

**Ю.В. Севастьянова, Е.А. Топтунов, Н.В. Щербак, П.В. Солнцев**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОТРАБОТАННОГО ЩЕЛОКА  
ОТ ВАРКИ ЛИСТВЕННОЙ ПОЛУЦЕЛЛЮЛОЗЫ  
ПРИ РАЗЛИЧНОМ СООТНОШЕНИИ  
ЗЕЛЕННОГО И БЕЛОГО ЩЕЛОКОВ**

*Введение.* Рынок производства гофротары характеризуется устойчивым ростом. Гофрокартон является одним из наиболее распространенных материалов в мире для использования в качестве упаковочного материала [Гофро эксперт, 2019; Дьякова и др., 2010; Синчук и др., 2007]. Гофрокартон формируется из картона для плоских слоев (лайнера) и гофрированной бумаги (флютинга). Основным полуфабрикатом для производства бумаги для гофрирования является полуцеллюлоза из листовых пород древесины. Производство полуцеллюлозы базируется на предварительной химической и последующей механической переработке древесной щепы или однолетних растений [Бобров и др., 1984; Галеева, 1970; Гурьянов, 1988]. При этом используется направленное прекращение варки на относительно ранней стадии, когда в клеточной стенке волокна остается значительное количество лигнина и гемицеллюлоз. Для производства полуцеллюлозы используют сульфитный, бисульфитный, нейтрально-сульфитный, сульфатный, натронный и щелочной способы [Миловидова и др., 2008]. Для нейтрально-сульфитного способа варки на натриевом основании в настоящее время отсутствует простая и надежная система регенерации щелоков, так как процесс ведется при относительно низком расходе варочного реагента, и в раствор переходит относительно незначительное количество органических веществ (весовой выход полуцеллюлозы 75...78% от исходного сырья), в результате чего отработанный щелок имеет низкую концентрацию сухих и органических веществ [Area et al., 1998 and 2001; Dawson, 1974]. С теплотехнической точки зрения, самостоятельная регенерация щелоков в данном случае малоэффективна, поэтому производство полуцеллюлозы совмещают с производством сульфатной целлюлозы высокого выхода, и отработанные щелока для регенерации объединяют в общий поток [Fang, 1976; Worster, 1973].

Технология производства полуцеллюлозы с использованием зеленого щелока позволяет упростить процесс приготовления варочного раствора и

сократить схему регенерации химикатов [Бобров, 2010; Жалина и др., 1984; Орехов, 1981; Battan et al., 1976; Charbonnier et al., 1974; Chen, 1992] и Миловидова Л.А. и др. Регенерация химикатов в производстве сульфатной целлюлозы (каустизация и регенерация извести: учеб. пособие. Архангельск: С(А)ФУ, 2010. Несмотря на промышленное освоение предприятиями способа варки полуцеллюлозы на зеленом щелоке, сведения о технологических параметрах варки и качестве полуцеллюлозы представлены недостаточно полно, отсутствуют данные об избирательности процесса делигнификации лиственной древесины при варке с зеленым щелоком, а также сведения о составе и свойствах отработанного щелока [Бобров, 1984 и 2010; Гелеева, 1970].

На основных стадиях регенерации отработанного щелока, а именно, в процессе выпарки, контроль процесса осуществляется по содержанию сухого вещества, которое, в свою очередь, определяется по плотности щелока при различных температурах [Миловидова, 2010]. На предприятиях для определения содержания сухих веществ в отработанном щелоке используют таблицы плотности щелоков, данные которых зачастую не отражают реальное содержание сухих веществ. Актуальным становится разработка математической зависимости плотности отработанного щелока от содержания сухих веществ и температуры для достоверного контроля процесса выпарки и их сжигания в СРК. Исследование выполнено с целью изучения плотности отработанного (оранжевого) щелока от варки лиственной полуцеллюлозы, содержания сухих веществ и температуры при различном соотношении зеленого и белого щелоков, задачами которого являются:

- исследовать влияние температуры и концентрации сухих веществ на плотность отработанного (оранжевого) производственного щелока после варки полуцеллюлозы с различными соотношениями зеленого (ЗЩ) и белого щелоков (БЩ) – ЗЩ:БЩ 100:0; 80:20; 50:50 и 20:80;
- разработать математические модели зависимости плотности отработанного щелока от концентрации сухих веществ и температуры при различном соотношении варочных щелоков;
- провести сравнение результатов полученных математических зависимостей для щелока от варки полуцеллюлозы с разным соотношением ЗЩ:БЩ;
- провести сравнительную апробацию результатов математических зависимостей плотности щелока от концентрации и температуры для лиственной полуцеллюлозы и хвойной целлюлозы высокого выхода.

*Объекты и методы исследования.* В производственных условиях варьировали соотношение зеленого и белого щелоков, подаваемых на варку лиственной полуцеллюлозы: ЗЩ:БЩ – 100:0; 80:20; 50:50 и 20:80. Иссле-

дования плотности отработанного щелока проводили в диапазоне содержания сухих веществ от 5 до 10% и температурном диапазоне от 15 до 90 °С. В среднем для каждого соотношения щелоков была определена плотность в 416 точках (шаг изменения температуры – 5 °С; шаг изменения содержания сухих веществ – 0,2%).

Метод определения массовой доли сухих веществ в отработанном щелоке основан на высушивании пробы черного щелока на фильтре в сушильном шкафу и последующем его взвешивании [Гурьянов, 1988; Свидетельство № 411 ВНИИБ, 1991]. Пробы щелока отбирали в точках, определенных схемой контроля технологического регламента предприятия. Калибровка посуды перед проведением исследований проводилась в соответствии с ГОСТ 8.234-2013. Содержание сухих веществ ( $B$ ) в % в плотном отработанном щелоке рассчитывали по формуле:

$$B = ((q_2 - q_1) \cdot V \cdot 100) / G, \quad (1)$$

где  $q_1$  – масса стаканчика с фильтром, г;  $q_2$  – масса стаканчика с фильтром и сухим остатком, г;  $V$  – объем мерной колбы, см<sup>3</sup>;  $G$  – масса плотного щелока, г.

Содержание сухих веществ ( $B$ ) в % в слабом отработанном щелоке рассчитывали по формуле:

$$B = ((q_2 - q_1) \cdot 100) / (\gamma_{15} V_1), \quad (2)$$

где  $q_1$  – масса стаканчика с фильтром, г;  $q_2$  – масса стаканчика с фильтром и сухим остатком, г;  $\gamma_{15}$  – плотность щелока при 15 °С, г/см<sup>3</sup>;  $V_1$  – объем щелока, взятого для анализа, см<sup>3</sup>.

Предельные границы относительной погрешности результатов измерений не превышают ±0,5% при доверительной вероятности  $\rho = 0,95$ . Определение плотности щелоков проводили поверенными ареометрами в соответствии с ГОСТ 3900–85.

Статистическую обработку группы результатов наблюдений проводили традиционно, при этом рассчитывались следующие параметры: среднее арифметическое результатов наблюдений; среднее квадратическое отклонение; коэффициент вариации, %; наличие грубых погрешностей; оценка среднего квадратического отклонения результата измерений; доверительные границы среднего квадратического отклонения результата измерения.

*Результаты исследования и их обсуждение.* При математической обработке экспериментальных данных получены зависимости плотности отработанного оранжевого щелока от варки листовенной полуцеллюлозы на смеси зеленого и белого щелоков от содержания сухих веществ и его температуры. На основании проведенного регрессионного анализа получены уравнения зависимостей плотности щелока от исследуемых параметров, а также рассчитаны коэффициенты корреляции (табл. 1).

Таблица 1

**Результаты регрессионного анализа**  
**Regression Analysis Results**

Соотношение ЗЦ:БЦ	Вид уравнения	Уравнение	Коэффициент корреляции
100:0	Полином 1-й степени	$\rho, \text{г/см}^3 = 1,008 + 0,006 \cdot x - 0,0004 \cdot t$	0,998
	Полином 2-й степени	$\rho, \text{г/см}^3 = 1,005 + 0,0066 \cdot x - 0,0004 \cdot t + 0,000001 \cdot x \cdot t - 0,00000038 \cdot t^2 - 0,0000393 \cdot x^2$	0,998
80:20	Полином 1-й степени	$\rho, \text{г/см}^3 = 1,000 + 0,007 \cdot x - 0,0004 \cdot t$	0,995
	Полином 2-й степени	$\rho, \text{г/см}^3 = 0,989 + 0,0085 \cdot x - 0,0002 - 0,000012 \cdot x \cdot t - 0,00000072 \cdot t^2 - 0,0000778 \cdot x^2$	0,995
50:50	Полином 1-й степени	$\rho, \text{г/см}^3 = 1,005 + 0,006 \cdot x - 0,0004 \cdot t$	0,995
	Полином 2-й степени	$\rho, \text{г/см}^3 = 1,004 + 0,0052 \cdot x - 0,0002 \cdot t - 0,000012 \cdot x \cdot t - 0,00000103 \cdot t^2 + 0,0001192 \cdot x^2$	0,995
20:80	Полином 1-й степени	$\rho, \text{г/см}^3 = 1,013 + 0,005 \cdot x - 0,0004 \cdot t$	0,997
	Полином 2-й степени	$\rho, \text{г/см}^3 = 1,013 + 0,0046 \cdot x - 0,0004 \cdot t - 0,000001 \cdot x \cdot t - 0,00000048 \cdot t^2 + 0,0000159 \cdot x^2$	0,997

Как показывают результаты математической обработки экспериментальных данных (табл. 1), достоверную точность вычисления плотности от содержания сухих веществ и температуры отработанного щелока для лист-

венной полуцеллюлозы дает математическая зависимость в виде полинома 1 степени. Однако для выполнения четвертой задачи эксперимента – сравнения разрабатываемой математической зависимости для лиственной полуцеллюлозы с аналогичной для щелока, полученного от варки хвойной целлюлозы высокого выхода, было необходимо рассчитать математическую зависимость в виде полинома 2-й степени.

Сравнительный анализ значений плотности отработанного щелока от варки лиственной полуцеллюлозы при различном соотношении зеленого и белого щелоков для каждого соотношения варочных щелоков в трех контрольных точках (при температуре 15 °С, содержании сухих веществ – 5%; при температуре 45 °С, содержании сухих веществ – 7, 6%; при температуре 90 °С, содержании сухих веществ – 10%), данные которого представлены в табл. 2, позволил установить, что изменение соотношения зеленого и белого щелоков, подаваемых на варку лиственной полуцеллюлозы, не оказывает значительного влияния на изменение плотности отработанного оранжевого щелока, поскольку степень делигнификации полуфабриката остается постоянной и находится на уровне 125...135 единиц каппа.

Таблица 2

**Сравнение плотности черного щелока в контрольных точках**

**Comparison of black liquor density at control points**

Температура, °С, содержание с.в., %	Соотношение ЗЩ:БЩ			
	100:0	80:20	50:50	20:80
15 °С; 5%	1,032	1,025	1,029	1,029
45 °С; 7,6%	1,034	1,032	1,033	1,028
90 °С; 10%	1,032	1,031	1,028	1,022

Основываясь на усредненных данных для каждого соотношения варочных щелоков, результаты эксперимента позволяют вывести общее уравнение зависимости свойств отработанного щелока от варки лиственной полуцеллюлозы на смеси белого и зеленого щелоков. На основании усредненных данных также проведен регрессионный анализ и построена поверхность отклика свойств отработанного щелока от варки лиственной полуцеллюлозы (рисунок). Установлено, что наиболее адекватно влияние исследуемых факторов на плотность щелока для средних значений описывается:

полином 1-й степени:

$$\rho = 1,004 + 0,006 \cdot x - 0,0004 \cdot t;$$

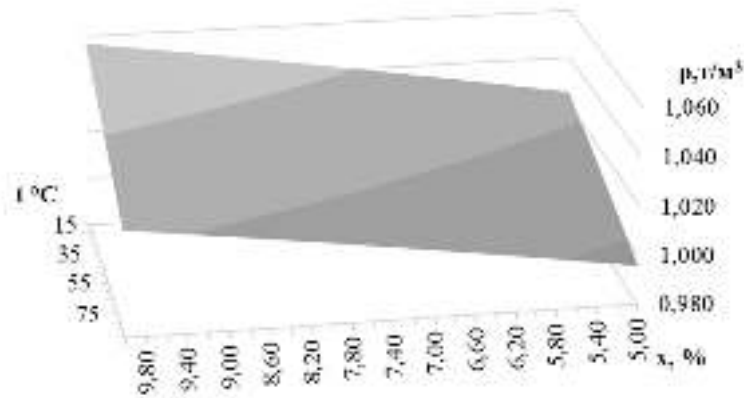
полином 2-й степени:

$$\rho = 0,992 + 0,0083 \cdot x - 0,0003 \cdot t - 0,000012 \cdot x \cdot t - 0,00000032 \cdot t^2 - 0,0001158 \cdot x^2,$$

где  $\rho$  – плотность, г/см<sup>3</sup>;  $x$  – содержание сухих веществ, %;  $t$  – температура, °С.

Коэффициент корреляции для уравнений составляет 0,998; относительная погрешность определения составляет 0,06%.

Сравнение рассчитанных значений содержания сухих веществ в зависимости от плотности отработанного щелока по разработанной математической зависимости и опытных производственных данных показало отклонение менее 1% для всех контрольных точек, что свидетельствует о возможности использования предложенного уравнения для определения плотности отработанного оранжевого щелока от варки лиственной полуцеллюлозы при любом соотношении зеленого и белого щелоков, подаваемых на варку.



Зависимость плотности черного щелока от концентрации сухих веществ и температуры (средние значения)

Dependence of the density of black liquor on the concentration of dry substances and temperature (average values)

Авторами ранее разработана математическая зависимость для плотности черного щелока от содержания сухих веществ и температуры для варки хвойной целлюлозы высокого выхода, которая имеет следующий вид:

$$\rho = 0,974 + 0,0071 \cdot x - 0,0002 \cdot t - 0,000007 \cdot x \cdot t - \\ - 0,00000045 \cdot t^2 - 0,0000045 \cdot x^2.$$

Сравнение результатов расчета содержания сухих веществ в отработанном щелоке по полученным зависимостям для одного и того же диапазона температур и плотности отработанных щелоков выявило значительные отклонения. Зависимость, полученная для отработанных щелоков хвойной сульфатной целлюлозы высокого выхода, снижает точность определения содержания сухих веществ в отработанных щелоках лиственной полуцеллюлозы на белого и зеленого щелоков – от 2 до 6%, что связано с различным химическим составом сырья, отличным составом варочного щелока и факторов варки.

*Закключение.* Основываясь на результатах исследований свойств производственного отработанного щелока от варки лиственной полуцеллюлозы на смеси белого и зеленого щелоков, можно сделать следующие выводы:

– не выявлено значимого влияния соотношения зеленого и белого щелоков при варке лиственной полуцеллюлозы на плотность щелока в диапазоне температуры от 15 до 90 °С и концентрации сухих веществ от 5 до 10%;

– разработана математическая модель – полином 1-й степени, – достоверно характеризующая зависимость плотности отработанного щелока от концентрации и температуры для производства лиственной полуцеллюлозы с различным соотношением зеленого и белого щелоков, имеющая следующий вид:

$$\rho = 0,992 + 0,0083 \cdot x - 0,0003 \cdot t - 0,000012 \cdot x \cdot t - \\ - 0,00000032 \cdot t^2 - 0,0001158 \cdot x^2;$$

– сравнительная апробация математических моделей зависимости плотности отработанного щелока от концентрации сухих веществ и температуры, полученных для лиственной полуцеллюлозы и для хвойной целлюлозы высокого выхода, показала различие в результатах расчета содержания сухих веществ в отработанном щелоке от 2 до 6%.

Таким образом, результаты работы показывают, что для эффективного контроля за процессом регенерации отработанных щелоков при производ-

стве волокнистых полуфабрикатов, необходима разработка зависимости плотности отработанного щелока от концентрации сухих веществ и температуры для различных полуфабрикатов индивидуально, что позволит вести более точно автоматизированный учет щелоков и рассчитывать нагрузку на оборудование выпарных станций и СРК.



Работы выполнены в Инновационно-технологическом центре «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (ИТЦ СТПБС) Северного Арктического федерального университета имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск.

### Библиографический список

*Бобров А.И., Мутовина М.Г., Бондарева Т.А., Малышкина В.К.* Производство волокнистых полуфабрикатов из лиственной древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 248 с.

*Бобров Ю.А.* Зеленый щелок: плюсы при варке полуцеллюлозы // ЛесПромИнформ. 2010. № 1. С. 126–128. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1205> (дата обращения: 08.03.2020).

*Галеева, Н.А.* Производство полуцеллюлозы и целлюлозы высокого выхода. М.: Лесн. пром-сть., 1970. 370 с.

*Гурьянов, В.Е.* Использование лиственных пород в производстве полуфабрикатов, бумаги и картона // Целлюлоза. Бумага. Картон. 1988. № 1. С. 31–36.

*Дьякова Е.В., Комаров В.И., Гурьев А.В.* Влияние многократной переработки на свойства волокон полуфабрикатов для тарного картона. // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2010. №5. С. 56–60.

*Жалина В.А., Запорожец Е.В., Майорова Л.П.* Поведение углеводных компонентов березовой древесины при варке с зеленым щелоком // Химическая переработка древесного сырья: межвузовский сборник трудов. Л.: 1984. 133 с.

*Миловидова Л.А., Дьякова Е.В., Севастьянова Ю.В., Гусакова М.А.* Сравнительная оценка способов производства полуцеллюлозы и целлюлозы высокого выхода из лиственной (осиновой) древесины // Научные основы инновационных технологий бумаги и картона: сб. науч. тр. 1 Всерос. науч.-техн. конф., посв. 290-летию со дня основания ОАО «Полотняно-Заводская бумажная фабрика», МГУЛ. 2008. С. 24–26.

*Орехов Б.В.* Потребление лиственной древесины в целлюлозно-бумажной промышленности: опыт, проблемы, перспективы // Бум. пром-сть. 1981. № 6. С. 1–3.

Гофро эксперт. Первое полугодие 2020 г. решит будущее рынка. Рациональный и иррациональный сценарии для гофроотрасли. URL: <https://gofro.expert/stati/b-pervoe-polugodie-2020-g-reshit-budushhee-rynka-ratsionalnyj-i-irrationalnyj-stsenarii-dlya-gofrootrasli-b/> (дата обращения: 08.03.2020).



Свидетельство № 411 о метрологической аттестации МВИ. Метод определения массовой доли сухих веществ в черном щелоке / ВНИИБ. Л., 1991. 4 с.

*Синчук А.В., Дулькин Д.А., Мутовина М.Г., Бондарева Т.А., Кирсанов В.А.*, Бисульфитная полуцеллюлоза как волокнистый полуфабрикат для производства флютинга и лайнера // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2007. № 6. С. 49–53.

*Area M.C., Felissia F.E., Venica A.D., Valade J.L.* NSSC Process Optimization. I. Pulp Quality // Tappi Pulping Conf. Montreal. 1998. P. 671–681.

*Area M.C., Felissia F.E., Venica A.D., Valade J.L.* NSSC process optimization: pulping, pulps and spent liquors // Tappi journal. 2001. Vol. 84, no. 4. P. 4–12.

*Battan H.R., Ahlquist G.S., Snyder E.J.* Green liquor pulping of southern oak for corrugating medium // Tappi. 1976. No. 6. P. 130–133.

*Charbonnier H.Y., Rushton J.D., Schwalbe H.C.* Semi-chemical pulping of pine with green liquor // Tappi. 1974. Vol. 57, no. 12. P. 109–112.

*Chen Cheng-I.* Method of enhancing green liquor semi-chemical pulp production // United States Patent. 1992. 5,127,993.

*Dawson R.L.* A comparison of neutral sulfite and green liquor semi-chemical pulps in corrugating medium // Tappi. 1974. Vol. 57, no. 12. P. 113–116.

*Fang Y.-P.* Kraft Green Liquor Pulping of Douglas-fir for Corrugating Medium // Oregon State University. 1976. 260 p.

*Worster H.E.* Present State of Semichemical Pulping – A Literature Review // Paper Trade Journal. 1973. No. 19. P. 31–37.

## References

*Bobrov A.I., Mutovina M.G., Bondareva T.A., Malyskhina V.K.* Proizvodstvo voloknistykh polufabrikatov iz listvennoi drevesiny. M.: Lesn. prom-st', 1984. 248 p. (In Russ.)

*Bobrov Yu.A.* Zelenyi shchelok: plyusy pri varke polutsellyulozy. *LesPromInform*, 2010, no. 1, pp. 126–128. URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1205> (data obrashcheniya: 08.03.2020). (In Russ.)

*Galeeva N.A.* Proizvodstvo polutsellyulozy i tsellyulozy vysokogo vykhoda. M.: Lesn. prom-st', 1970. 370 p. (In Russ.)

*Gur'yanov V.E.* Ispol'zovanie listvennykh porod v proizvodstve polu-fabrikatov, bumagi i kartona. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 1988, no. 1, pp. 31–36. (In Russ.)

*D'yakova E.V., Komarov V.I., Gur'ev A.B.* Vliyanie mnogokratnoi pererabotki na svoystva volokon polufabrikatov dlya tarnogo kartona. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2010, no. 5, pp. 56–60. (In Russ.)

*Zhalina V.A., Zaporozhets E.V., Maiorova L.P.* Povedenie uglevodnykh komponentov berezovoi drevesiny pri varke s zelenym shchelokom. *Khimicheskaya pererabotka drevesnogo syr'ya: mezhvuzovskii sbornik trudov*. L.: 1984. 133 p. (In Russ.)

*Milovidova L.A., D'yakova E.V., Sevast'yanova Yu.V., Gusakova M.A.* Sravnitel'naya otsenka sposobov proizvodstva polu-tsellyulozy i tsellyulozy vysokogo

vykhoda iz listvennoi (osinovo)i drevesi-ny. *Nauchnye osnovy innovatsionnykh tekhnologii bumagi i kartona*: sb. nauch. tr. I Vserossiiskoi nauch.-tekhn. konf., posv. 290-letiyu so dnya osnova-niya OAO «Polotnyano-Zavodskaya bumazhnaya fabrika», MGUL, 2008, pp. 24–26. (In Russ.)

*Orekhov B.V.* Potreblenie listvennoi drevesiny v tsellyulozno-bumazhnoi promyshlennosti: opyt, problemy, perspektivy. *Bum. prom-st'*, 1981, no. 6, pp. 1–3. (In Russ.)

Gofro expert. Pervoe polugodie 2020 g. reshit budushchee rynka. Ratsional'-nyi i irratsional'nyi stsenarii dlya gofrootrasli. URL: <https://gofro.expert/stati/b-pervoe-polugodie-2020-g-reshit-budushchee-rynka-ratsionalnyj-i-irratsionalnyj-stsenarii-dlya-gofrootrasli-b/> (data obrashcheniya: 08.03.2020). (In Russ.)

Svidetel'stvo no. 411 o metrologicheskoi attestatsii MVI. Metod opredeleniya massovoi doli sukhikh veshchestv v chernom shcheloke / VNIIB. L., 1991. 4 p. (In Russ.)

*Sinchuk A.V., Dul'kin D.A., Mutovina M.G., Bondareva T.A., Kirsanov V.A.* Bisul'fitnaya polutsellyuloza kak voloknistyi polufab-rikat dlya proizvodstva flyutinga i lainera. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2007, no. 6, pp. 49–53. (In Russ.)

*Area M.C., Felissia F.E., Venica A.D., Valade J.L.* NSSC Process Optimization. I. Pulp Quality. *Tappi Pulping conf.* Montreal, 1998, pp. 671–681.

*Area M.C., Felissia F.E., Venica A.D., Valade J.L.* NSSC process optimization: pulping, pulps and spent liquors. *Tappi journal*, 2001, vol. 84, no. 4, pp. 4–12.

*Battan H.R., Ahlquist G.S., Snyder E.J.* Green liquor pulping of southern oak for corrugating medium. *Tappi*, 1976, no. 6, pp. 130–133.

*Charbonnier H.Y., Rushton J.D., Schwalbe H.C.* Semi-chemical pulping of pine with green liquor. *Tappi*, 1974, vol. 57, no. 12, pp. 109–112.

*Chen Cheng-I.* Method of enhancing green liquor semi-chemical pulp production. *United States Patent*, 1992, 5,127,993.

*Dawson R.L.* A comparison of neutral sulfite and green liquor semi-chemical pulps in corrugating medium // *Tappi*. 1974. Vol. 57, Nr. 12. P. 113-116.

*Fang Y.-P.* Kraft Green Liquor Pulping of Douglas-fir for Corrugating Medium. *Oregon State University*, 1976. 260 p.

*Worster H.E.* Present State of Semichemical Pulping – A Literature Review. *Paper Trade Journal*, 1973, no. 19, pp. 31–37.

*Материал поступил в редакцию 08.11.2020*

**Севастьянова Ю.В., Топтунов Е.А., Щербак Н.В., Солнцев П.В.** Исследование свойств отработанного щелока от варки лиственной полуцеллюлозы при различном соотношении зеленого и белого щелоков // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2020. Вып. 233. С. 246–258. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.233.246-258

Основным полуфабрикатом для производства бумаги для гофрирования (флотинга), используемой в композиции тарного картона, является полуцеллюлоза из лиственных пород древесины. Производство полуцеллюлозы базируется на

предварительной химической и последующей механической переработке древесной щепы или однолетних растений. Технология производства полуцеллюлозы с использованием в качестве варочного реагента – зеленого щелока позволяет упростить процесс приготовления варочного раствора и сократить схему регенерации химикатов из отработанных щелоков. Однако сведения о технологических параметрах варки, качестве полуцеллюлозы представлены недостаточно полно, отсутствуют подробные данные об избирательности процесса делигнификации листовых пород древесины, произрастающих в СЗФО, а также недостаточно информации о составе и свойствах отработанного щелока, влиянии породного сырья на свойства щелоков. Исследование выполнено с целью изучения свойств отработанного (оранжевого) щелока, а именно его плотности, полученного при варке листовых полуцеллюлозы с различным соотношением зеленого и белого щелоков. Основываясь на результатах исследований свойств отработанного производственного щелока от варки листовых полуцеллюлозы на смеси белого и зеленого щелоков: 1) не выявлено значительного влияния изменения соотношения зеленого и белого щелоков при варке листовых полуцеллюлозы на плотность отработанного щелока в диапазоне температуры от 15 до 90 °С и концентрации сухих веществ от 5 до 10%; 2) разработана математическая модель – полином 1 степени, – достоверно характеризующая зависимость плотности отработанного щелока от концентрации и температуры для производства листовых полуцеллюлозы с различным соотношением зеленого и белого щелоков:  $\rho = 0,992 + 0,0083 \cdot x - 0,0003 \cdot t - 0,000012 \cdot x \cdot t - 0,00000032 \cdot t^2 - 0,0001158 \cdot x^2$ .

**Ключевые слова:** листовая полуцеллюлоза, производство полуцеллюлозы на зеленом щелоке, зеленый щелок, белый щелок, оранжевый щелок, регенерация химикатов, плотность щелока, содержание сухих веществ в щелоке.

**Sevastyanova Yu.V., Toptunov E.A., Scherbak N.V., Solntsev P.V.** Research of the properties of spent liquor from cooking of hardwood semi-cellulose at different ratio of green and white liquors. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2020, is. 233, pp. 246–258 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2020.233.246-258

The main semi-finished product for the production of fluting is semi-cellulose from hardwood. Semi-cellulose production is based on preliminary chemical and subsequent mechanical processing of wood chips or annual plants. The technology for the production of semi-cellulose using green liquor makes it possible to simplify the process of preparing the cooking solution and the recovery of chemicals from waste liquors. This method is used abroad, in our country the method of cooking semi-cellulose with green liquor is currently carried out at one of the enterprises in Russia. However, at the moment, information on the technological parameters of cooking and the quality of semi-cellulose is not fully presented, there are no data on the selectivity

of the delignification process (removal of lignin) of deciduous wood when cooking with green liquor, as well as information on the composition and properties of the spent liquor. The study was carried out with the aim of studying the properties of waste (orange) liquor, namely its density obtained by cooking hardwood semi-cellulose with different ratios of green and white liquors. Based on the results of studies of the properties of waste industrial liquor from hardwood semi-cellulose cooking on a mixture of white and green liquors: no significant effect of the ratio of green and white liquors during hardwood semi-cellulose cooking on the density of waste liquor in the temperature range from 15 to 90 °C and the concentration of dry substances from 5 to 10%; a mathematical model has been developed – a polynomial of the 1st degree, – reliably characterizing the dependence of the density of the spent liquor on concentration and temperature for the production of hardwood semi-cellulose with different ratios of green and white liquors  $\rho = 0,992 + 0,0083 \cdot x - 0,0003 \cdot t - 0,000012 \cdot x \cdot t - 0,00000032 \cdot t^2 - 0,0001158 \cdot x^2$ .

**Key words:** hardwood semi-cellulose, green liquor semi-cellulose, green liquor, white liquor, orange liquor, chemical recovery, density liquor, dry matter content liquor.

---

**СЕВАСТЬЯНОВА Юлия Вениаминовна** – доцент кафедры целлюлозно-бумажных и лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, кандидат технических наук. ORCID: 0000-0002-1806-9052.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: y-sevastyanova@yandex.ru;

**SEVASTYANOVA Yulia V.** – PhD (Techical), assoc. Department of Pulp and Paper and Wood Chemical Production «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov». ORCID: 0000-0002-1806-9052/

163002. Severnaya Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: y-sevastyanova@yandex.ru

**ТОПТУНОВ Евгений Алексеевич** – инженер инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. ORCID: 0000-0001-8441-788X.

163002. наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: zhenya.toptunow2011@yandex.ru

**TOPRUNOV Evgeniy A.** – engineer «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov». ORCID: 0000-0001-8441-788X.

163002. Severnaya Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: zhenya.toptunow2011@yandex.ru

**ЩЕРБАК Наталья Владимировна** – доцент кафедры целлюлозно-бумажных и лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, кандидат технических наук. ORCID: 0000-0002-7383-3826.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: n.sioeva@narfu.ru

**SHCHERBAK Natalia V.** – PhD (Technical), assoc. Department of Pulp and Paper and Wood Chemical Production «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov». ORCID: 0000-0002-7383-3826.

163002. Severnaya Dvina emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: n.sioeva@narfu.ru

**СОЛНЦЕВ Павел Валентинович** – начальник ТЭЦ-2 производства картона Акционерное общество «Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат». ORCID: 0000-0001-5992-6981.

164900, ул. Мельникова, д. 1, г. Новодвинск, Архангельская область. Россия. E-mail: Solntsev.Pavel@appm.ru

**SOLNTSEV Pavel V.** – head of the CHPP-2 of cardboard production of APPM, ORCID: 0000-0001-5992-6981.

164900. Melnikova str. 1. Novodvinsk. Arkhangelsk region. Russia. E-mail: Solntsev.Pavel@appm.ru