски происходит увеличение значения обезвоживания на пакете гидропланок, следующем за ним. Также показано, что при увеличении массы 1 м^2 производимой бумаги производительность бумагоделательной машины изменяется незначительно. Производительность машины наименьшая при производстве бумаги с наибольшим и наименьшим значением массы 1 м^2 . При производстве бумаги со средним значением массы 1 м^2 производительность была наибольшей.

Ключевые слова: сеточная часть, формирующая часть, обезвоживание в сеточной части, формование, плоскосеточная бумагоделательная машина.

Butusov V.D., Smirnova E.G. Study of the dehydration process on the forming part of the paper machine during the production of paper of different mass capacities. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2026, iss. 259, pp. 460–470 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2026.259.460-470

In the forming part of the paper machine, about 95-99% of the water contained in the paper pulp is removed. In addition to removing water, the paper web is formed in the mesh part, during which the structure of the paper web and its properties are predetermined. The study of the work of the forming part was carried out on a paper machine that produces paper for the production of corrugated cardboard. In the course of this study, the process of dehydration on a forming part during the production of paper with a mass of 1 м^2 equal to 100, 125 and 160 g was studied. Information about dehydration on the forming part was obtained using the FiberScanOne device from the Italian company Cristini. This device allows to measure the weight of paper pulp on a forming wire using a microwave sensor. The dehydration data was processed and calculated in specialized software – the Dragon program developed by Andritz. The study shows differences in the dynamics of the dewatering process during the production of paper with different weights of 1 м^2 on one machine. It was found that with an increase in the mass of 1 м^2 , the dryness of the paper web decreases after passing through the forming part, as well as the displacement of the dry line in the direction of movement of the paper web. It is shown that with a decrease in the value of primary

dehydration on the chest board box, there is an increase in the value of dehydration on the hydroplane box following it. It is also shown that with an increase in the mass of 1 m² of paper produced, the productivity of paper machine changes slightly. Thus, the productivity of the paper machine is the lowest in the production of paper with the highest and lowest mass of 1 m². In the production of paper with an average weight of 1 m², the productivity of paper machine was the highest.

Key words: wire part, forming part, dehydration in forming part, forming, flat-wire papermaking machine.

БУТУСОВ Владимир Денисович – аспирант кафедры технологии бумаги и картона Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна.

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

BUTUSOV Vladimir D. – PhD student, Department of Paper and Paperboard Technology, St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design.

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

СМИРНОВА Екатерина Григорьевна – заведующий кафедрой технологии бумаги и картона Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, доктор технических наук, профессор. ORCID: 0000-0002-8482-0684.

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

SMIRNOVA Ekaterina G. – DSc (Technical), Head of the Department of Paper and Paperboard Technology, St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design, Professor. ORCID: 0000-0002-8482-0684.

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