

УДК 676.038:676.017.44

**А. А. Пенкин**

Белорусский государственный технологический университет

**ПЕРСПЕКТИВЫ РЕЦИКЛИНГА ТРУДНОРАЗВОЛОКНЯЕМОЙ МАКУЛАТУРЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ ПОЛИАМИДАМИН-ЭПИХЛОРИДРИНОВЫЕ СМОЛЫ**

В статье выполнен анализ тенденций сырьевого рынка вторичного волокнистого сырья и имеющихся в Республике Беларусь ресурсов трудноразволокняемой макулатуры, содержащей влагопрочные полиамидамин-эпихлоридриновые (РАЕ) смолы.

Установлено, что растущий спрос и высокие цены на массово используемые марки макулатуры, непрерывное совершенствование экологического законодательства, необходимость рационального использования вторичных материальных ресурсов, а также расширяющаяся сырьевая база вторичного трудноразволокняемого сырья обуславливают благоприятные перспективы его рециклинга. Отечественная сырьевая база вторичного влагопрочного сырья достаточно разнообразна и включает технологические отходы от производства и переработки следующих видов бумаги: бумаги документной, бумаги упаковочной с барьерными свойствами, бумаги для изготовления обоев на флизелиновой основе, бумаги-основы декоративных облицовочных материалов, бумаги и изделий санитарно-гигиенического назначения.

Показано, что одним из перспективных направлений интенсификации рециклинга трудноразволокняемой макулатуры является применение комбинированных активаторов роспуска, которые способствуют повышению скорости процесса разволокнения макулатуры, максимальному сохранению бумагообразующих свойств вторичных волокон, предотвращению щелочного потемнения бумажной массы. В результате достигается значительная экономия электроэнергии, повышение производительности оборудования и обеспечивается возможность относительно быстрой переработки трудноразволокняемой макулатуры с целью замены ею более дорогостоящих марок макулатуры в составе бумажной продукции без ухудшения качества последней.

**Ключевые слова:** влагопрочная макулатура, рециклинг, роспуск, комбинированные активаторы.

**Для цитирования:** Пенкин А. А. Перспективы рециклинга трудноразволокняемой макулатуры, содержащей полиамидамин-эпихлоридриновые смолы // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2021. № 2. С. 159–165.

**A. A. Penkin**

Belarusian State Technological University

**FUTURE PERSPECTIVES IN RECYCLING OF WET-STRENGTH PAPER CONTAINING POLYAMIDOAMINE-EPICHLOROHYDRIN RESINS**

This article presents analysis of trends in the secondary fiber market of Republic of Belarus with a focus on wet-strength recovered paper and effective methods of its recycling.

It is noted that the secondary fiber market is currently characterized by a high cost and demand for common types of waste paper. As the cost and demand for secondary fiber increases, paper made with permanent wet-strength polyamidoamine-epichlorohydrin (PAE) resins becomes an important source of fiber. Another characteristic feature of the secondary fiber market is the steadily increasing amounts of wet-strength paper waste, which currently includes such paper grades as tissue, security paper, paper for decorative laminates, base paper of wallpaper, oil and grease resistance wrapping paper.

Recycling of wet-strength recovered paper often require a use of oxidative repulping aids. Thermal and alkali-activated peroxysulfates (peroxydisulfates or peroxymonosulfate) are proven eco-friendly repulping reagents that effectively defibered wet-strength paper. It was found that a further increase in the efficiency of peroxysulfates or other peroxy compounds can be achieved by combining their thermo-alkaline activation with chemical activators or co-oxidizers.

**Key words:** wet-strength paper, recycling, repulping aids, activated peroxosulfates.

**For citation:** A. A. Penkin Future perspectives in recycling of wet-strength paper containing polyamidoamine-epichlorohydrin resins. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2021, no. 2 (247), pp. 159–165 (In Russian).

**Введение.** Вторичное волокнистое сырье – макулатура представляет собой бумагу, картон или изделия из них, которые в виде отходов производства или после использования могут быть снова переработаны и использованы для изготовления бумаги, картона и другой продукции [1, 2].

Макулатура различных марок продолжает становиться все более значимым волокнистым полуфабрикатом, в целом составляя в настоящее время более половины мирового объема потребления всех видов волокнистого сырья [3]. Наряду с неуклонным ростом объемов переработки макулатуры отмечается также и расширение областей ее применения. В частности, макулатура находит применение как в производстве разнообразных упаковочных и санитарно-гигиенических видов бумаги и картона, газетной бумаги, так и в секторе более высококачественных, графических видов бумаги [4]. Можно ожидать, что эти тенденции с большой вероятностью не только сохранятся, но и усилятся в ближайшем десятилетии. Об этом свидетельствуют, например, данные Европейского обзора рынка вторичного волокна 2019 г. (European outlook of the recovered fiber market), согласно которому в странах Западной Европы до 2030 г. прогнозируется ежегодное снижение доли используемых первичных волокнистых полуфабрикатов на 0,3% в год и увеличение доли макулатуры на 0,5% в год, а в странах Восточной Европы – рост использования макулатуры более чем на 4% в год [5]. Также декларируется, что степень рециклинга бумажной и картонной упаковки в странах Европейского союза, согласно Правилам ЕС в отношении упаковки и отходов упаковки, к 2025 г. должна достичь 75%, а к 2030 г. – 85% [6].

Основными причинами роста объемов сбора и переработки макулатуры являются, в первую очередь, получение существенных экономических выгод, а также ощутимого экологического эффекта от использования вторичного волокна взамен первичных волокнистых полуфабрикатов. При этом использование макулатуры позволяет не просто сократить себестоимость картонно-бумажной продукции на 10–15% [7], а значительно уменьшить ее углеродный след и осуществить переход целлюлозно-бумажной отрасли к модели экономики замкнутого цикла, являющейся одной из важнейших составляющих в достижении целей устойчивого развития [7, 8].

Повышенный интерес к макулатурному сырью отмечается не только на мировом, но и на региональном уровне. В частности, в Российской Федерации в течение ряда последних лет на фоне политики импортозамещения вводились

дополнительные мощности по производству гофрокартона/тарного картона, являющегося важнейшим потребителем вторичного волокна, например, в 2018 г. – 0,5 млрд м<sup>2</sup>, в 2019 г. – 1,1 млрд м<sup>2</sup>. В результате этого уже в 2019 г. получить достаточный объем макулатуры для загрузки мощностей стало невозможно [7]. Дефицит макулатурного сырья в еще большей степени обострился в 2020 г. в результате ограничительных мер по причине COVID-19, вызвавших как уменьшение объемов образования макулатуры, так и ее сбора, а также усложнение логистических цепочек доставки потребителю [7, 9]. Особенно это характерно для макулатуры «высоких марок» – отходов бумаги для письма и печати, книжно-журнальной макулатуры [7]. По состоянию на начало 2021 г. суммарная установленная мощность технологических линий по переработке макулатуры в Российской Федерации достигла 5,8 млн т/г, объем сбора макулатуры не превышал 4,5 млн т/г. Таким образом, сложившийся дефицит предложения макулатуры у крупнейшего торгового партнера Республики Беларусь – Российской Федерации по состоянию на начало 2021 г. может быть оценен на уровне 1,3–1,4 млн т/г [10]. В результате высокий спрос на макулатурное сырье со стороны производителей картонно-бумажной продукции в условиях недостаточного предложения заготовителями макулатуры вызвал кратное повышение ее стоимости – в 3 и более раза.

**Основная часть.** Резкий рост стоимости макулатуры в настоящее время в полной мере характерен и для сырьевого рынка Республики Беларусь, однако все же внутренняя цена на макулатуру в республике ниже, чем на экспортных рынках. Вследствие высокого спроса на макулатуру на внешних рынках и отмеченную разницу в цене в 2020 г. в Республике Беларусь произошло трехкратное увеличение экспорта макулатурного сырья к уровню 2019 г. Массовый вывоз макулатуры за пределы республики привел к тому, что макулатуроперерабатывающие предприятия республики и концерна «Беллесбумпром» испытали острый дефицит в сырье для производства картонно-бумажной и упаковочной продукции.

Учитывая, что макулатура для многих предприятий отрасли является единственным и стратегическим сырьем для производства картонно-бумажной продукции с высокой добавленной стоимостью, 5 мая 2021 г. было принято постановление Совета Министров Республики Беларусь № 263 «О лицензировании экспорта регенерируемых бумаги или картона (макулатуры и отходов)» [11]. Введение данных временных ограничительных мер будет способствовать сокращению необоснованного экспорта макулатуры

из страны и обеспечению доступности сырьевых ресурсов для ритмичной работы отечественных картонно-бумажных предприятий отрасли. Необходимо отметить, что в последние годы подобные ограничительные меры в Республике Беларусь вводились неоднократно (в 2020 г., дважды в 2018, 2017 и в 2016 г.). Это указывает на системный характер проблемы, связанной с обеспеченностью предприятий макулатурным сырьем в требуемом количестве.

В условиях растущего спроса и высоких цен на массово используемые марки макулатурного сырья, непрерывного совершенствования экологического законодательства и необходимости рационального использования вторичных материальных ресурсов особую значимость приобретают вопросы эффективного рециклинга тех марок макулатуры, которые на сегодняшний день перерабатываются с трудом или не перерабатываются вообще.

К трудноразволокняемой макулатуре относятся отходы производства и потребления различных видов бумаги и картона, а также изделий на их основе: бумага и картон, изготовленные с применением влагопрочных смол – влагопрочная макулатура, бумага с односторонним или двухсторонним полимерным покрытием (полиэтиленовым, полипропиленовым, поливинилхлоридным, латексным и пр.), кашированная фольгой, многослойная упаковка типа тетрапак, силиконизированная антиадгезионная бумага, пришедшие в негодность денежные знаки и др. [12].

Переработка трудноразволокняемой макулатуры в виде бумаги с покрытием, силиконизированной бумаги, упаковки тетрапак требует не только надлежащей системы организации заготовки данного макулатурного сырья, но и специальных технологических линий по ее рециклингу, достаточно дорогостоящих. Например, во втором квартале 2021 г. в Республике Беларусь на базе ОАО «Пуховичская картонная фабрика» планируется завершение проекта стоимостью около 2 млн евро, который предусматривает организацию технологического процесса переработки макулатуры на основе упаковки тетрапак [13].

Рециклинг трудноразволокняемой влагопрочной макулатуры с точки зрения аппаратурного оформления является менее требовательным, поскольку он может быть реализован на базе уже имеющегося производственного оборудования или без существенной реконструкции технологического потока. В данном случае технико-экономическая эффективность переработки влагопрочной макулатуры во многом определяется видом и количеством используемых специальных химикатов, а также температурно-щелочными условиями их применения.

Актуальность эффективного рециклинга влагопрочной макулатуры, на наш взгляд, определяется не только высокими ценами на массово используемые марки макулатуры, возрастающими потребностями производителей в данном виде сырья, важными экологическими аспектами, но и связана с расширяющейся сырьевой базой влагопрочной макулатуры, как на мировом и региональном уровнях, так и на местном уровне.

Отмечается [14], что в долгосрочной перспективе наиболее интенсивный рост мировых объемов производства будет приходиться на санитарно-гигиенические и упаковочные виды бумаги и картона. Так, при среднем прогнозируемом до 2030 г. росте мирового спроса на бумагу и картон в целом на величину около 1% в год ежегодное увеличение спроса на санитарно-гигиенические виды бумаги ожидается на уровне около 3% [3]. При этом многие санитарно-гигиенические, а также некоторые упаковочные виды бумаги и картона выпускаются с использованием влагопрочных, в основном РАЕ, смол, обеспечивающих им необходимые эксплуатационные свойства за счет повышения прочности во влажном состоянии [15–17].

В Республике Беларусь также можно констатировать неуклонное расширение ассортимента и объемов производства бумаги с использованием влагопрочных РАЕ-смол в течение ряда последних лет, а растущие количества образующихся технологических отходов требуют применения эффективных способов их рециклинга.

В настоящее время бумагу с использованием влагопрочных РАЕ-смол выпускают в Республике Беларусь на нескольких предприятиях:

- УП «Бумажная фабрика» Гознака;
- РУП «Завод газетной бумаги»;
- ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин»;
- ОАО «Бумажная фабрика «Спартак»;
- Добрушская бумажная фабрика «Герой труда»;
- ООО «Мюникс».

На УП «Бумажная фабрика» Гознака традиционно с применением влагопрочных смол выпускаются различные марки бумаги документной. В 2015 г. на предприятии был организован выпуск нового вида продукции – бумаги упаковочной с барьерными свойствами (ТУ ВУ 600017868.081). Она предназначена для ручного и автоматического упаковывания пищевых продуктов, бакалейных и парфюмерно-косметических товаров, медицинских препаратов, промышленных товаров и другой продукции, для выстилания и изготовления комбинированной упаковки, для каширования алюминиевой

фольгой. В зависимости от назначения и показателей качества бумага изготавливается влагопрочной или жировлагостойкой. Технологическими особенностями этой бумаги являются использование в композиционном составе бумажной массы влагопрочной РАЕ-смолы, а также дополнительная поверхностная проклейка бумаги специальным составом для придания высоких барьерных свойств.

На РУП «Завод газетной бумаги» (г. Шклов) в 2016 г. введена в эксплуатацию вторая бумагоделательная машина в рамках реализации проекта «Создание производства бумаги-основы декоративных облицовочных материалов, мощность 30 тыс. тонн в год». Бумага-основа декоративных облицовочных материалов (ТУ ВУ 790282162.011–2015) предназначена для получения декоративных пленочных материалов, используемых для отделки древесных плит. Она имеет сложный композиционный состав по волокну и минеральным компонентам, а также содержит большое количество влагопрочной РАЕ-смолы, обеспечивающей безобрывность при прохождении пропиточной машины в процессе изготовления из нее пленочных материалов для ламинирования древесных плит. Первые партии бумаги были получены в 2020 г., в настоящее время осуществляются технологические работы по освоению проектных мощностей.

Добрушская бумажная фабрика «Герой труда», входящая в холдинг «Белорусские обои», выпускает широкий ассортимент бумаги, к числу которых относятся различные марки обоевой бумаги, включая бумагу для изготовления обоев на флизелиновой основе (ТУ ВУ 100063724.035–2012). В композиционный состав последней для придания необходимых функциональных свойств конечной продукции вводят синтетические волокна и влагопрочную РАЕ-смолу.

ОАО «Слонимский картонно-бумажный завод «Альбертин» и ОАО «Бумажная фабрика «Спартак» являются крупнейшими переработчиками макулатурного сырья в Республике Беларусь и предприятиями, выпускающими санитарно-гигиенические и упаковочные виды бумаги и картона, включая влагопрочную бумагу для изготовления полотенец, салфеток, носовых платков и изделия из нее. Еще одним предприятием, специализирующемся на выпуске санитарно-гигиенических видов бумаги, как обычных, так и влагопрочных, является ООО «Мюникс». Помимо бумаги-основы для изготовления полотенец и салфеток со средней влагопрочностью до 20–25% оно выпускает также бумагу-основу с высокой влагопрочностью – до 35–40%, предназначенную для поддержания гигиены вымени крупного рогатого

скота в животноводческом комплексе. Необходимые значения прочности во влажном состоянии для бумаги-основы и изделий санитарно-гигиенического назначения достигаются на перечисленных предприятиях путем использования влагопрочных РАЕ-смол.

Анализ предприятий Республики Беларусь, выпускающих влагопрочные виды бумаги, свидетельствует о том, что отечественная база вторичного влагопрочного сырья достаточно широка, разнородна и включает технологические отходы от производства и переработки следующих видов бумаги: документной, упаковочной с барьерными свойствами, для изготовления обоев на флизелиновой основе, бумаги-основы декоративных облицовочных материалов, бумаги и изделий санитарно-гигиенического назначения. Каждый из этих вторичных волоконистых материалов имеет свои особенности композиционного состава, структуры листа, сорбционных свойств, отличается применяемыми вспомогательными веществами и содержанием влагопрочных смол, имеет различные значения показателей разрушающего усилия во влажном состоянии и влагопрочности.

В настоящее время образующиеся на предприятиях отрасли влагопрочные технологические отходы от производства и переработки бумаги либо с трудом и длительно перерабатываются, либо накапливаются на внутренних площадках. Поэтому разработка эффективных способов рециклинга влагопрочной макулатуры имеет высокую практическую значимость.

Обращаясь к мировому опыту в области переработки влагопрочной макулатуры можно отметить, что с целью интенсификации разволокнения макулатуры на первичной и важнейшей стадии ее рециклинга – стадии роспуска в гидроразбивателе – используются различные вспомогательные химикаты, вызывающие окислительную деструкцию влагопрочной РАЕ-смолы [15, 18, 19].

Эффективными химикатами для ускорения роспуска влагопрочной макулатуры долгое время являлись гипохлориты натрия  $\text{NaClO}$  или кальция  $\text{Ca(ClO)}_2$ , используемые в кислой или щелочной среде [19–22]. Однако их применение сопровождается образованием в процессе роспуска макулатуры и последующим накоплением в сточных водах бумажного производства таких токсичных веществ, как хлороформ, тетрахлордифенилоксидин, адсорбируемые органические галогениды [12, 21, 22]. Ввиду возрастающих экологических требований гипохлориты впоследствии были заменены другими более экологичными бесхлорными окислителями – пероксосульфатами щелочных металлов [21–23].

Пероксосульфаты в определенных температурно-щелочных условиях, способствующих их активации, являются достаточно эффективными активаторами роспуска влагопрочной макулатуры, но в то же время они уступают по скорости роспуска отмеченным выше гипохлоритам [19, 23].

Одним из перспективных направлений интенсификации рециклинга трудноразволокняемой макулатуры, на наш взгляд, является повышение эффективности пероксосульфатов или других пероксосоединений путем совмещения их температурно-щелочной активации с химическими методами активации. При этом в качестве химического компонента целесообразно использовать вещества, которые обладают необходимым окислительным потенциалом, то есть способные вызывать окислительную деструкцию влагопрочной РАЕ-смолы. Применение комбинированных активаторов роспуска на базе системы окислителей будет способствовать повышению скорости процесса роспуска трудноразволокняемой макулатуры, максимальному сохранению бумагообразующих свойств вторичных волокон и предотвращать щелочное потемнение бумажной массы. В случае рециклинга трудноразволокняемой макулатуры с низкой поверхностной впитываемостью воды (высокой степенью проклейки) ускоренный транспорт жидкой фазы, содержащей комбинированные активаторы роспуска, может достигаться за счет использования в процессе роспуска поверхностно-активных веществ, улучшающих смачивание поверхности перерабатываемого вторичного сырья.

В качестве примера, подтверждающего высокую эффективность комбинированных активаторов роспуска, можно привести результаты внедрения на УП «Бумажная фабрика» Гознака в 2020 г. нового способа роспуска влагопрочной макулатуры (авторы: Пенкин А. А. и др.). На предприятии организован эффективный рециклинг трудноразволокняемой макулатуры в виде

технологических отходов производства различных марок бумаги документной, бумаги упаковочной с барьерными свойствами на обеих технологических потоках. При этом продолжительность роспуска трудноразволокняемой макулатуры на потоке низкой концентрации в среднем сокращена в 2 раза, на потоке высокой концентрации переработка влагопрочного сырья освоена впервые. В результате достигнута значительная экономия электроэнергии, повышение производительности оборудования и возможность относительно быстрой переработки дополнительных количеств трудноразволокняемой макулатуры с целью замены ею более дорогостоящих марок макулатуры в композиционном составе выпускаемой на предприятии бумажной продукции без ухудшения качества последней.

**Заключение.** Растущий спрос и высокие цены на массово используемые марки макулатуры, непрерывное совершенствование экологического законодательства, необходимость рационального использования вторичных материальных ресурсов, а также расширяющаяся сырьевая база вторичного трудноразволокняемого сырья обеспечивают благоприятные перспективы его рециклинга.

Технико-экономическая эффективность и продолжительность процесса рециклинга влагопрочной макулатуры, содержащей РАЕ-смолы, во многом определяется видом и количеством используемых специальных химикатов – активаторов роспуска, а также температурно-щелочными условиями их применения.

Одним из перспективных направлений интенсификации рециклинга трудноразволокняемой макулатуры является применение комбинированных активаторов роспуска, которые способствуют повышению скорости процесса разволокнения макулатуры, максимальному сохранению бумагообразующих свойств вторичных волокон, предотвращению щелочного потемнения бумажной массы.

### Список литературы

1. Пузырёв С. С. Ресурсосберегающая технология переработки макулатуры. Часть 1 // ЛесПромИнформ. 2006. № 3 (34). С. 104–109.
2. Paper, board, pulps and related terms – Vocabulary – Part 4: Paper and board grades and converted products: ISO 4046-4:2016. Geneva, ISO Central Secretariat, 2016. 36 p.
3. Suhonen T., Oksanen N. Future outlook for the forest industry [Electronic resource] // Swedish Association of Pulp and Paper Engineers (SPCI). 2016. Convention. URL: [http://www.spci.se/shared/files/SPCI\\_forest\\_industry\\_future\\_scenarios\\_FINAL.pdf](http://www.spci.se/shared/files/SPCI_forest_industry_future_scenarios_FINAL.pdf) (date of access: 03.03.2017).
4. Пузырёв С. С. Ресурсосберегающая технология переработки макулатуры. Часть 2 // ЛесПромИнформ. 2006. № 5 (36). С. 90–97.
5. Lindborg H. European outlook on the recovered fiber market [Electronic resource] // Recycling today. 2019. May 31. URL: <https://www.recyclingtoday.com/article/european-outlook-on-the-recovered-fiber-market/> (date of access: 03.04.2021).

6. Packaging waste. EU rules on packaging and packaging waste, including design and waste management [Electronic resource] // European Commission. 2018. URL: [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/packaging-waste\\_en#ecl-inpage-512](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/packaging-waste_en#ecl-inpage-512) (date of access: 03.05.2021).
7. Вильде О. Макулатурный потенциал. Что сдерживает переработку вторсырья [Электронный ресурс] // СБЕР Про Медиа. 2020. URL: <https://sber.pro/publication/makulturnyi-potentsial-cto-sderzhivaet-pererabotku-vtorsyrya> (дата обращения: 03.04.2021).
8. Better Practices, Better Planet 2020 Sustainability Report [Electronic resource] // American Forest and Paper Association. 2020. URL: [https://sustainability.afandpa.org/wp-content/uploads/2020/07/AFPA\\_2020\\_Sustainability\\_Report-web.pdf?utm\\_source=website&utm\\_medium=button&utm\\_campaign=sustainability](https://sustainability.afandpa.org/wp-content/uploads/2020/07/AFPA_2020_Sustainability_Report-web.pdf?utm_source=website&utm_medium=button&utm_campaign=sustainability) (date of access: 03.05.2021).
9. Рынок тарного картона [Электронный ресурс] // Высшая школа экономики Национального исследовательского университета. 2020. URL: [https://dcenter.hse.ru/data/2021/02/23/1393504243/Рынок\\_тарного\\_картона-2020.pdf](https://dcenter.hse.ru/data/2021/02/23/1393504243/Рынок_тарного_картона-2020.pdf) (дата обращения: 03.05.2021).
10. Российские переработчики макулатуры обратились к главе правительства [Электронный ресурс] // Ассоциация «Лига переработчиков макулатуры». 2021. URL: <https://www.liga-pm.ru/novosti/rossijskie-pererabotchiki-makulaturyi-obratilis-k-glave-pravitelstva.html> (дата обращения: 03.05.2021).
11. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 5 мая 2021 г. № 263 «О лицензировании экспорта регенируемых бумаги или картона (макулатуры и отходов)» [Электронный ресурс] // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. 2021. 7 мая. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100263&p1=1> (дата обращения: 08.05.2021).
12. Особенности переработки трудноразволокняемой макулатуры / С. С. Пузырёв [и др.] // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2006. № 10. С. 40–44.
13. Ануфриева О. Тетрапак начнут перерабатывать в Беларуси [Электронный ресурс] // Издательский дом «Звезда». 2020. URL: <https://zvezda.by/ru/news/20201208/1607417947-tetrapak-nachnut-pererabatyvat-v-belarusi> (дата обращения: 04.05.2021).
14. Effect of pulp properties, drying technology, and sustainability on bath tissue performance and shelf price / Yuhan Wang [et al.] // BioResources. 2019. Vol. 14, no. 4. P. 9410–9428.
15. Paper strength development and recyclability with polyamideamine-epichlorohydrin (PAE) / Su Jielong [et al.] // BioResources. 2012. Vol. 7, no. 1. P. 913–924.
16. Obokata T., Isogai A. The mechanism of wet-strength development of cellulose sheets prepared with polyamideamine-epichlorohydrin (PAE) resin // Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 2007. Vol. 302. P. 525–531.
17. Lindström T., Wågberg L., Larsson T. O. On the nature of joint strength in paper – a review of dry and wet strength resins used in paper manufacturing // 13th Fundamental Research Symposium, Cambridge, sept. 11–16, 2005 / Pulp and Paper Fundamental Research Society. Bury, 2005. Vol. 1. P. 457–562.
18. Holik H. Handbook of Paper and Board. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH&Co., 2013. 992 p.
19. Hagiopol C., Johnston J. W. Chemistry of Modern Papermaking. Georgia-Pacific Chemicals LLC. 2012. 415 p.
20. Gigac J., Fiserova M., Osvaldik Z. Recycling of wet-strength paper // Wood research. 2005. Vol. 50, no. 3. P. 73–84.
21. Siqueira E. J. Polyamidoamine epichlorohydrin-based papers: mechanisms of wet strength development and paper repulping: thèse Pour obtenir le grade de docteur de L`université de Grenoble [Electronic resource]. 2012. URL: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00952991/document> (date of access: 11.10.2018).
22. Fischer S. A. Repulping wet-strength paper // TAPPI Journal. 1997. Vol. 80, no. 11. P. 141–147.
23. Espy H. H. Persulfates as repulping reagents for neutral/alkaline wet-strength broke // TAPPI Journal. 1993. Vol. 76, no 2. P. 139–141.

### References

1. Puzyrev S. S. Resource-saving technology for recycling waste paper. Part 1. *LesPromInform*. [LesPromInform], 2006, no. 3 (34), pp. 104–109 (In Russian).
2. ISO 4046-4:2016. Paper, board, pulps and related terms – Vocabulary – Part 4: Paper and board grades and converted products. Geneva, ISO Central Secretariat, 2016. 36 p.
3. Suhonen T., Oksanen N. Future outlook for the forest industry. Available at: [http://www.spci.se/shared/files/SPCI\\_forest\\_industry\\_future\\_scenarios\\_FINAL.pdf](http://www.spci.se/shared/files/SPCI_forest_industry_future_scenarios_FINAL.pdf) (accessed 03.03.2017).
4. Puzyrev S. S. Resource-saving technology for recycling waste paper. Part 2. *LesPromInform*. [LesPromInform], 2006, no. 5 (36), pp. 90–97 (In Russian).
5. Lindborg H. European outlook on the recovered fiber market. Available at: <https://www.recyclingtoday.com/article/european-outlook-on-the-recovered-fiber-market/> (accessed 03.04.2021).

6. Packaging waste. EU rules on packaging and packaging waste, including design and waste management. Available at: [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/packaging-waste\\_en#ecl-inpage-512](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/packaging-waste_en#ecl-inpage-512) (accessed 03.05.2021).

7. Vil'de O. *Makulturnyy potentsial. Chto sderzhivayet pererabotku vtorsyr'ya* [Waste paper potential. What is holding back the recycling of waste paper]. Available at: <https://sber.pro/publication/makulturnyyipotentsial-chto-sderzhivaet-pererabotku-vtorsyria> (accessed 03.04.2021).

8. Better Practices, Better Planet 2020 Sustainability Report. Available at: [https://sustainability.afandpa.org/wp-content/uploads/2020/07/AFPAA\\_2020\\_Sustainability\\_Report-web.pdf?utm\\_source=web&utm\\_medium=button&utm\\_campaign=sustainability](https://sustainability.afandpa.org/wp-content/uploads/2020/07/AFPAA_2020_Sustainability_Report-web.pdf?utm_source=web&utm_medium=button&utm_campaign=sustainability) (accessed 03.05.2021).

9. *Rynok tarnogo kartona* [Containerboard market]. Available at: [https://dcenter.hse.ru/data/2021/02/23/1393504243/Рынок\\_тарного\\_картона-2020.pdf](https://dcenter.hse.ru/data/2021/02/23/1393504243/Рынок_тарного_картона-2020.pdf) (accessed 03.05.2021).

10. *Rossiyskiye pererabotchiki makulatury obratilis' k glave pravitel'stva* [Russian recyclers of waste paper appealed to the head of government]. Available at: <https://www.liga-pm.ru/novosti/rossijskie-pererabotchiki-makulaturyi-obratilis-k-glave-pravitelstva.html> (accessed 03.05.2021).

11. *Postanovleniye Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 5 maya 2021 g. № 263 "O litsenzirovanii eksporta regeneriruemyykh bumagi ili kartona (makulatury i otkhodov)"* [Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus dated May 5, 2021. No. 263 "On licensing the export of recyclable paper or cardboard (waste paper and waste)"]. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100263&p1=1> (accessed 08.05.2021).

12. Puzyrev S. S., Tyurin E. T., Loginova T. V., Kovaleva O. P. Recycling of waste paper hard to defiber. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2006, no. 10, pp. 40–44 (In Russian).

13. Anufrieva O. *Tetrapak nachnut pererabatyvat' v Belarusi* [Tetra Pak will be recycled in Belarus]. Available at: <https://zviazda.by/ru/news/20201208/1607417947-tetrapak-nachnut-pererabatyvat-v-belarusi> (accessed 04.05.2021).

14. Wang Yu., Zambrano F., Venditti R., Dasmohapatra S., Assis T. D., Reisinger L., Pawlak J., Gonzalez R. Effect of pulp properties, drying technology, and sustainability on bath tissue performance and shelf price. *BioResources*, 2019, vol. 14, no. 4, pp. 9410–9428.

15. Su J., Mosse K. J. W., Sharman S., Batchelor W., Garnier G. Paper strength development and recyclability with polyamideamine-epichlorohydrin (PAE). *BioResources*, 2012, vol. 7, no. 1, pp. 913–924.

16. Obokata T., Isogai A. The mechanism of wet-strength development of cellulose sheets prepared with polyamideamine-epichlorohydrin (PAE) resin. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2007, vol. 302, pp. 525–531.

17. Lindström T., Wågberg L., Larsson T. O. On the nature of joint strength in paper – a review of dry and wet strength resins used in paper manufacturing. *13th Fundamental Research Symposium*. Bury, 2005, vol. 1, pp. 457–562.

18. Holik H. *Handbook of Paper and Board*. Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH&Co., 2013. 992 p.

19. Hagiopol C., Johnston J. W. *Chemistry of Modern Papermaking*. Georgia-Pacific Chemicals LLC. 2012. 415 p.

20. Gigac J., Fiserova M., Osvaldik Z. Recycling of wet-strength paper. *Wood research*, 2005, vol. 50, no. 3, pp. 73–84.

21. Siqueira E. J. *Polyamidoamine epichlorohydrin-based papers: mechanisms of wet strength development and paper repulping: thèse Pour obtenir le grade de docteur de L'université de Grenoble*. Available at: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00952991/document> (accessed 11.10.2018).

22. Fischer S. A. Repulping wet-strength paper. *TAPPI Journal*, 1997, Vol. 80, no. 11, pp. 141–147.

23. Espy H. H. Persulfates as repulping reagents for neutral/alkaline wet-strength broke. *TAPPI Journal*, 1993, vol. 76, no. 2, pp. 139–141.

### Информация об авторе

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

### Information about the author

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

Поступила 15.05.2021