

УДК 676.153:62-493

**Е. В. Дубоделова, С. И. Шпак, А. А. Пенкин, Н. А. Герман, Т. В. Соловьева**  
Белорусский государственный технологический университет

**ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ МАССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
В ЕЕ КОМПОЗИЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ  
НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Данная статья посвящена разработке научно обоснованных рекомендаций по введению в технологический процесс производства термомеханической массы (ТММ) на стадии предварительной подготовки и / или термогидролитической обработки древесной композиции на основе сосновой и еловой щепы в соотношении 30/70 мас. % трехзамещенного ортофосфата натрия с расходом до 2% к массе абсолютно сухой древесины (а. с. д.). Это позволяет повысить технологичность производства бумаги за счет предотвращения образования отложений на поверхностях оборудования в системе бумажного производства (содержание экстрактивных веществ уменьшается до 28,9%) и снижения устойчивости пены от 13,6 до 17,7% при сохранении показателей механической прочности бумаги на основе ТММ и увеличении ее белизны до 10,5%. Результаты исследований могут быть использованы на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности для расширения сырьевой базы при производстве ТММ за счет применения древесных пород с высоким содержанием экстрактивных веществ, в том числе сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*).

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, термомеханическая масса, смоляные затруднения, ортофосфат натрия, древесная щепа, высокочастотный горячий размол.

**E. V. Dubodelova, S. I. Shpak, A. A. Penkin, N. A. Herman, T. V. Solov'yeva**  
Belarusian State Technological University

**THERMOMECHANICAL MASS USING IN ITS COMPOSITION  
OF ORDINARY PINE GROWING IN THE TERRITORY  
OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

This article is devoted to the development of scientifically based recommendations on the introduction of a thermomechanical pulp (TMP) into the technological process at the preliminary preparation and/or thermohydrolytic treatment of pine and spruce wood composition in a ratio of 30/70 mass% triple sodium orthophosphate with a flow rate of up to 2% by weight of absolutely dry wood. This allows you to improve the manufacturability of paper production by preventing the formation of deposits on the surfaces of equipment in the system of papermaking production (the content of extractive substances is reduced to 28.9%) and reducing the stability of the foam from 13.6 to 17.7% while maintaining the mechanical strength of paper on the basis of TMP and increase its whiteness to 10.5%. The research results can be used in the pulp and paper industry to expand the resource base in the production of TMM through the use of tree species with a high content of extractive substances, including pine (*Pinus sylvestris L.*).

**Key words:** pine, thermomechanical pulp, resinous difficulties, sodium orthophosphate, wood chips, high-frequency hot grinding.

**Введение.** В настоящее время термомеханическая масса (ТММ) является наиболее востребованным полуфабрикатом для бумажно-картонного производства [1], что объясняется относительно простой технологией ее производства и высоким выходом, составляющим 80–95% от массы древесины. По сравнению с целлюлозой производство ТММ характеризуется минимальным количеством твердых отходов, стоков и газообразных выбросов [2, 3]. В Республике Беларусь ТММ производится по RTS-технологии и используется в производстве газетной и легкой мелованной бумаги на РУП «Завод газетной бумаги» (г. Шклов). В качестве древесного сырья используется балансовая древесина ели (*P. abies*

*Karst*). На выбор древесной породы оказывают влияние такие ее свойства, как плотность, влажность, химический состав, однородность анатомического строения, что определяет качество и свойства конечной бумажно-картонной продукции [2, 3]. Для получения ТММ в целях производства массовых видов бумажно-картонной продукции, характеризуемых значительным уровнем производственных мощностей, необходимо обеспечить не только высокий уровень механических, печатных и оптических показателей, но и других бумагообразующих свойств, обеспечивающих технологичность процесса производства бумажно-картонной продукции. Кроме того, особенностью RTS-технологии является

пониженный удельный расход энергии на получение ТММ, составляющий 1800 кВт·ч/т по сравнению с 2000–3000 кВт·ч/т [3, 4]. Для этого необходимо использовать древесные породы низкой плотности с однородным анатомическим составом, так как древесная щепка подвергается рафинированию и размолу при температуре выше точки размягчения лигнина (166°C) в течение короткого периода выдержки (5–8 с), т. е. клеточная стенка волокон древесины размягчается без нагрева ее срединной пластинки. Этим и объясняются рекомендации мировых производителей оборудования по применению древесины ели и пихты, а также их смесей для получения ТММ. Древесина сосны обыкновенной относится к хвойным породам и, следовательно, ее волокна способны сохранять лентообразную форму в процессе горячего размола. К основным факторам, существенно затрудняющим переработку сосны обыкновенной на древесную массу, в том числе ТММ, следует отнести:

- практически удвоенное содержание экстрактивных веществ по сравнению с елью и пихтой (4,5% против 2,5% [5]), что значительно ограничивает доступ пара к клеточной стенке волокон древесины, особенно поздней, и в конечном счете приводит к образованию отложений на поверхностях оборудования в системе бумажно-картонного производства;

- сравнительно высокая плотность древесной породы, значительная толщина стенки волокон по сравнению с древесиной ели (3,0–6,5 мкм против 2,70–3,52 мкм) [5] и, следовательно, клеточная стенка волокон в меньшей степени подвержена размягчению под гидротермическим воздействием, а волокна фибрилляции в процессе горячего размола.

Анализируя состояние лесного фонда Республики Беларусь, можно выделить две противоположно направленные тенденции. Первая – увеличение площади территории страны, покрытой лесом с 35,5 до 39,8%, при одновременном повышении среднего возраста деревьев с 44 до 56 лет. Это привело к повышению общих запасов насаждений на 64% до 1796,0 млн м<sup>3</sup> [6, 7]. Вторая тенденция – снижение устойчивости деревьев к болезням и насекомым, что обусловлено быстрыми изменениями климата. В наибольшей степени это коснулось ели (*P. abies* Karst), что привело к уменьшению ее запасов. Это создает предпосылки к дефициту качественного древесного сырья для получения древесной массы и необходимости вовлечения в производство ТММ древесины сосны, на долю которой приходится более 50% лесных запасов, в то время как на ель – только 9,2% [6, 7]. Следует заметить, что отходы лесопиления сосны образуются в значительных количествах на деревоперерабатывающих

предприятиях Республики Беларусь, в том числе и на РУП «Завод газетной бумаги».

Для устранения нежелательных органических отложений, вызывающих затруднения при работе с хвойными породами древесины, известен ряд способов, которые осуществляются на разных стадиях технологического процесса производства бумаги. Достижение желаемого результата неизбежно связано либо с дополнительным использованием химических реагентов, либо с введением в технологический процесс дополнительного оборудования.

Известно, что смоляные затруднения могут быть устранены на следующих стадиях технологического процесса [8–13]:

- предварительная подготовка древесины перед введением в технологический поток;
- химико-гидротермическая обработка древесины перед размолотом;
- термхимическая обработка древесины при размолотом;
- химическая обработка древесной массы.

Бесспорно, удалять экстрактивные вещества было бы логичнее из древесной щепы в начале технологического процесса, например с помощью шнека высокого давления, однако его применение в системах для производства ТММ из сосны ограничено вследствие высокой степени повреждения волокна и создания мелочи. Это происходит в основном из-за недостаточного прогрева и смягчения структуры щепы из сосновой древесины во время сжатия при коэффициентах срезающего усилия, получаемых на обычном винтовом прессе высокого давления. В то же время процесс обеспечивает сжатие и переориентацию структуры древесной щепы, что осуществляется с помощью повышенного давления на входе. Вход с повышенным давлением обеспечивает более высокую степень подогрева и смягчения до сжатия при повышенных уровнях давления, что увеличивает степень удаления экстрактивных веществ и дает большее количество менее поврежденного волокна, разделенного по оси. Реализация описанного способа требует установки в технологический поток дополнительного оборудования и разработки технологических режимов после проведения пусконаладочных работ.

Второе и третье направления заключаются в предварительной активирующей обработке щелочными растворами или окислителями перед размолотом, что не требует реконструкции функционирующих цехов по производству массовых видов бумажно-картонной продукции на основе ТММ. Следует заметить, что известные способы не позволяют повысить оптические свойства ТММ и исключить повышенное пенообразование в процессе производстве бумаги и картона

при применении древесного сырья, характеризующегося значительным количеством экстрактивных веществ.

Большое количество работ посвящено химической обработке уже готовой древесной массы в целях борьбы со смоляными затруднениями. Считается, что смоляные затруднения в основном обусловлены смоляными и жирными кислотами, а также их триглицеридами, источником которых являются экстрактивные вещества древесины. Подавление образования отложений основано на использовании трех методов: устранение липкости; фиксация и стабилизация. Первый метод базируется на нейтрализации или создании пограничного слоя вокруг «липких» соединений. Это реализуется путем использования химических веществ щелочного характера и минеральных наполнителей бумажной массы. Наиболее часто применяется тальк, однако его комбинация со смоляными затруднениями может не задерживаться поверхностно-активными веществами бумажного полотна и водорастворимыми полимерами. Метод фиксации основан на применении катионоактивных полимерных коагулянтов. При стабилизации образований исключается возможность агломерации смоляных соединений за счет использования ПАВ и диспергаторов. По нашему мнению, это направление также заслуживает внимания при полном переходе на древесину сосны.

**Цель работы** – разработка научно обоснованных рекомендаций по применению древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в композиции с древесиной ели для получения термомеханической массы при условии минимизации образования отложений на поверхностях оборудования в системе бумажного производства, повышения оптических свойств термомеханической массы и технологичности процесса производства бумажно-картонной продукции на ее основе.

**Основная часть. Материалы и методы исследований.** Объектом исследований являлась технология получения термомеханической массы с использованием в композиции сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Для выбора химических реагентов, способствующих снижению образования отложений на поверхностях оборудования в системе бумажного производства, и, следовательно, повышения технологичности производства бумаги, на первом этапе проводили комплекс экспериментов на модельном соединении. В этом качестве была использована сосновая живичная канифоль, в состав которой входят смоляные кислоты и нейтральные вещества, характерные для древесины хвойных пород. Модельное соединение

помещали в стакан на 100 см<sup>3</sup> и заливали дистиллированной водой в целях получения концентрации от 0,1 до 2 мас. %, которая обусловлена естественным содержанием смолистых соединений в изучаемых древесных породах (ель, сосна). Полученную смесь нагревали до температуры 100°C и выдерживали в течение 10–30 мин, имитируя процессы термического воздействия на древесину, используемые в технологии ТММ. Аналогичным образом процесс вели при введении различных химических реагентов, отличающихся щелочным характером. Об эффективности действия химического реагента на смолистые соединения судили по уменьшению их количества. На основании этого производили выбор химических реагентов для разработки способов их введения при получении ТММ. Процесс осуществляли и в присутствии измельченной древесины, что было обусловлено необходимостью установления влияния расхода химического реагента на оптические показатели древесного сырья, рН водной вытяжки и выхода древесной массы. При проведении комплекса экспериментов на модельном соединении были использованы следующие химические реагенты: гидрокарбонат, сульфит, гидроксид, силикат и фосфаты натрия.

На втором этапе проведения исследований в лабораторных условиях кафедры химической переработки древесины БГТУ было осуществлено моделирование процесса получения ТММ термомеханическим способом по RTS-технологии с сохранением основных режимных параметров, применяемых на РУП «Завод газетной бумаги». В качестве сырья были использованы образцы древесины в форме отпиленных от балансов шайб. Эти образцы подвергались дополнительному измельчению до «спичек». Процесс предварительного нагрева щепы перед промывкой и промывку имитировали путем обработки «спичек» горячей водой (75–85°C) в течение 30 мин. Далее они были подвергнуты термогидролитической обработке в лабораторном автоклаве в целях имитации промышленных условий гидротермической обработки, которую проводили без и в присутствии названных химических реагентов. «Спички» помещались в автоклав в сетчатых стаканах и выдерживались в атмосфере насыщенного пара при давлении порядка 0,6 МПа в течение 60 мин. Образующую при гидротермической обработке воду собирали и анализировали на способность к вспениванию по показателям: пенное число за 30 с и 5 мин, устойчивость и плотность пены в соответствии с ГОСТ 22567.1. После выполнения гидролитической обработки «спички» первоначально подвергали размолу на центробежном размалывающем

аппарате (ЦРА) до 35–45°ШР. Вторую ступень размола проводили до достижения степени помола 70°ШР с использованием лабораторного размалывающего комплекса ЛКР-1. Этот комплекс состоит из гидроразбивателя ЛГ-3 и дисковой мельницы НДМ-3 с возможностью варьирования частоты вращения двигателя мельницы в диапазоне от 1000 до 2500 об/мин<sup>-1</sup>. Дополнительно был смоделирован процесс отбелки ТММ, который осуществляли в герметично закрытой емкости объемом 500 см<sup>3</sup>. В емкость помещали 190 г небеленой ТММ и химические реагенты, используемые для отбелки: Na<sub>2</sub>O(SiO<sub>2</sub>)<sub>n</sub>, NaOH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Концентрации, расходы и последовательность введения добавок были приняты, исходя из технологической документации РУП «Завод газетной бумаги». Затем смесь, перемешивая, нагревали в течение 60 мин на водяной бане при температуре 75°С. После этого отбеленную массу охлаждали и отбирали пробу в количестве 7 г. Затем данное количество массы смешивали со 100 см<sup>3</sup> воды и проводили фильтрацию под вакуумом. Небеленую массу отбирали в том же количестве, также смешивали ее с водой и фильтровали в аналогичных условиях. Затем образцы ТММ высушивали на электросушильной горке и испытывали на показатель белизны с применением фотометра «Колир». При проведении испытаний ТММ по показателям качества использовали действующие стандартизированные методики (ГОСТ 143634, ГОСТ 13525.1, ГОСТ 30437, ГОСТ 8874) и проводили статистическую обработку полученных данных [14]. Изготовление экспериментальных образцов бумаги из полученной ТММ проводили на листоотливном аппарате системы «Rapid-Ketten» (Германия). Полученные образцы бумаги подвергались кондиционированию в стандартных условиях в течение не менее 3 ч, а затем проходили испытания на механическую прочность и белизну.

О возможности образования отложений на поверхностях оборудования в системе бумажного производства судили по содержанию смолистых веществ, количественное содержание которых определяли путем экстрагирования образцов спиртотолуольной смесью (1:1) в течение 6 ч с последующей отгонкой растворителя и высушиванием остатка при температуре (103 ± 2)°С. Поскольку значительное влияние на содержание смолистых веществ в термомеханической массе оказывают смоляные кислоты, то эксперимент дополняли экстрагированием петролейным эфиром в течение 4 ч, так как данный реагент является более селективным по отношению к экстрактивным веществам кислого характера.

*Результаты и их обсуждение.* Результаты первого этапа экспериментов по выбору химических

реагентов показали, что смолистые соединения древесины сосны переходят в водорастворимое состояние в течение 20 мин в случае использования гидрокарбоната, гидроксида и трехзамещенного ортофосфата натрия. Использование сульфита натрия не позволило перевести смолистые соединения древесины сосны в водорастворимое состояние в течение 60 мин, несмотря на его щелочной характер. Кроме того, нагрев сопровождался выделением дурнопахнущих соединений неуставленного характера. Применение силиката натрия позволяло перевести смолистые соединения в водорастворимое состояние в течение 30–40 мин, что ограничивает его использование на стадии размола древесины из-за сравнительно низкой эффективности и возможности образования отложений на размольной гарнитуре. Введение гидрокарбоната натрия привело к снижению белизны небеленой ТММ на 16%. Взаимодействие гидрокарбоната с кислыми компонентами древесины, входящими в ее состав, сопровождается образованием нестабильной угольной кислоты, которая разлагается с выделением углекислого газа. Вышесказанное ограничивает его применение. Использование гидроксида натрия наряду с высокой эффективностью устранения смоляных затруднений влечет к значительному снижению белизны небеленой ТММ – до 25%. При этом использование как гидрокарбоната, так и гидроксида натрия для борьбы со смоляными затруднениями может привести к повышению расходов компонентов отбеливающей системы на основе пероксида водорода. Нами были проанализированы по способности к переводу в водорастворимое состояние различные натриевые производные фосфорной кислоты, а именно одно- и двухзамещенные фосфаты и полифосфат натрия. Однако ярко выраженной способностью обладал только трехзамещенный ортофосфат натрия (ГОСТ 201-76). Особенностью применения данного химического реагента являлось то, что нами было отмечено повышение показателя белизны древесного вещества сосны на 7,5% при полном и быстром переводе смолистых соединений в водорастворимое состояние в течение 10–15 мин. При этом такая закономерность на модельном соединении наблюдалась в интервале изменения расходов от 0,15 до 2% к массе а. с. д. Увеличение расхода ортофосфата натрия с 2 до 5% от массы абсолютно сухой древесины приводит к снижению белизны на 5%, что объясняется высокими значениями рН водного раствора ортофосфата натрия. При этом выявлено, что кроме расхода ортофосфата натрия на показатель белизны влияет и концентрация раствора (табл. 1).

Таблица 1

## Влияние концентрации водного раствора ортофосфата натрия на древесину сосны и сточные воды

Концентрация водного раствора ортофосфата натрия, %	рН		Потеря массы древесины после термической обработки в течение 10 мин, %	Белизна древесного вещества после термической обработки в течение 10 мин, %
	исходный раствор	водная вытяжка после термической обработки древесины в течение 10 мин		
0	5,35	4,77	10,5	28,4
0,04	11,65	6,50	11,1	28,5
0,10	11,83	7,14	12,1	26,2
0,20	12,00	8,39	13,5	23,4
0,40	12,00	9,07	13,2	21,7
0,50	12,00	9,27	14,3	22,9

Из табл. 1 видно, что наилучшие результаты достигаются при концентрации 0,04%. Однако ее использование может вызвать затруднение в дозировании, она также не позволяет достичь нейтральной среды даже на стадии предварительного прогрева древесной щепы. Это не позволит в достаточной мере повысить набухание древесины и интенсифицировать процесс ее размола. В связи с этим дальнейшие исследования были направлены на анализ возможности повышения концентрации ортофосфата натрия до технически возможного в производственных условиях уровня. Результаты эксперимента представлены на рис. 1.

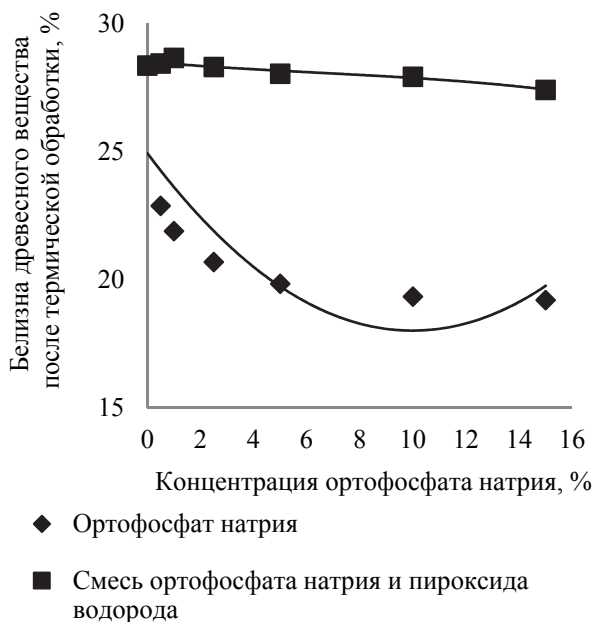


Рис. 1. Влияние ортофосфата натрия на белизну древесного вещества

Анализируя нижнюю кривую, показанную на рис. 1, видим, что при обработке измельченной древесины сосны ортофосфатом натрия концентрацией от 0,04 до 2,5% наблюдается снижение показателя белизны с 28,5 до 20,7%. В пределах

концентраций от 2,5 до 15 мас. % показатель белизны стабилизируется на одном уровне – 19–20%. Это можно объяснить тем, что рН водной вытяжки после термической обработки древесины в течение 10 мин достигает максимальной щелочности и в дальнейшем изменения хромофорных группировок древесины не происходят. Аналогичные закономерности были получены на образцах небеленой бумаги из ТММ.

Кроме того, были проведены исследования по изучению способности ТММ, полученной с введением ортофосфата натрия, к отбелке. Установлено, что его использование, несмотря на несколько пониженную величину показателя белизны небеленой ТММ в сравнении с контрольным образцом, позволяет снизить расход гидроксида натрия, но при этом не приводит к значимому снижению показателя белизны ТММ. Это обусловлено тем, что ортофосфат натрия является химическим реагентом, по значению рН в водной среде подобным гидроксиду натрия, классически применяемому в составе отбеливающей системы. Подтверждением этого являются результаты эксперимента по обработке древесины сосны смесью ортофосфата натрия и пероксида водорода, показанные на рис. 1 (верхняя кривая).

На основании вышесказанного можно рекомендовать к промышленному применению расход безводного ортофосфата натрия 20 кг на 1 т а. с. д. При этом концентрация определяется техническими возможностями цеха по производству ТММ и может варьировать в широком диапазоне. При проведении теоретического расчета расхода ортофосфатом натрия на реакцию нейтрализации смоляных кислот принимали максимально возможное количество смоляных кислот в древесине сосны, равное 5%, и минимальное замещение ионов натрия в ортофосфате натрия. В этом случае расход реагента составляет 2,7% к массе а. с. д. Однако реакция нейтрализации смоляных кислот может протекать с замещением двух и трех ионов натрия в ортофосфате натрия.

В то же время в древесине сосны по среднестатистическим данным содержится около 3% смоляных кислот, а их распределение по профилю ствола неравномерно. В связи с этим реальный расход химического реагента может быть сокращен до 0,8% к массе а. с. д. и требует апробации в промышленных условиях.

Результаты эксперимента, проведенного на модельном соединении, коррелировали с результатами, полученными при имитации процесса изготовления ТММ (табл. 2).

Данные табл. 2 подтверждают выводы относительно эффективности применения химических реагентов, полученных на модельном соединении. Использование гидрокарбоната натрия вызывает снижение как разрывной длины, так и белизны бумаги на основе ТММ. Применение сульфата натрия не оказывает существенного влияния на показатели механической прочности бумаги и положительно отражается на белизне, которая возрастает на 8,7%. Гидроксид и ортофосфат натрия, по нашему мнению, могут быть использованы по отдельности и в комбинации, исходя из сохранения прочностных свойств бумаги. Характеризуя полученные величины показателя белизны небеленой ТММ, можно отметить их низкие значения, что объясняется лабораторными условиями гидротермической обработки древесины. Устранение липкости древесной щепы было зафиксировано органолептически, а также это подтверждают данные табл. 3.

Установлено, что содержание экстрактивных веществ в древесине сосны в 2,3 раза выше, чем в древесине ели (табл. 3). При этом такая закономерность сохраняется на всех стадиях переработки древесины в ТММ (предварительная и гидротермическая обработка, размол). Следует заметить, что в древесной щепе из сосны снижается содержание

смолистых веществ, извлекаемых спирто-толуольной смесью, после гидротермической обработки в присутствии ортофосфата натрия на 78%.

Аналогичные результаты были получены при анализе содержания смоляных кислот, которые в большей степени фиксируются на поверхности древесных волокон по сравнению с другими водонерастворимыми экстрактивными веществами. Их содержание в составе водонерастворимых экстрактивных веществ находится в диапазоне 45–60%. Из табл. 3 также видно, что 37% смоляных кислот связывается с ортофосфатом натрия при гидротермической обработке древесины.

При этом применение ортофосфата натрия существенно на показателе белизны не отразилось по сравнению с гидрокарбонатом и гидроксидом натрия. В связи с тем, что древесина сосны характеризуется большей толщиной стенки волокон по сравнению с древесиной ели (3,0–6,5 мкм против 2,70–3,52 мкм), необходима разработка режимов горячего размола в условиях ее совместного использования с древесиной ели. Исследовали влияние продолжительности размола на второй ступени на степень помола ТММ, изготовленной из монопоры, – сосны. Результаты эксперимента с применением ортофосфата натрия показаны на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что зависимость степени помола ТММ от продолжительности ее размола описывается уравнением второго порядка. Введение химических реагентов щелочного характера (на рис. 2 показан типичный случай) приводит к увеличению продолжительности размола в два раза при неизменных условиях проведения процесса, что связано с уменьшением доли гелицеллюлоз низкой молекулярной фракции и повышенной плотностью древесины сосны в сравнении с елью.

Таблица 2

**Результаты испытаний бумаги, полученной на основе небеленой ТММ из древесины сосны**

Условия гидротермической обработки	Разрывная длина, км	Белизна, %
Без реагента	3,09	20,94
В присутствии гидрокарбоната натрия	2,26	17,63
В присутствии сульфата натрия	2,95	22,77
В присутствии гидроксида натрия	3,17	18,95
В присутствии ортофосфата натрия	3,97	20,03

Таблица 3

**Содержание экстрактивных веществ в образцах древесины сосны после ее гидротермической обработки**

Наименование образца	Содержание экстрактивных веществ, растворимых в петролейном эфире, %	Кислотное число
Гидротермически обработанная древесина	1,75	0,8
Гидротермически обработанная древесина в присутствии ортофосфата натрия	0,27	0,5

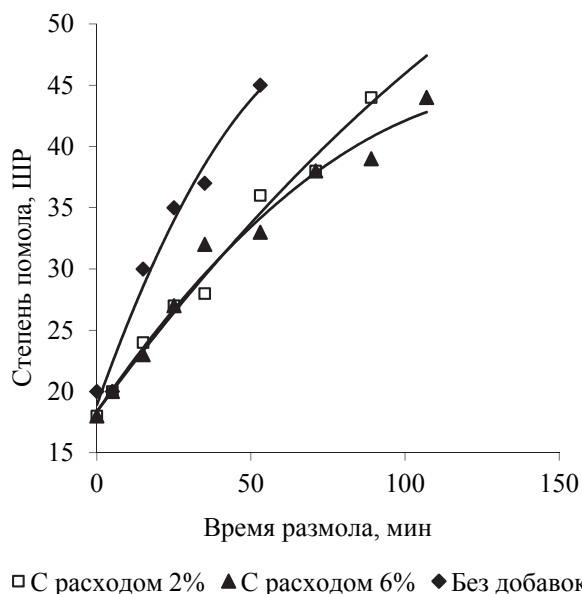


Рис. 2. Влияние продолжительности размола древесины сосны на степень помола ТММ

Это свидетельствует о том, что древесина сосны из-за особенностей ее анатомического и химического строения сложно поддается размолу и, следовательно, использование значительной ее доли в композиции трудно достижимо. Данное предположение подтверждается испытаниями композиций ели и сосны в различных соотношениях без использования химических реагентов (рис. 3).

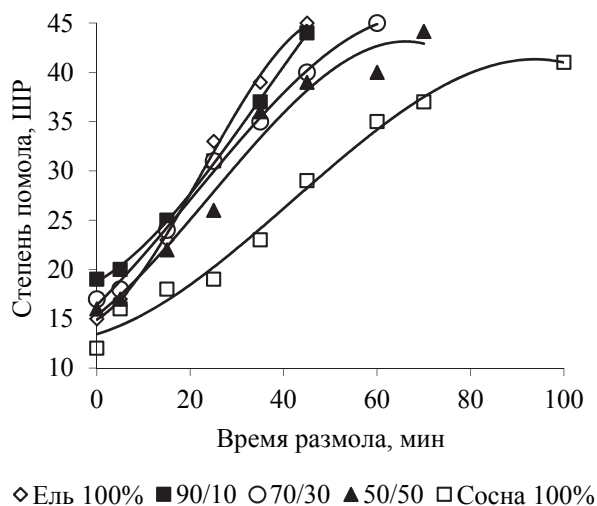


Рис. 3. Влияние продолжительности размола и композиционного состава древесины на степень помола ТММ

Из рис. 3 видно, что ель в связи с низкой плотностью и высокой сорбционной способностью самой древесины и гемицеллюлозной части быстро размалывается и поддается фибрилляции. Не установлено влияния введения

сосны в количестве 10% на размол. Введение сосны в количестве от 30–50% требует изменения режимов размола. Дальнейшее увеличение доли в композиции требует разделения потоков древесины по породам. По нашему мнению, для совместного размола необходимо подбирать древесные породы равной плотности. Так, например, ель хорошо совместима с пихтой, осиной, тополем, а сосна – с березой. Данные варианты смесей позволяют выровнять сорбционную способность как самой древесины, так и ее компонентов по отношению к влаге.

Далее проводили исследования, направленные на установление влияния ортофосфата натрия на размол композиции сосна – ель. Итоги представлены на рис. 4.

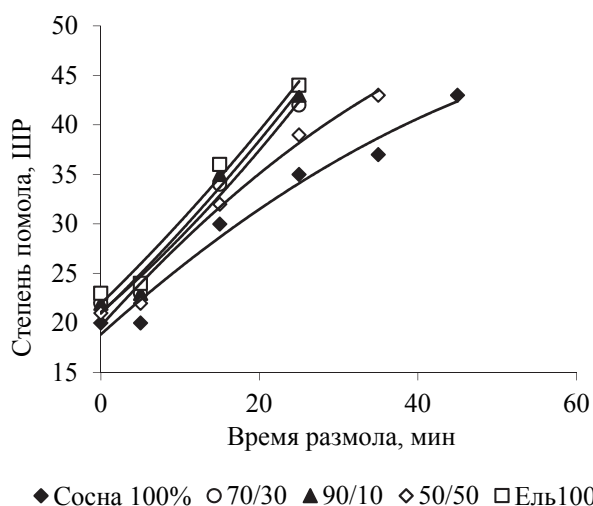


Рис. 4. Влияние продолжительности размола и композиционного состава древесины, обработанной ортофосфатом натрия, на степень помола ТММ

Из рис. 4 также видно, что введение в композицию сосны в количестве более 30% не позволяет достичь сопоставимых значений степени помола по сравнению с монокомпозицией на основе ели. Таким образом, выводы, сделанные нами ранее на основании данных рис. 3 относительно размола, правомерны. Введение ортофосфата натрия позволяет повысить долю древесины сосны в композиции до 30%, поскольку кривые, характеризующие ее содержание от 0 до 30%, друг относительно друга смещены минимально, и это не приведет к увеличению продолжительности гидротермической обработки древесной щепы.

Стоит заметить, что предварительно проведенные исследования показали, что древесина сосны по сравнению с древесиной ели обладает худшей способностью к отбелке. При имитации промышленного режима отбелки в лабораторных условиях белизна бумаги на основе термомеханической массы из древесины ели возростала до 30%,

сосны – до 20%. Использование композиции 70/30 в присутствии ортофосфата натрия не потребовало повышения расходов компонентов отбеливающей системы в лабораторных условиях.

В целях получения дополнительных доказательств целесообразности использования ортофосфата натрия для устранения смоляных затруднений и изучения его технологичности был проведен эксперимент по рассмотрению показателей воды, образуемой при гидротермической обработке древесины. Изучали воду, образуемую в отсутствие и присутствии реагентной обработки древесной щепы. Использовали монокомпозицию на основе сосны, а также смесь ели и сосны в соотношении 70/30. В качестве химических реагентов брали гидроксид и ортофосфат натрия с расходами 1 и 2% к массе а. с. д. соответственно. Результаты эксперимента показаны в табл. 4.

Анализируя табл. 4, приходим к выводу, что количество редуцирующих веществ, общее содержание примесей, содержание взвешенных веществ снижаются при обработке древесины любого исследуемого породного состава ортофосфатом натрия. По сравнению с елью сосна характеризуется более высокими значениями количества редуцирующих веществ, общего содержания примесей, содержания взвешенных веществ. Представленные результаты подтверждают эффективность использования ортофосфата натрия для устранения смоляных затруднений при производстве ТММ и ее дальнейшем применении. Анализ данных по пенообразующим свойствам воды показал, что введение в технологический поток древесины сосны без применения химических реагентов приведет к вспениванию массы (табл. 4). Пенообразование в технологическом потоке может возрастать при применении гидроксида натрия. Из табл. 4 видно, что ортофосфат натрия в значительной мере способствует снижению пенообразования: пенное число и устойчивость пены снижаются до 50%, плотность пены – до 12%.

**Заключение.** Вовлечению в переработку на ТММ сосны обыкновенной, широко произрастающей на территории Республики Беларусь, способствует обработка на стадии предварительной подготовки и / или термогидролитической обработки древесной композиции трехзамещенным ортофосфатом натрия (ГОСТ 201-76) с расходом до 2% к массе а. с. д. Это позволяет повысить технологичность производства бумаги за счет предотвращения образования отложений на поверхностях оборудования в системе бумажного производства (содержание экстрактивных веществ снижается до 28,9%) и снижения устойчивости пены от 13,6 до 17,7% при сохранении показателей механической прочности бумаги на основе ТММ и увеличении ее белизны до 10,5%. Введение древесины сосны в технологический поток совместно с древесиной ели возможно в количестве до 30% без изменения параметров горячего размола древесного сырья. По нашему мнению, полученные результаты объясняются тем, что использование щелочного ортофосфата натрия или калия на стадиях предварительной подготовки и гидротермической обработки приводит, с одной стороны, к получению древесной массы требуемого качества за счет взаимодействия с лигнином и полисахаридами, с другой – с экстрактивными веществами древесины кислой природы. Следует отметить, эффективность предлагаемого технического решения будет способствовать длительному кондиционированию древесины перед подачей в технологический поток.

Применение результатов исследований на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности позволит расширить сырьевую базу для производства древесной массы путем использования сосны обыкновенной, а также других широко районированных на территории Республики Беларусь древесных пород с высоким содержанием экстрактивных веществ (например, березы, ольхи, тополя).

Таблица 4

**Характеристика вод, образующихся при гидротермической обработке древесины**

Наименование показателя	Композиционный состав					
	ель / сосна без обработки	ель / сосна, обработанные 1%-ным NaOH	ель / сосна, обработанные 2%-ным Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	сосна без обработки	сосна, обработанная 2%-ным Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	сосна, обработанная 6%-ным Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
Массовая доля редуцирующих веществ, %	0,39	0,14	0,11	0,69	0,17	0,07
Общее содержание примесей, г/л	10,28	6,43	7,15	16,20	11,19	13,63
Содержание взвешенных веществ, г/л	0,16	0,12	0,13	0,36	0,07	0,25
Пенное число через 30 с, мм	8,7	15,7	7,0	10,7	7,3	16,0
Пенное число через 5 мин, мм	4,3	8,7	2,3	6,7	3,3	5,0
Устойчивость пены, %	50,0	55,3	33,3	62,5	45,5	31,3
Плотность пены	0,1629	0,1414	0,1287	0,1309	0,1277	0,1157



### Литература

1. Global production and trade of forest products in 2017: Statistiques des produits forestiers // FAO [Электронный ресурс]. URL <http://www.fao.org/forestry/statistics/80938/en/> (дата обращения: 15.03.2019).
2. Механическая древесная масса – полуфабрикат XXI века. Развитие технологии и оборудования, расширение производства и применения // ЛесПромИнформ. № 8 (39). 2006 [Электронный ресурс]. URL <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1267> (дата обращения 15.03.2019).
3. Соловьева Т. В., Шульга В. Э. Технология древесной массы из щепы. Минск: БГТУ, 2008. 136 с.
4. Пузырев С. С. Современная технология механической массы. В 2 т. Т. 2. Механическая масса из щепы. СПб.: ВЕСП, 1996. 236 с.
5. Азаров В. И., Буров А. В., Оболенская А. В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб.: Лань, 2010. 624 с.
6. Лесной фонд [Электронный ресурс]. URL <https://www.mlh.by/our-main-activites/forestry/forests> (дата обращения: 15.03.2019).
7. Мониторинг лесов [Электронный ресурс]. URL <http://www.nsmos.by/uploads/archive/Sborniki/7%20FOREST%20Monitoring> (дата обращения: 01.04.2019).
8. Способ получения сульфатной целлюлозы: пат. РФ № 2524904, МПК D21C3/04 / А. Д. Сергеев, Э. Л. Аким, Ю. Г. Мандре, М. В. Коваленко, Л. Г. Махотина; патентообладатель ОАО «Группа «Илим» (Российская Федерация); № 2013119079/12; заявл. 25.04.2013; опубл. 10.08.2014. Бюл. № 22. 4 с.
9. Целлюлозные добавки для уменьшения содержания смолы в крафт-целлюлозе: пат. РФ № 2502839, МПК D21C9/08 / Д. Э. Шароян; патентообладатель ГЕРКУЛЕС ИНКОРПОРЕЙТЕД (США); № 2011109344; заявл. 20.09.2011; опубл. 27.12.2013. Бюл. № 6. 8 с.
10. Паламарчук Н. Ф. Исследование режимов получения химико-термомеханической древесной массы на ее качество и фракционный состав // Химия растительного сырья. 2012. № 4. С. 201–204.
11. Способ получения бумажной массы: пат. РФ № 2445413, МПК D21B1/16, D21C9/153 / К. Кале, Ж. Осташи; патентообладатель АРКЕМА ФРАНС (Франция), АЙ ТИ ТИ МЭНЬЮФЭКЧУРИНГ ЭНТЕРПРАЙЗИЗ ИНК (США); № 2011120788/12; заявл. 23.10.2009; опубл. 20.03.2012. Бюл. № 2. 6 с.
12. Новые препараты для борьбы со смоляными затруднениями в сульфитно-целлюлозном производстве / А. В. Синчук [и др.] // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2008. № 9. С. 58–63.
13. Контроль отложений: пат. РФ 2471031, МПК D21C9/08 / К. Такала, П. Культалаhti; патентообладатель БИМ КЕМИ АБ (Швеция); № 2010124948/12; заявл. 18.11.2008; опубл. 27.12.2011. Бюл. № 2. 4 с.
14. Пен Р. З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства. Красноярск: КГУ, 1982. 192 с.

### References

1. Global production and trade of forest products in 2017: Statistiques des produits forestiers. FAO. Available at: <https://www.mlh.by/our-main-activites/forestry/forests> (accessed 2.09.2019).
2. Mechanical wood pulp – a semi-finished product of the XXI-century. Development of technology and equipment, expansion of production and use. *LesPromInform* [LesPromInform: Professional woodworking journal], 2006, no. 8 (39) (In Russian). Available at: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1267> (accessed 15.03.2019).
3. Solov'yeva T. V., Shul'ga V. E. *Tekhnologiya drevesnoy massy iz shchepy* [Pulp technology from wood chips]. Minsk, BG TU Publ., 2008. 136 p.
4. Puzyrev S. S. *Sovremennaya tekhnologiya mekhanicheskoy massy. T. 2. Mekhanicheskaya massa iz shchepy* [Modern technology of mechanical mass. Vol. 2. The mechanical mass of chips]. St. Petersburg, VESP Publ., 1996. 236 p.
5. Azarov V. I., Burov A. V., Obolenskaya A. V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Chemistry of wood and synthetic polymer]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2010. 624 p.
6. *Lesnoy fond* [Forest Fund]. Available at: <https://www.mlh.by/our-main-activites/forestry/forests> (accessed 15.03.2019).
7. *Monitoring lesov* [Forest monitoring]. Available at: <http://www.nsmos.by/uploads/archive/Sborniki/7%20FOREST%20Monitoring> (accessed 01.04.2019).
8. Sergeev A. D., Akim E. L., Mandre Yu. G., Kovalenko M. V., Makhotina L. G. *Sposob polucheniya sul'fatnoy tsellyulozy* [Method of producing sulphate pulp]. Patent RF, no. 2524904, 2014.
9. Sharoyan D. E. *Tsellyuloznye dobavki dlya umen'sheniya sodержaniya smoly v kraft-tsellyuloze* [Cellulose additives for reducing resin content in kraft pulp]. Patent RF, no. 2502839, 2013.
10. Palamarchuk N. F. The study of the modes of obtaining chemical-thermomechanical pulp on its quality and fractional composition. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2012, no. 4, pp. 201–204 (In Russian).

11. Kale K., Ostashi Zh. *Sposob polucheniya bumazhnoy massy* [Method of producing paper pulp]. Patent RF, no. 2445413, 2012.

12. Sinchuk A. V., Mutovina, M. G., Fadeev, B. A., Azanova, G. N., Podshivalov, I. G., Gunin, V. A., Marakov, V. Yu. New drugs to deal with tar difficulties in sulphite-cellulose production. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Cellulose. Paper. Cardboard], 2008, no. 9, pp. 58–63 (In Russian).

13. Takala K., Kul'talakhti P. *Kontrol' otlozheniy* [Sediment control]. Patent RF, no. 2010124948/12, 2011.

14. Pen R. Z. *Statisticheskiye metody modelirovaniya i optimizatsii protsessov tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva* [Statistical methods for modeling and optimization of pulp and paper production processes]. Krasnoyarsk, KGU Publ., 1982. 192 p.

### Информация об авторах

**Дубоделова Екатерина Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры физико-химических методов сертификации продукции. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: katedubodelova@tut.by

**Шпак Сергей Иванович** – кандидат технических наук, доцент кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: spak\_s@belstu.by

**Пенкин Антон Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: penkin@belstu.by

**Герман Наталия Александровна** – кандидат технических наук, ассистент кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: natalka\_wow@mail.ru

**Соловьева Тамара Владимировна** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: solovyova\_tv@belstu.by

### Information about the authors

**Dubodelova Ekaterina Vladimirovna** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Physical and Chemical Methods of Products Certification. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: katedubodelova@tut.by

**Shpak Sergey Ivanovich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: spak\_s@belstu.by

**Penkin Anton Anatol'yevich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: penkin@belstu.by

**Herman Natalia Alexandrovna** – PhD (Engineering), assistant lecturer, the Department of Chemical processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: natalka\_wow@mail.ru

**Solov'yeva Tamara Vladimirovna** – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: solovyova\_tv@belstu.by

Поступила 28.10.2019