

СВОЙСТВА ВТОРИЧНЫХ ВОЛОКОН, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ВЛАГОПРОЧНОГО СЫРЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКТИВАТОРОВ РОСПУСКА

А.А. Пенкин¹, Я.В. Казаков²

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

²Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Применение в процессе роспуска влагопрочной макулатуры химически активированного персульфата по сравнению с исходным персульфатом способствует сокращению продолжительности роспуска на 30 %, получению вторичных волокон с эквивалентными структурно-морфологическими свойствами, а бумаги – с аналогичной прочностью при растяжении и энергией внутренних связей по Скотту, но улучшенными оптическими показателями.

PROPERTIES OF SECONDARY FIBERS OBTAINED FROM WET-STRENGTH PAPER IN THE PRESENCE OF ACTIVATED PERSULFATES

A.A. Penkin¹, Y.V. Kazakov²

¹Belarusian state technological university, Minsk, Belarus

²Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

Use of binary (thermo-alkaline and chemically) activated persulfate as wet strength tissue paper repulping reagent compared to conventional thermo-alkaline activated persulfate allows to reduce repulping time up to 30 %, obtain secondary fibers with equivalent morphological characteristics and to make handsheets with similar tensile properties, internal bond strength and improved optical performance.

Процесс роспуска влагопрочной макулатуры в гидроразбивателе является наиболее длительной первичной стадией переработки вторичного сырья, в процессе которой оно преобразуется в форму водной волокнистой суспензии с той или иной степенью дезинтеграции исходного материала. Обычно степень первичного разволокнения макулатуры в гидроразбивателе низкой концентрации составляет более 70–80 % [1, 2], однако в отдельных случаях, в зависимости от влагопрочности макулатурного сырья, она может снижаться до 60 % [2, 3].

Для ускорения процесса разволокнения влагопрочной макулатуры применение методов физической или механической интенсификации (предварительное измельчение материала, повышение температуры массы и сдвиговых усилий ротора, использование смачивателей) оказывается недостаточным. Дополнительное применение методов химической активации процесса роспуска, основанное на использовании реагентов, вызывающих

окислительную деструкцию отверждённых влагопрочных смол, даёт более значимый результат [4–6].

К эффективным активаторам роспуска относятся такие бесхлорные окислители, как пероксосульфаты щелочных металлов – пероксомоносульфат, пероксодисульфат (персульфат) [4, 7–9]. Они позволяют существенно сократить продолжительность процесса роспуска различных видов влагопрочного сырья.

Продолжительность роспуска оказывает влияние по двум важным направлениям – на технологический процесс производства и на качество получаемой продукции. С одной стороны, продолжительность роспуска влагопрочной макулатуры, через производительность гидроразбивателя и затраты тепло-, электроэнергии, определяет технико-экономические показатели процесса массоподготовки. С другой стороны, от продолжительности роспуска зависит уровень накопленного механического воздействия, а в случае применения химических активаторов роспуска – механохимического воздействия на вторичные волокна. Последнее сопровождается изменением основных структурно-морфологических, прочностных, оптических и пр. свойств волокон и, как следствие, свойств получаемой с их использованием картоно-бумажной продукции. В связи с этим исследование свойств вторичных волокон, полученных из влагопрочной макулатуры, имеет не только научную, но и практическую значимость.

В качестве объекта исследований использована влагопрочная макулатура в виде бумаги санитарно-гигиенического назначения. Композиционный состав бумаги по волокну представлен 100 % беленой сульфатной целлюлозы, влагопрочность бумаги – 20...22 %.

В качестве химической добавки для интенсификации роспуска макулатуры использован персульфат натрия в исходном виде и персульфат натрия совместно с неорганическим активатором (далее активированный персульфат или комбинированный активатор роспуска). В обоих случаях дополнительно использована температурно-щелочная обработка массы.

Первичный роспуск влагопрочного сырья осуществлялся в лабораторном гидроразбивателе с рабочим объемом ванны 3,0 дм³ при концентрации содержимого в ванне 4,0 % (рис. 1).

Как видно из представленных данных, применение персульфата по сравнению с температурно-щелочной обработкой массы приводит к существенному сокращению продолжительности роспуска. Применение комбинированного активатора роспуска по сравнению с исходным персульфатом

способствует дальнейшему ускорению процесса роспуска влагопрочной макулатуры приблизительно на 30%.

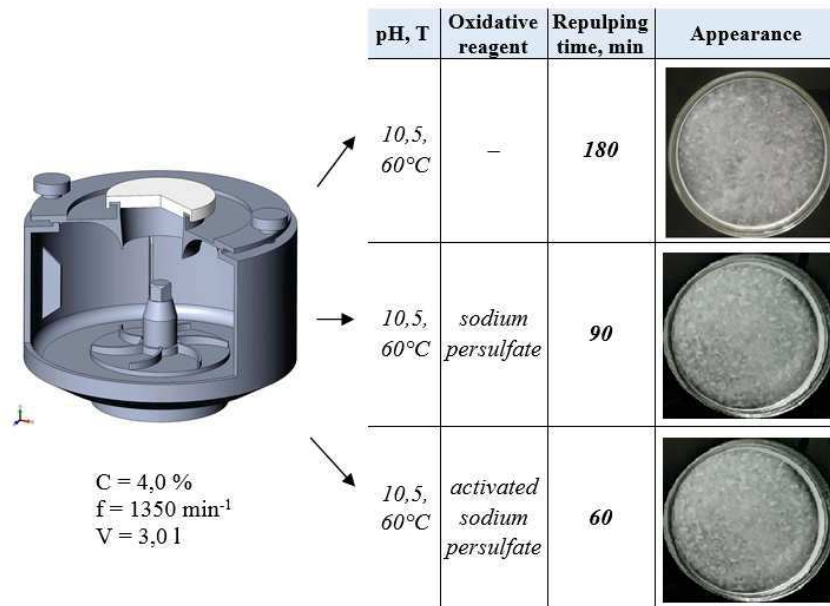


Рис. 1. Лабораторные условия роспуска влагопрочной макулатуры

После первичного роспуска влагопрочной макулатуры до содержания в ней остаточных хлопьев 20–30% осуществлялся окончательный роспуск (дефлокуляция) и размол макулатурной массы в лабораторной дисковой мельнице НДМ-3 в мягких условиях до степени помола 36°ШР. Внешний вид и форма вторичных волокон полученных бумажных масс в сравнении с первичными волокнами целлюлозы, из которой была изготовлена влагопрочная макулатура, представлен на рис. 2.

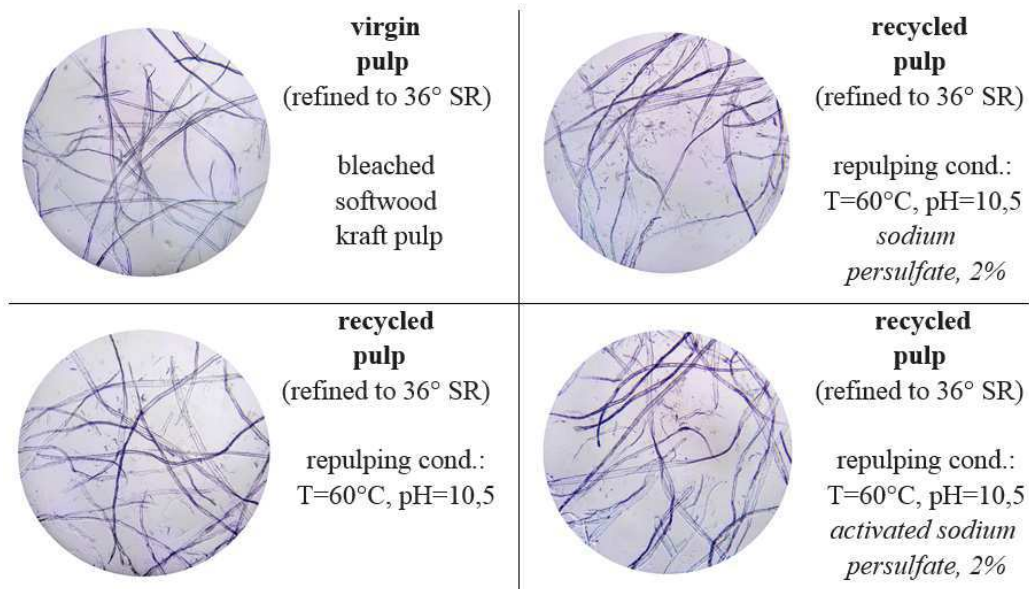


Рис. 2. Внешний вид и форма вторичных волокон и волокон целлюлозы

Из рис. 2 видно, что вторичные волокна, полученные из влагопрочной макулатуры для всех использованных режимов роспуска, близки к волокнам исходной хвойной белой целлюлозы. Видимое отличие заключается в присутствии в бумажной массе из вторичных волокон несколько большего количества мелочи и обрывков волокон.

Очевидно, что качественная характеристика волокон по их внешнему виду имеет лишь некий общий оценочный характер и не может дать подробную информацию о различии свойств вторичных волокон, полученных в различных механохимических условиях роспуска. Для количественного анализа вторичных волокон в мировой практике используются различные оптические анализаторы: L&W Fiber Tester, Kajaani (FS-100, FS-200, FS-300), PQM (pulp quality monitor), Galai CIS-100, Fiberlab, MorFi, FiberMaster, FQA (fiber quality analyzer) [10]. Они позволяют выполнять глубокую количественную оценку структурно-морфологических свойств различных волокнистых полуфабрикатов.

С целью расширенной количественной оценки структурно-морфологических свойств вторичных волокон нами использован оптический анализатор L&W Fiber Tester. Для каждого варианта роспуска влагопрочной макулатуры проведено по 3 параллельных измерения характеристик полученных волокнистых суспензий.

На рис. 3 представлены геометрические параметры «длина-ширина» для всех компонентов (волокна + мелочь), присутствующих в распущенной и размолотой бумажной массе.

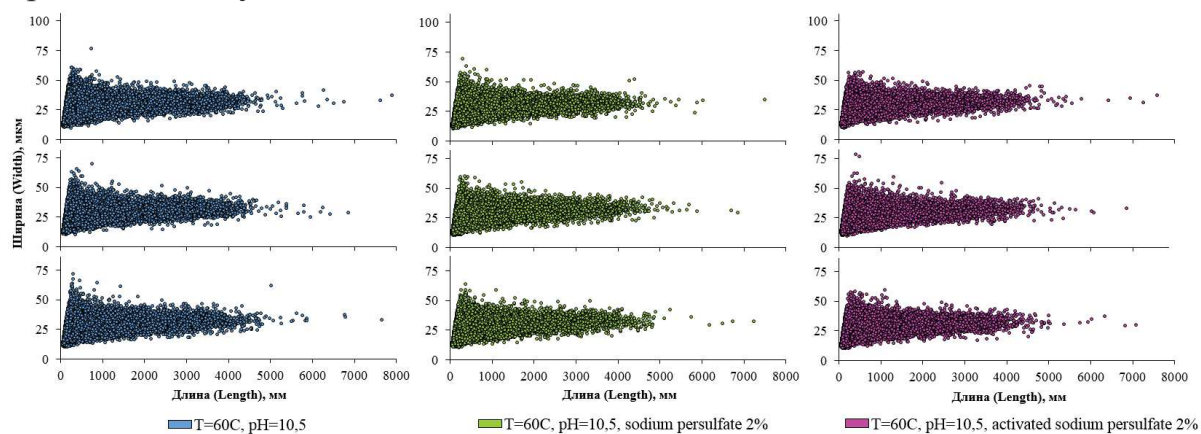


Рис. 3. Длина-ширина всех компонентов бумажной массы:
 3 параллельных измерения, Raw Data, L&W Fiber Tester

Из представленных данных видно, что для бумажной массы, полученной по всем трём вариантам роспуска влагопрочной макулатуры, характерен достаточно широкий разброс, как по длине, так и по ширине вто-

ричных анатомических элементов, при этом значительная часть волокон имеет большую длину – до 4–5 мм и ширину в среднем от 15 до 45 мкм. Перечисленные особенности типичны для размолотой сульфатной целлюлозы из хвойной древесины.

Близость массивов данных «длина-ширина» в рамках параллельных измерений, а также отсутствие значимого количества «выпадающих» точек с большой шириной свидетельствуют об отсутствии агрегированных анатомических элементов вследствие недостаточно полного их разделения при роспуске, дефлокуляции и размоле вторичного влагопрочного сырья.

Усредненный фракционный состав всех компонентов бумажной массы (волокна + мелочь) по укрупненным для наглядности классам длины и классам ширины представлен на рис. 4.

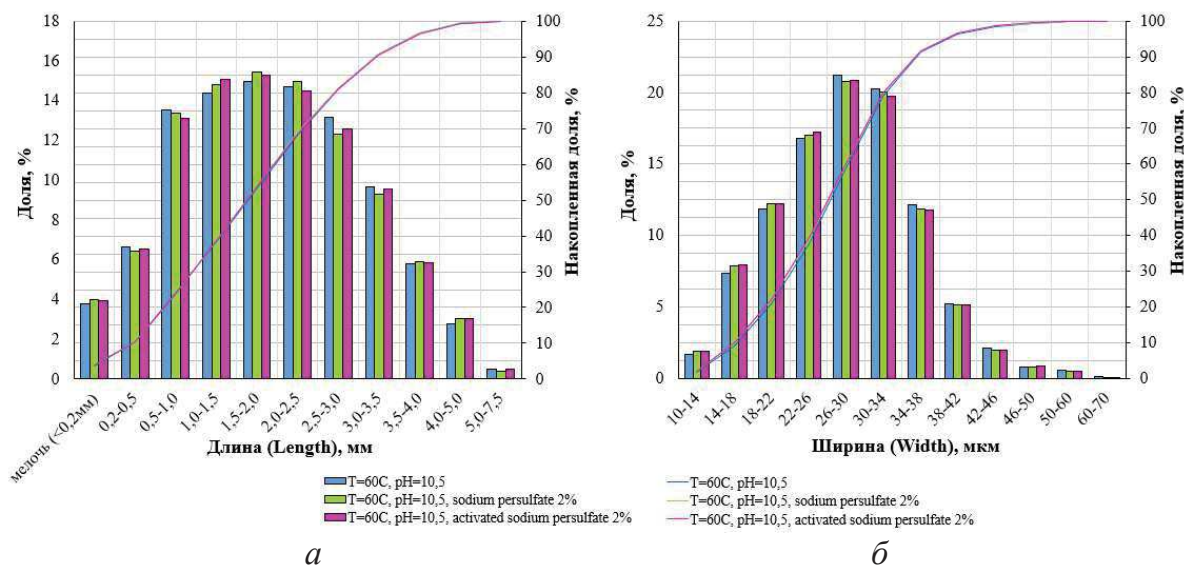


Рис. 4. Фракционный состав компонентов бумажной массы:
 а – по длине, б – по ширине

Как видно из рис. 4, применение химических активаторов и сокращенного цикла роспуска влагопрочной макулатуры практически не оказывает влияния на фракционный состав компонентов бумажной массы по длине и ширине. Количество мелочи при использовании активаторов роспуска по сравнению с температурно-щелочной обработкой влагопрочной макулатуры увеличилось незначительно – с 3,80 до 3,96–4,00 %.

Для дальнейшей характеристики геометрических параметров основных компонентов бумажной массы – волокон из расчетов была исключена мелочь и определены средневзвешенные по длине значения длины и ширины волокон, а также представлены другие структурно-морфологические характеристики вторичных волокон (табл. 1).

Таблица 1. Структурно-морфологические свойства вторичных волокон из влагопрочной макулатуры

| Наименование показателей | Oxidative reagent | | |
|----------------------------------|-------------------|--------------------------|------------------------------------|
| | – | <i>sodium persulfate</i> | <i>activated sodium persulfate</i> |
| Средняя длина, мм | 2,00 | 2,00 | 2,01 |
| Средняя ширина, мкм | 30,1 | 30,1 | 30,0 |
| Фактор формы, % | 83,3 | 84,4 | 84,6 |
| Число изломов на волокно | 0,84 | 0,74 | 0,72 |
| Число больших изломов на волокно | 0,344 | 0,300 | 0,296 |
| Средний угол излома | 60,3 | 60,3 | 60,5 |
| Число изломов на мм | 0,559 | 0,492 | 0,461 |
| Число больших изломов на мм | 0,230 | 0,201 | 0,189 |
| Средний индекс излома | 1,544 | 1,358 | 1,280 |
| Средняя длина сегмента, мм | 1,406 | 1,482 | 1,559 |

Из представленных в таблице 1 данных видно, что для всех вариантов роспуска влагопрочной макулатуры, как с применением химических активаторов, так и с обычной температурно-щелочной обработкой, характерна относительная неизменность средней длины и ширины вторичных волокон после размола бумажной массы. В то же время применение химических активаторов роспуска способствует увеличению фактора формы волокон, уменьшению числа их изломов, в том числе и больших, в расчете, как на единичное волокно, так и на единицу длины волокна, снижению индекса излома и увеличению средней длины сегмента. На наш взгляд, перечисленные существенные различия в структурно-морфологических свойствах вторичных волокон обусловлены меньшим уровнем накопленного механического воздействия на волокна и, следовательно, меньшим количеством локальных деформаций вследствие сокращенного времени роспуска влагопрочной макулатуры в присутствии химических активаторов.

Несомненно, что данные особенности структурно-морфологических свойств вторичных волокон должны найти отражение и в свойствах бумаги, изготовленной с их использованием. Взаимосвязь фактора формы вторичных волокон и деформационно-прочностных показателей бумаги при растяжении представлена на рис. 5.

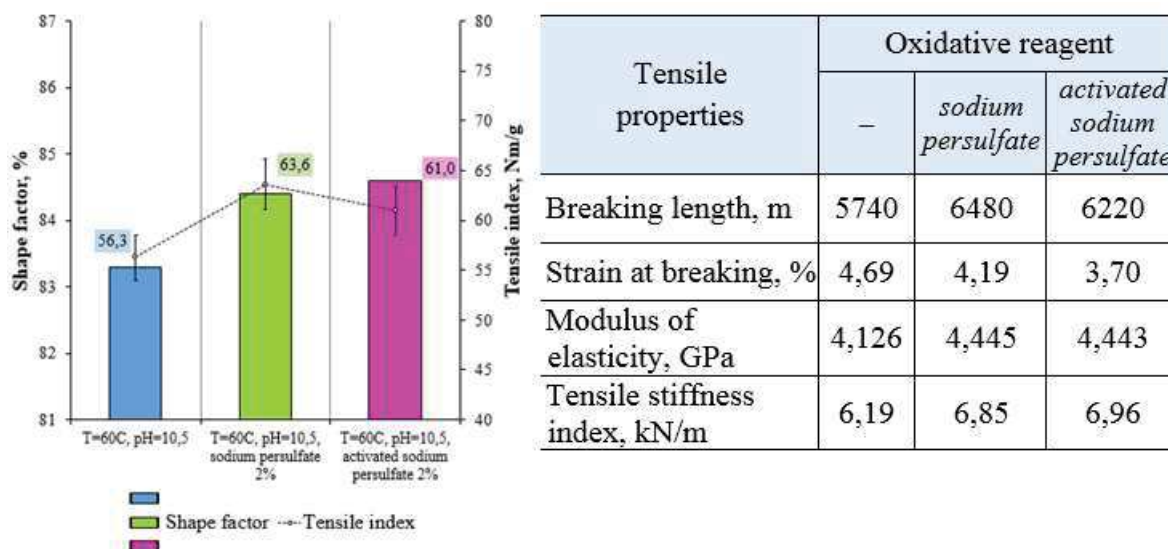


Рис. 5. Фактор формы вторичных волокон и деформационно-прочностные показатели лабораторных образцов бумаги на их основе

Из рис. 5 видно, что повышение фактора формы вторичных волокон в среднем на 1,2 % (с 83,3 до 84,4-84,6 %) сопровождается повышением индекса прочности при растяжении с 56,3 до 61,0-63,6 Н·м/г или на 10 %. Удельное изменение показателя индекса прочности при растяжении, рассчитанное по этим данным, составляет в среднем 5 Н·м/г на 1% фактора формы.

Известно [11], что повышение фактора формы может приводить к существенному росту индекса прочности при растяжении образцов бумаги из беленой хвойной целлюлозы. Так, например, в работе [12] показано, что для размолотых образцов беленой скандинавской хвойной товарной целлюлозы изменение фактора формы с 81,3 до 84,6 % сопровождается ростом индекса прочности при растяжении приблизительно на 15 Н·м/г. Если посчитать удельное изменение показателя индекса прочности при растяжении по этим литературным данным, то получится около 4,5 Н·м/г на 1 % фактора формы.

Таким образом, установленное влияние фактора формы вторичных волокон на показатели прочности при разрыве очень близко к таковому для первичных волокон хвойной беленой целлюлозы.

С учётом величины стандартного отклонения измеренных прочностных показателей можно отметить, что прочность образцов бумаги из влагопрочной макулатуры, распущенной в присутствии обоих активаторов розпуска (персульфата и комбинированного активатора на основе персульфата) находится на одинаковом уровне, при этом более высоком, чем

прочность образцов бумаги из влагопрочной макулатуры, распущенной без их использования, но более длительно.

На рис. 6 отражена взаимосвязь грубости вторичных волокон, пухлости и энергии внутренних связей по Скотту.

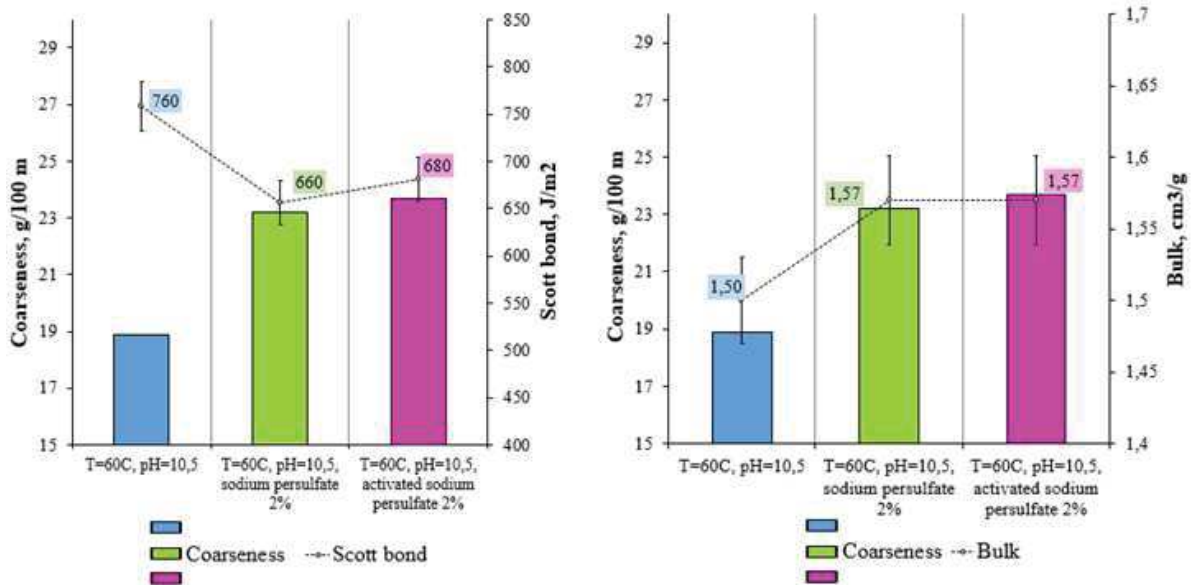


Рис. 6. Грубость вторичных волокон, пухлость и энергия внутренних связей по Скотту лабораторных образцов бумаги на их основе

Из рис. 6 видно, что применение активаторов роспуска влагопрочной макулатуры сопровождается некоторым повышением грубости волокон – с 19 до 23 г/100 м. Повышение грубости волокон, в свою очередь, закономерно отражается на увеличении пухлости бумаги и снижении энергии внутренних связей по Скотту в среднем на 12 %.

Данные о белизне и координатах цвета в цветовом пространстве CIELab для лабораторных образцов бумаги представлены на рис. 7.

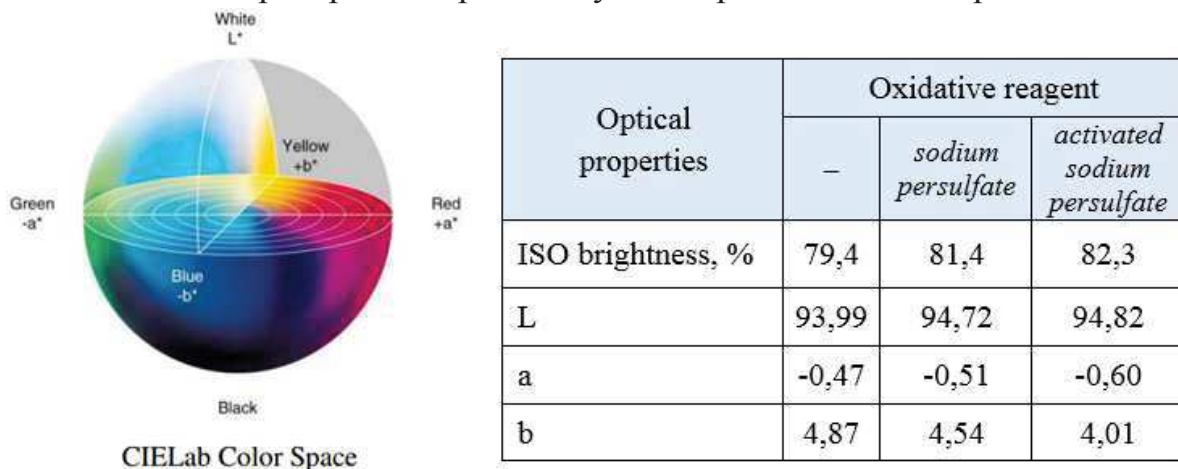


Рис. 7. Цветовое пространство CIELab [13] и оптические свойства лабораторных образцов бумаги из вторичных волокон

Как видно из рис. 7, применение химических активаторов роспуска на основе персульфата способствует повышению белизны бумаги с 79,4 до 82,3%, уменьшению координат цвета бумаги a и b . Благодаря этому ее цвет смещается в более предпочтительную для зрительного восприятия синюю область, а повышение координаты L вызывает увеличение яркости такого цвета. Применение химически активированного персульфата по сравнению с исходным персульфатом сопровождается увеличением белизны бумаги на 1 % и снижением желтизны бумаги (координата цвета b) на 0,45.

На основании результатов проведенных исследований можно заключить, что применение в процессе роспуска влагопрочной макулатуры химически активированного персульфата по сравнению с исходным персульфатом позволяет:

- сократить продолжительность роспуска на величину до 30 %;
- получить вторичные волокна с эквивалентными показателями структурно-морфологических свойств (средняя длина и ширина волокон, содержание мелочи, фактор формы, число изломов, в том числе больших, в расчете, как на единичное волокно, так и на единицу длины волокна, индекс излома, средняя длина сегмента);
- получить бумагу с аналогичной прочностью при растяжении и энергией внутренних связей по Скотту;
- улучшить белизну бумаги и снизить ее желтизну.

Список литературы

1. Пузырёв С.С. Ресурсосберегающая технология переработки макулатуры. Часть 3. // ЛесПромИнформ. 2006. №6 (37). С.120–123.
2. Ковалёва О.П. Гидроразбиватели макулатурного сырья // ЛесПромИнформ. 2007. №8 (48). С. 104–107.
3. Дулькин Д.А., Южанинова Л.А., Миронова В.Г., Спиридонов В.А. Научные основы переработки макулатуры // Лесн. журн. 2005. № 1–2. С.105–122 (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Effect of chemical additives on the degradation of polyamideamine-epichlorohydrin (PAE) films and PAE based papers made from bleached kraft pulps / Siqueira Eder J. [et al.] // Nordic Pulp and Paper Research Journal. 2015. Vol. 132, N26. P. 529–540.
5. Recycling of wet-strength paper / Gigac J. [et al.] // Wood research. 2005. Vol. 50, № 3. P. 73–84.
6. Особенности переработки трудноразволокняемой макулатуры / С. С. Пузырёв [и др.] // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2006. №10. С.40–44.
7. Persulfates as repulping reagents for neutral/alkaline wet-strength broke / Espy H. H. [et al.] // TAPPI Journal. 1993. Vol. 76, № 2. P.139–141.

8. Fischer S. A. Repulping wet-strength paper // TAPPI Journal. 1997. Vol. 80, N 11. P.141–147.
9. Repulping of wet strength paper towel with potassium monopersulfate / Yang R. [et al.] // TAPPI Journal. 2020. Vol. 19, № 9. P. 463.
10. Fiber Quality Analysis: OpTest Fiber Quality Analyzer versus L&W Fiber Tester / Bin Li [et al.] // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2011. Vol. 50. P. 12572–12578.
11. Hakan, Karlsson Fibre guide: fibre analysis and process applications in the pulp and paper industry: a handbook / Karlsson Hakan, Rinneuo Timo. Kista: Lorentzen & Wettre, 2006. 120 p.
12. Hakan, Karlsson Online Standardized Measurements of Pulp and Stock Quality // 65th Appita Annual Conference and Exhibition: Conference Technical Papers, Rotorua, New Zealand, 10–13 April 2011 / Appita Inc. – Rotorua, 2011. P. 251–258.
13. CIELab Color Moments: Alternative Descriptors for LANDSAT Images Classification System / Retno Kusumaningrum [et al.] // INKOM. 2014. Vol. 8, № 2. P. 111–116.