

**А.В. Зайцев, В.К. Дубовый, Е.И. Симонова, И.Н. Ковернинский,  
П.М. Кейзер**

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИМЕРПЕСЧАНЫХ ПЛИТ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ МАКУЛАТУРЫ МАРКИ МС-5Б**

*Введение.* ОАО «Каравaeво» – одно из старейших предприятий России по производству гофропродукции из макулатуры. Сырьем для производства гофропродукции является макулатура марки МС-5Б по ГОСТ 10700–1997. В виде остатка отходы образуются в гидроразбивателе, отделяются в очистителях высокой концентрации и сортировках вторичного волокна [Дулькин, 2006]. На суточную производительность 60 т в сутки бумажно-картонной продукции в гидроразбивателе образуется до 2500 кг, а в очистителях и сортировках – до 1000 кг отходов; суммарно, более 3500 кг, в пересчете на сухие отходы. Учитывая, что с технологического процесса отходы выходят влажностью 80–85%, то общая масса отходов – до 20 т/сут [Смолин, 2006; Дулькин, 2003]. Эта масса отходов, предварительно обезвоженная свободным отеканием воды до 60–65% влажности, утилизируется на полигоне.

Существенные финансовые потери захоронения отходов на полигоне на период исследования – 2023 год, это более 2000 руб./т или более 7000 руб./сут (2,5 млн руб./год), неуклонное ужесточение экологических требований и риски закрытия полигонов актуализировали проблему рациональной переработки отходов макулатуры у источника образования [Дулькин, 2002]. Решению этой проблемы была посвящена совместная научная работа кафедры технологии бумаги и картона Высшей школы технологии и энергетики СПбГТУПТД и ОАО «Каравaeво». Результаты работы рассматриваются в настоящей статье.

Полимерминеральные материалы являются многотоннажным продуктом, отличающимся применяемыми полимерами в качестве связующего вещества и минеральными веществами-наполнителями, а также разнообразием форм и целевым назначением. Они производятся многими предприятиями [Звягина, 2007]. Однако отходы макулатуры как смесь пластмасс, волокна, минералов, дерева, металлов, резины, ткани, обладающую связующими и наполняющими свойствами, почти не используется.

Имеются сведения о положительном опыте применения отходов тетрапак и макулатуры от гидроразбивателя в производстве плитных материалов [Анализ образцов..., 2022].

*Цель работы* – исследование процессов технологии полимерпесчаных плит на основе связующих и наполняющих свойств отходов макулатуры МС-5Б с обоснованием выбора оборудования производственной линии.

*Объекты исследования и методики.* Объекты исследования – отходы макулатуры марки МС-5Б, полимерпесчаные плиты.

Методы и методики исследования: определение механических свойств полимерпесчаных плит [Тулузаков, 2011].

*Результаты и обсуждения.* К основным компонентам полимерпесчаных плит относятся полимерное связующее, песок, в качестве наполнителя, и краситель для улучшения эстетического вида. В данном исследовании отходы макулатуры от гидроразбивателя, очистителей высокой концентрации и сортировок волокна использованы в двух вариантах – переработка отходов в полимерные изделия (ПИ) без добавления песка и с добавлением песка в полимерпесчаные изделия (ППИ). Оба вида изделий относятся к строительным материалам, которые отличаются высокой гидрофобностью, механической прочностью, долговечностью, разнообразием форм, узоров и расцветок. С учетом свойств, они широко применяются в городских и дачных ландшафтах, в строительстве [Пальгунов и др., 2009; Звягина, 2007].

Поскольку отходы макулатуры являются сырьем для производства новых изделий, в дальнейшем их будем называть «сырье». Общая производственная линия переработки сырья в ПИ и ППИ состоит из следующих технологических процессов: обезвоживание сырья до 10–15% влажности, измельчение сырья до размеров 12–15 мм, составление композиции и смешение компонентов для прессовочной массы, термообработка с получением однородной прессовочной массы, прессование массы в изделия, упаковка и складирование изделий.

*Процесс обезвоживания сырья* является первым в технологии и предназначен для снижения влажности от 85–80 до 15–10%, позволяющий его качественно измельчать и получать безводную композицию прессовочной массы. Примем, что обезвоживание сырья проводится сот влажности 85 до 15% соответственно, от влагосодержания 5,67 кг H<sub>2</sub>O/кг а.с. сырья до 0,18 кг H<sub>2</sub>O/кг а.с. сырья. Обезвоживание проводится в две стадии. В первой стадии после выгрузки сырья вода свободно отекает примерно до 65%

(влагосодержание 1,86  $\text{H}_2\text{O}/\text{кг}$  а.с. сырья), а, во второй стадии, обезвоживается механическим отжимом до конечной влажности 15% (влагосодержание 0,18  $\text{кг H}_2\text{O}/\text{кг}$  а.с. сырья). Свободным отекаем удаляется воды 3,81  $\text{кг}/\text{кг}$  сырья и отжимом – 1,68  $\text{кг}/\text{кг}$  сырья. Всего удаляется воды 5,49  $\text{кг}/\text{кг}$  сырья. Поскольку сырье состоит из разных минеральных (абразивных) частиц, металлических изделий (замки папок, скрепки, гвозди, шурупы, металлическая лента, проволока), деревянных включений (щепки, костра, опилки), резины, пластмасс (пленка, скотч, изолента), для механического обезвоживания был выбран обезвоживающий пресс винтовой. Его особенность в том, что степень отжима воды и производительность пресса регулируется гидравлическим прижимом конического винта в перфорированном коническом корпусе. Мокрое сырье загружается в загрузочную воронку и продвигается шнеком к выгрузочному отверстию. По мере продвижения сырья к выходу из пресса, увеличивается степень уплотнения сырья, вода интенсивно удаляется как за счет механического отжима, так и за счет разогрева смеси. В результате исследования процесса обезвоживания, установлены зависимость влажности сырья от величины прижима шнека. Комбинированное воздействие механического отжима и саморазогрева смеси позволило найти минимальную влажность – 10% (влагосодержание 0,11  $\text{кг H}_2\text{O}/\text{кг}$  а.с. сырья).

Следующим за обезвоживанием следует технологический процесс *измельчения сырья*. Для его выполнения выбрана дробильная машина («дробилка») роторного типа многоножевая (6 ножей), снабженная подроторной сеткой с ячейками для отбора фракции измельченного сырья 12–15 мм. При исследовании измельчения сырья в дробилке установлено, что легче и полнее измельчается более сухое сырье. Поэтому для измельчения сырья выбран интервал влажности 15–10%. Важно, что этот интервал легко обеспечивает выбранный режим работы обезвоживающего пресса.

*Составление композиции и смешение компонентов для прессовочной массы* явилось следующим технологическим процессом. Смешение производится в смесителе. К достоинству смесителя следует отнести интенсивность перемешивания разнородных компонентов смеси. В результате образуется однородная сырьевая смесь, пригодная для дальнейшей термической переработки в прессовочную массу [Пик, 1964].

Технологический процесс *термической переработки смеси в прессовочную массу* следует за составлением композиции и смешением компонентов. Для термической переработки выбран аппарат нагревательно-плавильный (АНП). Аппарат имеет загрузочную горловину и по направле-

нию перемещения композиции 2 шнеками с лопатками разделен на 4 температурные зоны – 170, 180, 230 и 230 °С. Шнеки с лопатками интенсивно перемешивают композицию. Температурные зоны выбраны исходя из физико-химических свойств компонентов сырья. Основным компонентом являются разные полимерные пленки – сывше 50% с интервалом температуры плавления 120–160 °С [Кулезнёв и др., 2014; Перепёлкин, 1963]. Второй по содержанию компонент древесное волокно – более 20%, который при влажности 15–10% и температуре 120–230 °С переходит во высокоэластичное состояние [Аким, 1986]. Расплавленные и высокоэластичные полимеры выполняют роль высокопрочного связующего.

Заключительным технологическим процессом стало *получение плитных изделий из прессовочной массы*. Для прессования изделий выбран гидравлический вертикальный пресс с максимальным давлением 160 т. Прессование осуществляется из прессовочной массы, имеющей температуру в пределах 180–230 °С, с одновременным охлаждением готовых изделий.

Исходя из исходного компонентного состава сырья, 50% полимеры, 20% древесное волокно и 30% компонентов, устойчивых к температуре 120–230 °С, вначале было проведено исследование по первому варианту – переработка 100% сырья, без использования песка. Технологической особенностью прессовочной массы явилось исходное соотношение связующего (полимеры + волокно) и наполнителя (армирующая составляющая), равное 70:30. Производилось полимерное изделие (ПИ) в виде плиток размером 330×330×35 мм. При весе плиток 3,3–3,5 кг/шт., производительность линии 2 т в смену (8 часов) оказалась близка к расчетной при выборе оборудования. Следовательно, линия способна перерабатывать всю массу отходов предприятия, примерно 3,5 т/сут. В результате исследования установлены положительные и отрицательные факторы технологии. К положительным факторам отнесли – визуальное хорошее качество изделий, подтвержденное испытаниями механической прочности и жесткости, простота технологии и эксплуатации оборудования, надежность работы оборудования, низкая себестоимость изделий; отрицательные факторы – это наличие неприятного запаха и черный цвет прессовочной массы и плитки.

Второй вариант исследования – производство ППИ, был проведен с целью более полного использования мощности производственной линии, за счет минерального наполнителя – песка и рационального расхода связующего. Были исследованы композиции исходного сырья и песка в следующих соотношениях, %: 50/50; 40/60; 30/70. При использовании соотношения, % – сырье/песок = 50/50 и 40/60, плиты получались

качественными и прочными. С увеличением содержания песка сверх 60%, плитка плохо формируется, ее прочность низкая («рассыпается» при испытании на излом усилиями рук). Положительные факторы – это получение плитки с большей прочностью на излом, при соотношении, % – сырье/песок = 50/50 и 40/60, в сравнении с плиткой из 100% сырья. Объясняется этот факт большей хрупкостью плитки из 100% сырья. Отрицательные факторы – некоторое снижение производительности за счет удлинения времени прессования и увеличения времени охлаждения изделий. Увеличение времени прессования объясняется формированием полимернопесчаной структуры, за счет активного взаимодействия связующего полимера – матрицы и песка – армирующей компоненты. Создаваемая структура отличается меньшей жесткостью (большей эластичностью), а, следовательно, большей прочностью, по сравнению с литкой из 100% сырья.

В настоящее время проведены все работы по компоновке и монтажу оборудования производственной линии в цехе ОАО «Караваяево». Налажена работа оборудования, отработаны режимы производства 2 видов изделий: садовая плитка 330×330×35 мм и дорожная плитка 700×700×80 мм для устройства дорог и парковок.

#### *Выводы.*

1. Разработана технологическая схема переработки сырья (отходов макулатуры), состоящая из процессов: обезвоживания сырья до 10–15% влажности, измельчения сырья до размеров 12–15 мм, составления композиции и смешения компонентов для прессовочной массы, термообработки композиции с получением однородной прессовочной массы, прессования массы в изделия.

2. Проведен весь комплекс работы по компоновке и монтажу оборудования производственной линии в цехе ОАО «Караваяево». Налажена работа оборудования, отработаны режимы производства 2-х видов изделий: садовая плитка 330×330×35 мм и дорожная плитка 700×700×80 мм для устройства дорог и парковок.

3. С учетом исходного соотношения компонентов прессовочной массы – связующего (полимеры + волокно) и наполнителя (армирующая составляющая), равного 70:30, отработана технология и получено полимерное изделие (ПИ).

4. Исследованы композиции исходного сырья и песка в следующих соотношениях, %: 50/50; 40/60; 30/70. При использовании соотношения, % – сырье/песок = 50/50 и 40/60, получена плитка с большой прочностью на излом.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

Аким Э.Л., Романова В.А. Структура и релаксационные свойства бумаги как основы целлюлозных композиционных материалов // Химия древесины. 1986. № 4. С. 12–17.

Анализ образцов отходов тетрапак и макулатуры от гидроразбивателя путем ручной сортировки и сканирования FTIR / Марджан Султана // Финляндия. Аркадский университет прикладных наук. Технология обработки материалов. 2022. 15 с.

Дулькин Д.А., Ковернинский И.Н., Комаров В.И., Спиридонов В.А. Мировые тенденции в развитии техники и технологии переработки макулатуры. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 108 с.

Дулькин Д.А., Панов А.Н., Ковернинский И.Н., Спиридонов В.А. Ресурсы и качество макулатуры для производства бумаги и картона // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2006. № 5. С. 28–37.

Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Миронова В.Г., Верещак В.В. Анализ эффективности технологических схем производства макулатурной массы // Развитие ресурсосберегающих технологий производства бумаги и картона из вторичного волокнистого сырья: сб. науч. тр. 4-й Междунар. науч.-техн. конф. Караваево, 2003. С. 54–59.

Звягина А.И. Вторичные сырьевые ресурсы и технологии их использования для производства строительных материалов // Экология производства. 2007. № 4. С. 50–51.

Звягина А.И. Вторичные сырьевые ресурсы и технологии их использования для производства строительных материалов // Технология машиностроения. 2007. № 4. С. 50–51.

Кулезнёв В. Н., Шершнев В. А. Химия и физика полимеров. Изд. 3-е, испр. и доп. СПб.: Лань, 2014. 367 с.

Пальгунов П.П., Сумароков М.В. Утилизация промышленных отходов в М.: Стройиздат. 1990. 352 с.

Перепёлкин В.П. Полипропилен, его свойства и методы переработки. Л.: ЛДНТП, 1963. 256 с.

Пик И.Ш. Прессовочные, литьевые и поделочные пластические массы: справочное пособие / под ред. И.И. Поржицкого. М.; Л.: Химия, 1964. 379 с.

Смолин А.С., Дубовый В.К. Современное состояние и проблемы использования вторичного волокна в производстве бумаги и картона // Современные научные основы и инновационные технологии бумажно-картонных материалов с использованием вторичного волокна из макулатуры: науч. тр. 7-й Междунар. науч.-техн. конф. Караваево, 2006. С. 6–7.

Тулузаков Д.В., Лапшин Ю.Г., Архипов А.С. Определение показателей прочности древесно-стружечных плит при чистом сдвиге // Лесной вестник. 2011. № 5. С. 107.

## References

Akim E.L., Romanova V.A. Structure and relaxation properties of paper as the basis of cellulose composite materials. *Chemistry of wood*, 1986, no. 4, pp. 12–17. (In Russ.)

Analysis of waste samples of tetrapack and waste paper from a hydraulic fracturing machine by manual sorting and scanning FTIR / Marjan Sultan. *Finland. Arcadian University of Applied Sciences. Technology of materials processing*, 2022. 15 p. (In Russ.)

Dulkin D.A., Koverninsky I.N., Komarov V.I., Spiridonov V.A. Global trends in the development of machinery and technology for recycling waste paper. Arkhangelsk: Publishing House of AGTU, 2002. 108 p. (In Russ.)

Dulkin D.A., Panov A.N., Koverninsky I.N., Spiridonov V.A. Resources and quality of waste paper for the production of paper and cardboard. *Cellulose. Paper. Cardboard*, 2006, no. 5, pp. 28–37. (In Russ.)

Dulkin D.A., Spiridonov V.A., Mironova V.G., Vereshchak V.V. Analysis of the effectiveness of technological schemes for the production of waste paper. *Development of resource-saving technologies for the production of paper and cardboard from recycled fibrous raw materials: collection of scientific tr.* 4th International Scientific and Technical conf. Karavaevo, 2003, pp. 54–59. (In Russ.)

Kuleznev V.N., Shershnev V.A. Chemistry and physics of polymers. Ed. 3rd edition and additional edition. St. Petersburg: Publishing house «Lan», 2014. 367 p. (In Russ.)

Palgunov P.P., Sumarokov M.V. Utilization of industrial waste. M.: Stroyizdat, 1990. 352 p. (In Russ.)

Perepelkin V.P. Polypropylene, its properties and processing methods. L.: LDNTP, 1963. 256 p. (In Russ.)

Pik I.Sh. Pressing, injection molding and ornamental plastic masses: A reference guide / Ed. by I.I. Porzhitsky. M.; L.: Khimiya, 1964. 379 p. (In Russ.)

Smolin A.S., Dubovy V.K. The current state and problems of using secondary fiber in the production of paper and cardboard. *Modern scientific foundations and innovative technologies of paper and cardboard materials using secondary fiber from waste paper: scientific tr.* 7th International Scientific and Technical Conference conf. Karavaevo, 2006, pp. 6–7. (In Russ.)

Tuluzakov D.V., Lapshin Yu.G., Arkhipov A.S. Determination of strength indicators of chipboard with clean shear. *Lesnoy vestnik*, 2011, no. 5, p. 107. (In Russ.)

Zvyagina A.I. Secondary raw materials and technologies of their use for the production of building materials. *The Ecology Of Production*, 2007, no. 4, pp. 50–51. (In Russ.)

Zvyagina A.I. Secondary raw materials and technologies of their use for the production of building materials. *Mechanical engineering technology*, 2007, no. 4, pp. 50–51. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 24.01.2024

**Зайцев А.В., Дубовый В.К., Симонова Е.И., Ковернинский И.Н., Кайзер П.М.** Разработка технологии полимерпесчаных плит на основе отходов макулатуры марки МС-5Б // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 250. С. 383–392. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.383-392

Переработка макулатуры марки МС-5Б в тест-лайнер и флутинг в ОАО «Караваево» сопровождается накоплением отходов, представляющих собой сложную смесь веществ различных видов с переменным массовым составом. В год сдается на полигон свыше 1,2 млн т, таким образом удельное содержание отходов на 1 т продукции составляет около 38 кг. Образующиеся отходы необходимо утилизировать на полигоне, что требует значительных финансовых издержек. Поэтому переработка отходов стала актуальной проблемой переработки макулатуры. Смесь отходов фракционируется на пластики, волокно, дерево, минералы, металлы, резину и ткань. Установлено, что общее содержание пластика и волокна составляет более 71% и может быть использовано в полном объеме в качестве связующего в термопрессовочной технологии. Рассматривается технология полимерпесчаных плит на основе отходов макулатуры марки МС-5Б. Производилось полимерное изделие (ПИ) в виде плиток размером 330×330×35 мм. При весе плиток 3,3–3,5 кг/шт., производительность линии 2 т в смену (8 часов) оказалась близка к расчетной при выборе оборудования. Второй вариант исследования – производство ППИ. Были исследованы композиции исходного сырья и песка в следующих соотношениях, %: 50/50; 40/60; 30/70. В настоящее время налажена работа оборудования, отработаны режимы производства 2 видов изделий: садовая плитка 330×330×35 мм и дорожная плитка 700×700×80 мм для устройства дорог и парковок.

**Ключевые слова:** макулатура, отходы макулатуры, прессовочная масса, полимерные плиты, полимерпесчаные плиты, связующее, наполнитель, полимерная матрица, армирующий компонент.

**Zaitsev A.V., Dubovy V.K., Simonova E.I., Koverninsky I.N., Keizer P.M.** Development of technology for polymer-sanded plates based on waste paper of the MS-5B brand. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2024, iss. 250, pp. 383–392 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.383-392

The recycling of MS-5B waste paper into a test liner and fluting at JSC Karavaevo is accompanied by the accumulation of waste, which is a complex mixture of substances of various types with variable mass composition. More than 1.2 million tons are delivered to the landfill per year, thus the specific content of waste per 1 ton of products is about 38 kg. The resulting waste must be disposed of

at the landfill, which requires significant financial costs. Therefore, waste recycling has become an urgent problem of recycling waste paper. The waste mixture is fractionated into plastics, fiber, wood, minerals, metals, rubber and fabric. It has been established that the total content of plastic and fiber is more than 71% and can be used in full as a binder in thermal pressing technology. The technology of polymer-sanded plates based on waste paper of the MS-5B brand is considered. A polymer product (PI) was produced in the form of tiles with a size of 330×330×35 mm. With a tile weight of 3.3–3.5 kg/piece, the line capacity of 2 tons per shift (8 hours) turned out to be close to the calculated one when choosing equipment. The second option of the study is the production of PPIs. The compositions of the feedstock and sand were studied in the following ratios, %: 50/50; 40/60; 30/70. Currently, the operation of the equipment has been adjusted, the production modes of 2 types of products have been worked out: garden tiles 330×330×35 mm and road tiles 700×700×80 mm for roads and parking lots.

**Key words:** waste paper, waste paper, pressing mass, polymer plates, polymer-sanded plates, binder, filler, polymer matrix, reinforcing component.

---

**ЗАЙЦЕВ Артем Валерьевич** – аспирант Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. ORCID: 0000-0002-2008-311X.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ani1997.10@mail.ru

**ZAITSEV Artem V.** – PhD student at the Higher School of Technology and Energy of the St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. ORCID: 0000-0002-2008-311X.

198095. Ivan Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: ani1997.10@mail.ru

**ДУБОВЫЙ Владимир Климентьевич** – профессор кафедры технологии бумаги и картона Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат технических наук.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: dubovy2004@mail.ru

**DUBOVIY Vladimir K.** – DSc (Technical), Professor of the Department of Paper and Cardboard Technology at the Higher School of Technology and Energy of the St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.

198095. Ivan Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: dubovy2004@mail.ru

**СИМОНОВА Елена Игоревна** – доцент кафедры технологии бумаги и картона Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат технических наук.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: bliznyakova1989@mail.ru

**SIMONOVA Elena I.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Paper and Cardboard Technology at the Higher School of Technology and Energy of the St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.

198095. Ivan Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: bliznyakova1989@mail.ru

**КОВЕРНИНСКИЙ Иван Николаевич** – Индивидуальный предприниматель Ковернинский Иван Николаевич. ORCID:0000-0002-7413-6790

127591, ул. Дубнинская, д. 40А, к. 1. кв. 11, г. Москва. E-mail: kovern@list.ru

**KOVERNINSKY Ivan N.** – Individual Entrepreneur Koverninsky Ivan Nikolaevich. ORCID:0000-0002-7413-6790.

127591. Dubninskaya str. 40A. Build. 1. Apt. 11. Moscow. E-mail: kovern@list.ru

**КЕЙЗЕР Павел Матвеевич** – доцент кафедры технологии бумаги и картона Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, кандидат технических наук. SPIN-код: 4864-8012. ORCID: 0000-0002-2008-311X.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: kpm022@yandex.ru

**KEIZER Pavel M.** – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Paper and Cardboard Technology of the Higher School of Technology and Energy of the St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design. SPIN-code: 4864-8012. ORCID: 0000-0002-2008-311X.

198095. Ivan Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: kpm022@yandex.ru