

5. ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ. БИОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 62.784.43

А.В. Зайцев, В.К. Дубовый, И.Н. Ковернинский, Е.И. Симонова

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛИМЕРПЕСЧАНЫХ ПЛИТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ МАКУЛАТУРЫ МС-5Б И МС-6Б КАК ЭФФЕКТИВНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

Введение. Собираемая ежегодно в мире макулатура перерабатывается преимущественно в бумагу и картон [Дулькин и др. 2006; Дулькин, 2008; Ванчаков и др., 2011; Recycled..., 2000; Forest..., 2021–2022]. Превалирующим потребителем вторичного волокна было и остается производственного (до 30%) и коробочного картона (до 20%) [Савицкий, Шевляков, 2000; Дулькин, Спиридонов, 2003; Дулькин и др., 2003; Дулькин и др., 2004; Ковалева, 2005, 2007; Комаров и др., 2005; Смолин, Дубовый, 2006; Смолин и др., 2014; Menges, 1984]. В соответствии с ГОСТ 107000-97 сырьем для гофропродукции служит макулатура группы «Б», марок МС-5Б и МС-6Б [Яблочкин и др., 2004; Hansen, 2017].

Полимерпесчаные плиты – это композиция песка и полимеров, которые используются в качестве связующего [Khan, Ghafoor, 2022; Nguyen, Kim, 2023]. В исследовании рассмотрена возможность использования отходов макулатуры, которая представляет из себя смесь волокон вторичной переработки целлюлозы как природного полимера и синтетических полимеров. Эта масса отходов подвергается переработке в полимерпесчаные плиты по разработанной автором (Зайцев А.В.) технологии. Основой технологического решения является использование отходов макулатуры МС-5Б и МС-6Б, в качестве связующего.

Цель работы – исследование качественных характеристик полимерпесчаных плит с использованием отходов макулатуры МС-5Б и МС-6Б как эффективного связующего.

Материалы и методика исследования. Объекты исследования – полимерпесчаные плиты с различным соотношением связующего из отходов макулатуры и минерального наполнителя.

В ходе испытаний определяли толщину образцов, предел прочности при статическом изгибе, предел прочности при динамическом изгибе (ударную вязкость), истираемость и водопоглощение образцов после выдержки в холодной воде в течение 24 ч. Толщину определяли на каждом образце по четырём точкам с использованием толщиномера ручного ТР 25-60Б.

Определение предела прочности при статическом изгибе. Предел прочности при статическом изгибе определяли согласно ГОСТ 10635–88. Образцы размером 180×50 мм укладывают на опоры испытательной машины так, чтобы продольная ось образца была перпендикулярна опорам, а поперечная – параллельна оси ножа. Расстояние между опорами – 150 мм. Скорость движения нагружающей головки устанавливают равной 10 мм/мин. Предел прочности при статическом изгибе ($\sigma_{\text{изг}}$, МПа) рассчитывают по формуле (1):

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{3Pl}{2bh^2} \cdot 9,81, \quad (1)$$

где P – разрушающая нагрузка, кг/см²; l – расстояние между опорами на испытательной машине (100 мм); b – ширина образца, мм; h – толщина образца, мм.

Определение предела прочности при динамическом изгибе (ударной вязкости). Ударную вязкость определяли согласно ГОСТ 9626–90. Маятник копра взводили на угол 120°. Стрелку индикатора маятника устанавливали на 0°. Маятник освобождали и после его остановки по индикатору определяли угол его холостого хода. Затем на опоры копра устанавливали испытуемый образец. Маятник копра взводили на угол 120°. Стрелку индикатора маятника устанавливали на 0°. Освобождали маятник. После разрушения образца и остановки маятника определяли по индикатору угол рабочего хода. Ударную вязкость (α , кДж/м²), рассчитывали по формуле (2):

$$\alpha = \frac{A}{S}, \quad (2)$$

где A – работа, затрачиваемая на разрушение образца, кДж; S – площадь поперечного сечения образца, м². Работу рассчитывали по формуле (3):

$$A = 9,8PL(\cos\beta - \cos\alpha) \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

где P – масса маятника (1 кг); L – длина маятника (0,43 м); β – угол рабочего хода маятника, град; α – угол холостого хода маятника, град.

Определение истираемости. Истираемость определяли по ГОСТ 30629-2011. Сущность метода заключается в определении потери массы или объема образца, прошедшего путь истирания 600 м. Круги истирания должны иметь съемный, вращающийся в горизонтальной плоскости истирающий диск, изготовленный из серого чугуна твердостью по Шору 30–50 (185–215 кН/см²).

На поверхности истирающего диска не допускаются выбоины и углубления шириной более 5 мм и глубиной более 0,5 мм. Скорость вращения истирающего диска под нагрузкой должна быть $(30 + 1)$ об/мин. Истираемость $R_{\text{ист}}$, г/см², вычисляют с точностью до 0,1 г/см² по формуле (4):

$$R_{\text{ист}} = \frac{m - m_1}{S}, \quad (4)$$

где m – масса образца до испытания, г; m_1 – масса образца после испытания, г; S – площадь опорной грани образца, см²;

Определение водопоглощения при выдержке в воде в течение 24 ч. Образцы размером 50×50 мм взвешивали на весах с точностью до 0,01 г. В четырёх точках определяли толщину каждого образца. Образцы погружали в ванну с водой в вертикальном положении. Уровень воды в ванне должен быть на 20 мм выше образцов, температура воды 20 ± 2 °С. Через 24 ч образцы извлекали из ванны, взвешивали и определяли их толщину. Перед взвешиванием образцы промокали фильтровальной бумагой. Водопоглощение (ΔW_x , %) рассчитывали по формуле (5):

$$\Delta W_x = \frac{m_2 - m_1}{m_1}, \quad (5)$$

где m_1 – масса образца до погружения в воду, г; m_2 – масса образца после выдержки в воде, г.

Результаты исследования. На первом этапе исследования был проведен анализ компонентного состава отходов макулатуры. Результаты исследования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Компонентный состав отходов макулатуры
Component composition of waste paper

№ п/п	Виды компонентов в отходах макулатуры	Содержание компонентов, %
1.	Пластики (полимерные пленки, скотч, изолента)	51
2	Волокно (не распускаемые на волокна бумажно-картонные материалы, мелкое волокно)	20
3	Вторичные материалы переработки древесины (щепки, костра, опилки)	2
4	Минералы (гравий, цемент, гипс, песок, мел, земля);	4
5	Металлы (замки для папок, проволока, металлическая лента, скрепки, гвозди, болты, шурупы, гайки)	6
6	Резина	1
7	Ткань	1
8	Вода (влажность)	15

Из данных, представленных в табл. 1, следует, что 51% отходов макулатуры составляют синтетические полимеры, а 20% – волокна вторичной переработки древесной целлюлозы как природного полимера. На втором этапе исследования было определено влияние соотношения связующего из отходов макулатуры и наполнителя на физико-механические свойства полимерпесчаных плит. Одной из задач исследования было получение зависимости влияния органической фракции, в качестве связующего, и минеральной фракции, в качестве наполнителя, на физико-механические свойства полимерпесчаных плит. Полимерпесчаные плиты относятся к строительным композиционным материалам, которым присущи положительные необходимые потребительские свойства, согласно ГОСТ Б.В. 2,7.–139:2007: плотность, кг/м³, истираемость, г/см², водопоглощение, %; прочность при статическом изгибе, МПа; предел прочности при динамическом изгибе (ударная вязкость), кДж/м².

Несмотря на указанные положительные качества, полимерпесчаные плиты имеют недостатки:

1. плитки могут расширяться при воздействии высоких температур и неправильной укладке: важно выдерживать правильный зазор между элементами (не менее 5 мм) и монтировать только на клей, песок, щебень или цемент;
2. высокое содержание полимера обуславливает возможность деформирования и обугливания при воздействии высоких температур.

Указанные недостатки несущественно влияют на востребованность плит. С учетом их свойств, плиты широко применяются в городских и дачных ландшафтах, в строительстве.

Для достижения поставленной цели были определены количественные параметры потребительских свойств при заданных геометрических размерах образцов полимерпесчаных плит. Они представлены в табл. 2.

Таблица 2

Необходимые количественные параметры полимерпесчаных плит

Necessary quantitative parameters of polymer-sanded slabs

Свойства	Значение
Плотность	1600–2600 кг/м ³
Истираемость	Не более 0,1 г/см ²
Водопоглощение	Не более 2,0%
Предел прочности при статическом изгибе	Не менее 7,5 МПа
Предел прочности при динамическом изгибе (ударная вязкость)	Не менее 3,3 кДж/м ²
Размер плитки	330 × 330 × 15 мм

Для получения исследуемых образцов плит использовалась технологическая установка ОАО «Караван». Были изготовлены образцы плит размером 330×330×15 мм с различной композицией, состоящей в основном из песка и макулатурных отходов. Характеристика компонентов: песок карьерный просеянный – влажность 2–5%, фракция 1,5–2 мм. Отходы макулатурно-бумажного производства (дробленая и высушенная смесь различных полимеров и макулатурного волокна): влажность 3%, фракция 10 мм.

С целью получения более наглядной картины влияния связующего (макулатурные отходы) на физико-механические свойства полимерпесчаных плит были изготовлены и испытаны плиты с композицией, где присутствовал дробленый (до 10 мм) полипропилен белого цвета с соотношением компонентов: песок/макулатурные отходы/полипропилен – 50/45/5 и 50/40/10. Все образцы изготавливались при одном и том же температурном режиме с 4 зонами нагрева по порядку: 1 зона (прогрев) – 170 °С, 2 зона (доведение до нужной температуры) – 190 °С; 3, 4 зона (расплав и прессование) – 220 °С. Результаты исследований полученных образцов полимерпесчаных плит представлены в табл. 3. Зависимости влияния компонентного состава полимерпесчаных плит на физико-механические свойства представлены на рис. 1–3.

Таблица 3

**Физико-механические результаты исследований образцов
полимерпесчаных плит**

Physico-mechanical results of studies of polymer sanded plates samples

№ образца	Композиция песок/отходы/полимер, %	Прочность при статическом изгибе, F, МПа	Ударная вязкость, Q, кДж/м ²	Водопоглощение, G, %	Истираемость E, г/см ²	Плотность, кг/м ³
1	90/10	5,1	2,4	2,5	0,30	2750
2	80/20	6,0	2,6	2,3	0,25	2600
3	70/30	7,1	2,8	2,1	0,20	2450
4	60/40	7,3	3,0	1,9	0,15	2300
5	50/50	7,5	3,3	1,7	0,10	2150
6	40/60	7,8	3,5	1,4	0,09	2000
7	30/70	8,0	3,7	1,1	0,08	1900
9	20/80	8,4	3,9	0,9	0,08	1800
10	10/90	8,9	4,2	0,8	0,07	1700
11	100	10,0	4,5	0,7	0,07	1600
12	50/45/5	10,6	4,9	0,8	0,09	2150
13	50/40/10	11,1	5,4	0,7	0,08	2100

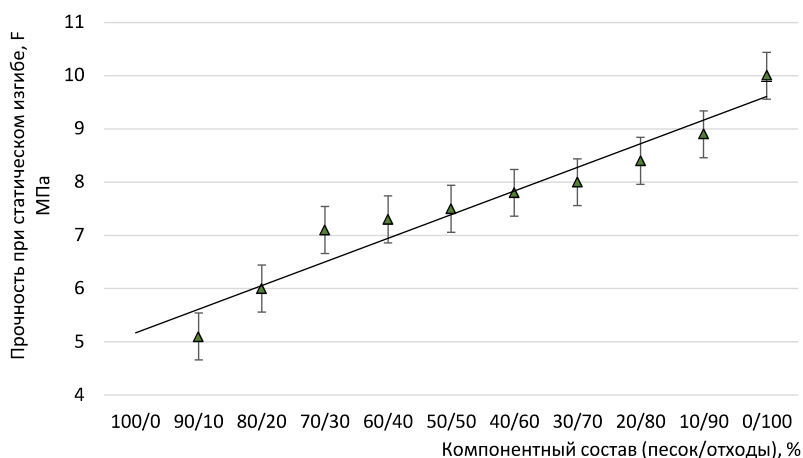


Рис. 1. Влияние компонентного состава полимерпесчаных плит на предел прочности при статическом изгибе (F, МПа)

Fig. 1. Influence of the component composition of polymer-sanded plates on the tensile strength under static bending (F, MPa)

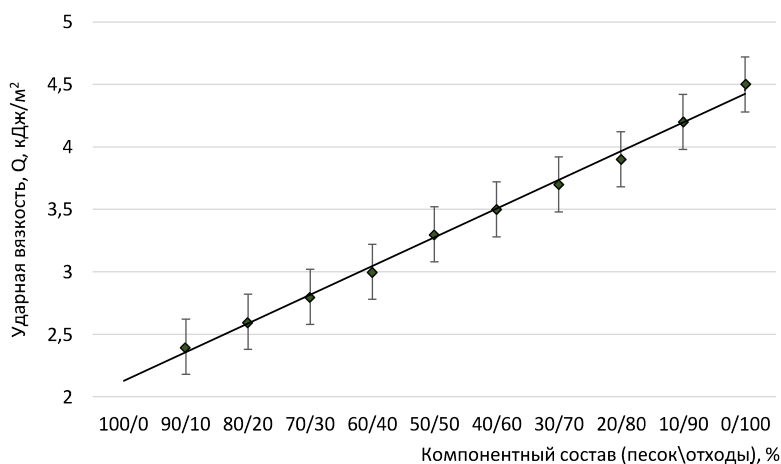


Рис. 2. Влияние компонентного состава полимерпесчаных плит на ударную вязкость. (Q, кДж/м²)

Fig. 2. Influence of the component composition of polymer-sanded plates on impact strength. (Q, kJ/m²)

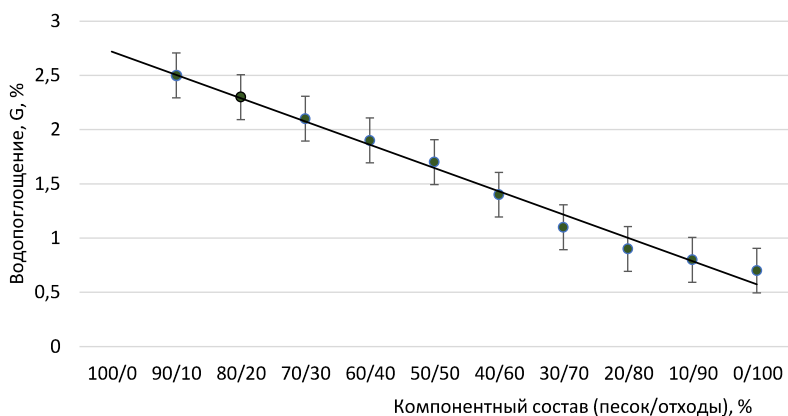


Рис. 3. Влияние компонентного состава полимерпесчаных плит на водопоглощение (G, %)

Fig. 3. Influence of the component composition of polymer-sanded slabs on water absorption (G, %)

Обсуждение. Анализ полученных результатов проведенных исследований физико-механических свойств полимерпесчаных плит свидетельствует о наличии зависимостей в системе «состав – свойства».

Предел прочности при статическом изгибе плиты пропорционально увеличивается по линейной зависимости, со снижением доли песка в композиции. В пределах содержания песка 90...10% он возрастает на 78% (рис. 1). В исследуемых пределах достигаемой прочности были определены композиции «песок/отходы» – 50/50 и 40/60, соответствующие пределу прочности при статическом изгибе 7,5 и 7,8 МПа, обеспечивающему достаточные эксплуатационные свойства полимерпесчаных плит.

Ударная вязкость плит в пределах снижения доли песка 90...10% повышается на 118% (рис. 2). Установленные пределы ударной вязкости характеризуют плиты как материал, эффективно поглощающий ударную энергию. Величина ударной вязкости при соотношении «песок/отходы» в композиции 50/50 и 40/60 соответствует значениям 3,3 и 3,5 кДж/м², которые являются минимально достаточными при эксплуатации полимерпесчаных плит.

Показатель водопоглощения в пределах снижения доли песка 90...10% снижается на 40% (рис. 3). Установленные пределы

водопоглощения характеризуют плиты как гидрофобный материал. Поэтому водопоглощение в пределах соотношения «песок/отходы» в композициях 50/50 и 40/60, соответствующее значениям водопоглощения 1,7 и 1,4%, принимается в качестве минимально достаточной эксплуатационной характеристики. Полученные результаты исследований композиций полимерпесчаных плит 50/50 и 40/60 на истираемость соответствуют значениям 0,10 и 0,09 г/см².

Таким образом, испытание экспериментальных образцов плит по основным физико-механическим свойствам подтвердило высокое качество полимерпесчаных плит, изготовленных на основе макулатурных отходов в ОАО «Караваево» на созданной опытно-промышленной установке.

Результаты исследования позволили установить диапазон показателей потребительских характеристик полимерпесчаных плит, отвечающий условию минимальной достаточности для эффективного использования ресурсов макулатурных отходов и длительной эксплуатационной пригодности (табл. 4).

Таблица 4

Диапазон показателей потребительских характеристик полимерпесчаных плит

The range of indicators of consumer characteristics of polymer sanded plates

Композиция «песок/отходы», %	F, МПа	Q, КДж/м ²	G, %	E, г/см ²
50/50...40/60	7,5...7,8	3,3...3,5	1,7...1,4	0,10...0,09

На основании ранее проведенных исследований установлено, что макулатурные отходы содержат 71% полимерных соединений (полимерные пленки, скотч, изоленга, целлюлозные волокна и т.д.). С целью установления значимости влияния полимеров на физико-механические свойства полимерпесчаных плит были изготовлены и исследованы образцы плит с добавлением в композицию чистого полимера – фракционированного полипропилена (размер частиц 10 мм). Результаты исследований представлены на рис. 4.

С увеличением в композиции полимерпесчаных плит содержания полипропилена предел прочности при статическом изгибе и ударная вязкость при 10% его содержании составляют 11,1 МПа и 5,4 кДж/м² соответственно. При этом показатели водопоглощения уменьшаются и составляют, соответственно, 0,7% и 0,08 г/см².

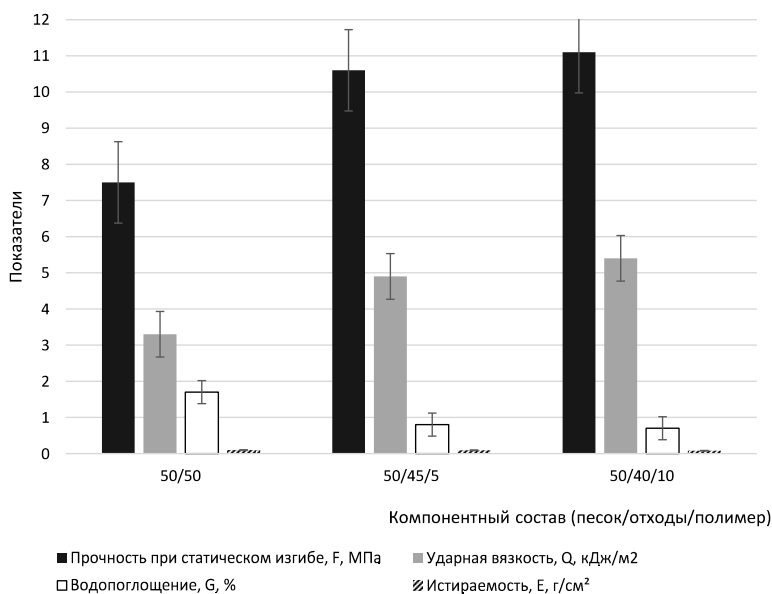


Рис. 4. Зависимость потребительских свойств полимерпечатных плит от добавок полимера

Fig. 4. Dependence of consumer properties of polymer printing plates on additives of a polymer

Во всех композициях полимерпесчаных плит наблюдается существенное изменение свойств по мере снижения доли песка.

Заключение.

1. Установлено, что использование в композиции полимерпесчаных плит отходов макулатуры, представляющих собой в основном смесь вторичных волокон древесной целлюлозы и синтетических полимеров, дает возможность получить широкий спектр материалов для городских и дачных ландшафтов с заданными физико-механическими свойствами;

2. Доказано существенное влияние макулатурных отходов как связующего в композиции полимерпесчаных плит на их потребительские свойства;

3. Определено, что с увеличением содержания отходов макулатуры в композиции полимерпесчаных плит предел прочности при статическом изгибе и ударная вязкость возрастают, при этом водопоглощение и истираемость плит уменьшаются;

4. Установлено минимальное содержание отходов макулатуры в композиции полимерпесчаных плит с заданными физико-механическими свойствами, которое составляет 50%;

5. Определено, что добавка полипропилена в количестве 10% способствует улучшению качественных характеристик полимерпесчаных плит.

Вклад авторов. Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Ванчаков М.В., Дубовый В.К., Кулешов А.В., Коновалова Г.Н. Технология и оборудование для переработки макулатуры: учеб. пособ. Ч. 2. 2-е изд., исп. и доп. СПб.: СПбГТУРП, 2011. 84 с.

Дулькин Д.А. Развитие научных основ и совершенствование процессов технологии бумаги и картона из макулатуры: дис.... д-ра техн. наук. Архангельск, 2008. 352 с.

Дулькин Д.А., Спиридонов В.А. Системный анализ – основа оптимизации процесса приготовления макулатурной массы // Развитие ресурсосберегающих технологий производства бумаги и картона из вторичного волокнистого сырья: науч. тр. 4-й межд. науч.-тех. конф. Караваево, 2003. С. 49–54.

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 межд. науч.-тех. конф. Караваево, 2003. С. 54–59.

Дулькин Д.А., Миронова В.Г., Южанинова Л.А. Усиление научного обоснования – путь повышения эффективности использования вторичного волокна // Теория и технология бумажно-картонной продукции из вторичного волокнистого сырья: науч. тр. 5-й межд. науч.-тех. конф. Правда-Караваево, 2004. С. 23–27.

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.

Ковалева О.П. Переработка вторичного волокнистого сырья – макулатуры: проблемы настоящего и будущего // Технология переработки макулатуры: науч. тр. 6-й межд. науч.-тех. конф. Караваево–Правда, 2005. С. 22–24.

Ковалева О.П. Особенности подготовки макулатурной массы для приготовления флутинга и тест-лайнера // Новое в технологии и оборудовании для производства гофрокартона и гофротары: сб. тр. межд. науч.-тех. конф. СПб., 2007. С. 62–64.

Комаров В.И., Яблочкин Н.И., Дулькин Д.А., Ковернинский И.Н. Формирование свойств тест-лайнера в процессе производства. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. 162 с.

Савицкий А.С., Шевляков А.А. Основные направления переработки твердых производственных и бытовых отходов // Технология и оборудование для переработки древесины: сб. научн. тр. 2000. Вып. 312. С. 125 – 129.

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 межд. науч.-тех. конф. Караваево, 2006. С. 6–7.

Смолин А.С., Комаров В.И., Дубовый В.К., Белоглазов В.И. Технология гофрокартона: учеб. пособ. Ч. I. СПб., 2014. 146 с.

Яблочкин Н.И., Комаров В.И., Ковернинский И.Н. Макулатура в технологии картона. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. 252 с.

Forest Products Annual Market Review. UNECE, 2021–2022. 70 p.

Hansen E., Panwar R., Vlosky R. The Global Forest Sector: Changes, Practices and Prospects. NYC: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. 462 p.

Khan A.A., Ghaffoor K. Innovative Techniques for the Production of Polymer Sand Slabs // Materials Today: Proceedings. 2022. Vol. 50. P. 986–992.

Nguyen T.V., Kim H.J. Recent Advances in Polymer Sand Technology for Sustainable Construction // Construction Materials. 2023. Vol. 16, iss. 1. P. 34–45. DOI: 10.3389/fmats.2023.1277567.

Menges W. Wastepaper fiber fractionation is the key at PWAs Redenfelden mill // Pulp and Paper. 1984. Vol. 58. P. 118–122.

Recycled Fiber and Deinking (Papermaking Science and Technology. Book 7). Jyväskylä, 2000. 649 p.

References

Dulkin D.A. Development of scientific foundations and improvement of the processes of paper and cardboard technology from waste paper: diss. ...Doctor of Technical sciences. Arkhangelsk, 2008. 352 p. (In Russ.)

Dulkin D.A., Spiridonov V.A. System analysis – the basis for optimizing the process of preparing waste paper. *Development of resource-saving technologies for the production of paper and cardboard from secondary fibrous raw materials*: mater. of 4th int. sci.-tech. conf. Karavaevo, 2003, pp. 49–54. (In Russ.)

Dulkin D.A., Spiridonov V.A., Mironova V.G., Vereshchak V.V. Analysis of the efficiency of technological schemes for the production of waste paper. *Development of resource-saving technologies for the production of paper and cardboard from secondary fibrous raw materials*: mater. of 4th int. sci.-tech. conf. Karavaevo, 2003, pp. 54–59. (In Russ.)

Dulkin D.A., Mironova V.G., Yuzhaninova L.A. Strengthening of scientific justification – a way to increase the efficiency of the use of secondary fiber. *Theory and technology of paper and cardboard products from secondary fibrous raw materials*: mater. of 5th int. sci.-tech. conf. Pravda-Karavaevo, 2004, pp. 23–27. (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.)

Forest Products Annual Market Review. UNECE, 2021-2022. 70 p.

Hansen E., Panwar R., Vlosky R. The Global Forest Sector: Changes, Practices and Prospects. New York City: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. 462 p.

Khan A.A., Ghafoor K. Innovative Techniques for the Production of Polymer Sand Slabs. *Materials Today: Proceedings*, 2022, vol. 50, pp. 986–992.

Komarov V.I., Yablochkin N.I., Dulkin D.A., Koverninsky I. N. Formation of test liner properties in the production process. Arkhangelsk: Publishing house of ASTU, 2005. 162 p. (In Russ.)

Kovaleva O.P. Recycling of secondary fibrous raw materials – waste paper: problems of the present and the future. *Waste paper recycling technology*: mater. of 6th int. sci.-tech. conf. Karavaev–Pravda, 2005, pp. 22–24. (In Russ.)

Kovaleva O.P. Features of the preparation of waste paper mass for the preparation of fluting and test liner. *New in technology and equipment for the production of corrugated cardboard and corrugated packaging*: coll. of works of int. sci.-tech. conf. St. Petersburg, 2007, pp. 62–64. (In Russ.)

Menges W. Wastepaper fiber fractionation is the key at PWAs Redenfelden mill. *Pulp and Paper*, 1984, no. 58, pp. 118–122.

Nguyen T.V., Kim H.J. Recent Advances in Polymer Sand Technology for Sustainable Construction. *Construction Materials*, 2023, vol. 16, iss. 1, pp. 34–45. DOI: 10.3389/fmats.2023.1277567.

Recycled Fiber and Deinking (Papermaking Science and Technology. Book 7). Jyvaskyla, 2000. 649 p.

Savitsky A.S., Shevlyakov A.A. The main directions of processing solid industrial and household waste. *Technology and equipment for wood processing*: collection of scientific papers, 2000, iss. 312, pp. 125–129. (In Russ.)

Smolin A.S., Dubovy V.K. The current state and problems of the use of 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*: mater. of 7th int. sci.-tech. conf. Karavaev, 2006, pp. 6–7. (In Russ.)

Smolin A.S., Komarov V.I., Dubovy V.K., Beloglazov V.I. Technology of corrugated cardboard: a textbook. Part I. St. Petersburg: SPbGTURP, 2014. 146 p. (In Russ.)

Vanchakov M.V., Dubovy V.K., Kuleshov A.V., Konovalova G.N. Technology and equipment for recycling waste paper: textbook. Part II. 2nd ed., rev. and add. St. Petersburg: SPbGTURP, 2011. 84 p. (In Russ.)

Yablochkin N.I., Komarov V.I., Koverninsky I.N. Waste paper in cardboard technology. Arkhangelsk: Publishing house of AGTU, 2004. 252 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 05.02.2025

Зайцев А.В., Дубовый В.К., Ковернинский И.Н., Симонова Е.И. Исследование качества полимерпесчаных плит с использованием отходов макулатуры МС-5Б и МС-6Б как эффективного связующего // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 255. С. 428–442.* DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.428-442

Переработка макулатуры марки МС-5Б в тест-лайнер и флутинг на ОАО «Каравасово» сопровождается накоплением отходов. Неизбежность образования отходов и необходимость утилизации на полигоне приводят к значительным финансовым издержкам, поэтому переработка отходов является актуальной проблемой переработки макулатуры. Смесь отходов макулатуры была фракционирована на пластики, волокно, дерево, минералы, металлы, резину, ткань. Установлено, что общее содержание пластика и волокна составляет в отходах более 71% и может быть использовано в полном объеме в качестве связующего в термопрессовочной технологии. Для определения качественных характеристик полимерпесчаных плит были определены количественные параметры потребительских свойств при заданных геометрических размерах образцов полимерпесчаных плит. В исследовании показано влияние содержания отходов макулатуры в композиции в качестве связующего полимерпесчаных плит на их свойства. Показано влияние добавок фракционированного полипропилена в композицию полимерпесчаных плит, содержащих в своем составе отходы макулатуры в качестве связующего.

Ключевые слова: макулатура, отходы макулатуры, полимерпесчаные плиты, связующее, минеральный наполнитель, соотношение компонентов, прочность при статическом изгибе, ударная вязкость, водопоглощение, истираемость.

Zaitsev A.V., Dubovy V.K., Koverninsky I.N., Simonova E.I. Quality study of polymer-sanded slabs using MS-5B and MS-6B waste paper as an effective binder. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicoskoj Akademii*, 2025, iss. 255, pp. 428–442 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.255.428-442

The recycling of MS-5B waste paper into a test liner and fluting at JSC Karavaevo is accompanied by the accumulation of waste. The inevitability of waste generation and the need for disposal at the landfill requires significant financial costs, therefore waste recycling is an urgent problem of waste paper recycling. The waste paper mixture was fractionated into plastics, fiber, wood, minerals, metals, rubber, and fabric. It has been established that the total content of plastic and fiber in waste is more than 71% and can be fully used as a binder in thermal compression technology. To determine the qualitative characteristics of polymer-sanded plates, quantitative parameters of consumer properties were determined for the specified geometric

dimensions of polymer-sanded plates samples. The study shows the effect of the content of waste paper in the composition, as a binder, of polymer-sanded plates on their properties. The effect of additives of fractionated polypropylene in the composition of polymer-sanded plates containing waste paper as a binder is shown.

Key words: waste paper, waste paper, polymer-sanded plates, binder, mineral filler, component ratio, strength under static bending, impact strength, water absorption, abrasion resistance.

ЗАЙЦЕВ Артем Валерьевич – аспирант Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, ResearcherID: MXK-9856-2025. ORCID:0009-0000-7980-0382.

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. ResearcherID: MXK-9856-2025. ORCID: 0009-0000-7980-0382.

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, доктор технических наук. ResearcherID: IDW 1235-2017. ORCID: 0000-0002-2903-3872.

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

DUBOVY 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. ResearcherID: IDW 1235-2017. ORCID: 0000-0002-2903-3872.

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

КОВЕРНИНСКИЙ Иван Николаевич – доктор технических наук, профессор, Индивидуальный предприниматель. ResearcherID: MXL-0122-2025. ORCID: 0000-0002-7413-6790.

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

KOVERNINSKY Ivan N. – DSc (Technical), Professor, Individual Entrepreneur. ResearcherID: MXL-0122-2025. ORCID: 0000-0002-7413-6790.

127591. Dubninskaya str. 40A. Build. 1. Apt. 11. Moscow. E-mail: kovern@list.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. ResearcherID: AFK-9147-2022. ORCID:0000-0002-3657-030X.

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. ResearcherID: AFK-9147-2022. ORCID:0000-0002-3657-030X.

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