

УДК 691.175.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

**Барактенко В.В., Бурдонов А.Е., Зелинская Е.В., Толмачева Н.А.,  
Головнина А.В., Самороков В.Э.**

*ФБГОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет»,  
Иркутск, e-mail: barakhtenkov@gmail.com*

Проанализированы виды промышленных отходов, которые могут применяться в качестве сырья для изготовления различных строительных материалов, в зависимости от свойств этих отходов. Дана оценка потенциалу Иркутской области по количеству и разнообразию отходов, которые могут стать материалами для производства строительных изделий различного назначения. В качестве решения проблемы утилизации крупнотоннажных производственных отходов нами предлагается совместное использование золы уноса тепловых электростанций и отходов полимерной промышленности для изготовления негорючего композиционного отделочного материала для наружного и внутреннего применения. Представлены проведенные в сертифицированных лабораториях исследования по изучению физико-механических свойств изделия «террасная доска» из полученных полимерно-минеральных композиционных материалов. Показаны результаты по испытанию пожарной опасности новых строительных материалов на основе промышленных отходов.

**Ключевые слова:** композиты, термопласты, зола уноса, огнестойкие материалы

## INVESTIGATION OF MODERN BUILDING MATERIALS BASED INDUSTRIAL WASTE

**Barakhtenko V.V., Burdonov A.E., Zelinskaya E.V., Tolmacheva N.A.,  
Golovnina A.V., Samorokov V.E.**

*Irkutsk state technical university, Irkutsk, e-mail: barakhtenkov@gmail.com*

Analyzed types of industrial waste, which can be used as raw materials for various construction materials, depending on the properties of the waste. The estimation of the potential of the Irkutsk region in quantity and variety of waste that may be material for the manufacture of building products for different purposes. As a solution to the problem of disposing of large industrial waste, we propose the joint use of fly ash thermal power plants and waste plastics industry for the manufacture of fire-retardant composite decorative material for indoor and outdoor use. Presented conducted in certified laboratories studies on the physical and mechanical properties of the product, «decking» of the resulting polymer-mineral composite materials. The results for testing the fire hazard of new building materials based industrial wastes.

**Keywords:** composites, thermoplastics, fly ash, fire-resistant materials

Материалоемкость производства строительных материалов определяется количеством сырья, израсходованного на их производство, к общему объему выпущенной продукции. Одним из направлений снижения материалоемкости является применение производственных отходов в качестве основного сырья для производства новых строительных изделий.

Большинство отходов, образовавшихся в результате деятельности предприятий, представляют собой техногенное сырье для производства таких продуктов, как кирпич, известь, цемент и др. Учитывая, что техногенное сырье сходно с природным по составу и физическим свойствам и даже обладает рядом преимуществ (термическая обработка, повышенная дисперсность и др.), то изготовление стройматериалов из него является обычно выгодным и оправданным [4, 5].

Промышленные отходы в производстве строительных материалов используются в мировой и российской практике давно. Но вместе с этим степень использования отходов промышленности для производства стро-

ительных материалов и конструкций в настоящее время весьма невелика. Во время сегодняшнего роста объемов строительства жилья возрастает потребность в обеспечении строительной индустрии высокоэффективными, относительно дешевыми и экологически чистыми стройматериалами.

Основной целью данной работы являлось установление возможности использования крупнотоннажных минеральных отходов в качестве наполнителя для получения нового типа огнестойкого строительного материала, отвечающего современным требованиям безопасности и обладающего необходимыми конкурентными преимуществами.

### **Виды отходов для производства строительных материалов**

Рассмотрим некоторые виды промышленных отходов, которые могут использоваться для производства стройматериалов. Например, проблема в области переработки золошлаковых отходов теплоэнергетического комплекса стоит особенно остро.

В последнее время предприятиям этого направления уделяется особое внимание. Золошлаки (ЗШМ) могут использоваться в производстве кладочных растворов; ячеистых бетонов; как заполнители в легких и тяжелых бетонах; золошлаковые смеси используют в дорожном строительстве при сооружении земляного полотна, для устройства укрепленных оснований; изготовления силикатного и керамического кирпича [3]. Тем не менее основной объем ЗШМ не используется, а складировается в золоотвалах.

Еще одним перспективным направлением является утилизация отходов термопластичных полимеров методом вторичной переработки с целью получения различных изделий, в том числе для строительной индустрии. Отходы пластмасс подвергаются предварительной сортировке, очистке от инородных включений, а далее измельчению, агломерации и грануляции. Гранулы уже выступают сырьем для переработки на экструзионных линиях и в термопластавтоматах в различные изделия: плиты, панели, профили и др.

Потенциал Байкальского региона по объему и разнообразию описанных выше отходов для производства строительных материалов представляется особенно высоким [4, 1].

В связи с чем одним из наиболее выгодных решений проблемы крупнотоннажных промышленных отходов как с точки зрения экономики, так и экологии и ресурсосбережения является производство огнестойкого конструкционного строительного материала на основе золы уноса и термопластичного полимера.

Данная статья посвящена исследованиям по созданию отделочных и конструкционных материалов на основе отходов теплоэнергетики (зола уноса) и полимерной промышленности (поливинилхлорид), поэтому рассмотрим подробнее их свойства.

При изучении свойств зол уноса были определены основные характеристики и сформулированы основные требования к отходам поливинилхлорида (ПВХ) и золе уноса как к сырью для производства стройматериалов.

Отходы ПВХ – связующее для исследуемых полимерно-минеральных композиционных материалов, должны удовлетворять следующим требованиям: отходы ПВХ должны быть измельчены до размера фракций 1–5 мм, что обусловлено технологией их вторичной переработки (экструзия); при производстве могут быть использованы производственные отходы ПВХ (некондиционное сырье и бракованные изделия), так как данный термопласт встречается наиболее часто; для производства должны использоваться производственные отходы

ПВХ постоянного химического состава, молекулярного веса и степени деструкции, чтобы производимые материалы имели одинаковые характеристики; отходы ПВХ не должны содержать посторонних механических и химических примесей, т.к. они моментально выводят из строя все перерабатывающие агрегаты: смесители, литьевые машины, экструдеры.

Зола уноса – наполнитель в композиции, должна удовлетворять следующим требованиям: соответствовать требованиям НРБ 99/2009; иметь сертификат соответствия и санитарно-эпидемиологическое заключение; иметь минимальное содержание серы (менее 0,1%) и углерода (менее 1%); влажность золы должна быть не более 1%; используемая зола уноса должна иметь стабильные качественные характеристики; оптимальный фракционный состав золы – 0,1–3 мкм.

#### **Результаты исследований по использованию отходов промышленности для изготовления строительных материалов**

На кафедре обогащения полезных ископаемых и инженерной экологии им. С.Б. Леонова в Иркутском государственном техническом университете разработан огнестойкий композиционный материал – винизол – конструкционный и отделочный материал, изготовленный из отходов ПВХ и золы уноса ТЭЦ, получаемый методом экструзии.

Он обладает не меньшей прочностью, чем современные отделочные и конструкционные материалы (древесина, пластик, древесно-полимерные композиты), но значительно превосходит их по огнестойкости, морозоустойчивости, химической стойкости, водостойкости, биологической стойкости (гниение, воздействие насекомых, плесени и т.д.) и долговечности. Применение винизола как строительного и отделочного материала сможет частично заменить пластик и древесину снаружи и внутри зданий. Данный строительный материал применим для обшивки домов, фасадной панели, декинга, мебели, патио, черепицы, морских пирсов, дверей, оконных и дверных рам, шпона и т.д.

Результатом проведенных экспериментальных исследований подтверждена возможность совместного использования промышленных отходов (золы уноса и полимеров) для изготовления строительных материалов различного назначения.

#### **Исследование полученных материалов**

Исследования физико-механических свойств изделия «террасная доска» из полимерно-минерального композита

(содержание наполнителя 40%) проводились в НИЦ «Древесно-полимерные композиты», г. Москва, с целью определения качественных показателей материала. Ре-

зультаты испытаний приведены в табл. 1 (нормативное значение для изделия «террасная доска» из древесно-полимерного композита).

Таблица 1

Технические характеристики террасной доски из ПМК

Показатели	Технические характеристики	Значение	Норма*	
Водостойкость при вымачивании в воде 24 часа при $20 \pm 1^\circ\text{C}$	Водопоглощение, %	0,2	< 2	
	Разбухание по длине, %	0,24	< 1	
	Разбухание по ширине, %	0,31		
	Разбухание по толщине, %	0,37		
Водостойкость при кипячении 2 часа	Водопоглощение, %	0,36	< 5	
	Усадка по длине, %	-1,1	< 1,5	
	Разбухание по ширине, %	0,62		
	Разбухание по толщине, %	0,62		
Физико-механические характеристики материала	Плотность, кг/м	1637	-	
	Твердость при вдавливании шарика, Н/мм <sup>2</sup>	200	> 90	
	Ударная вязкость по Шарпи без надреза, кДж/м <sup>2</sup>	10	> 3,5	
	Предел прочности при изгибе, МПа	52	> 25	
	Предел прочности при растяжении, МПа	18,9	> 10	
	Удельное сопротивление выдергиванию шурупов, Н/мм	330	> 120	
Несущая способность профильной доски	Разрушающая нагрузка доски при расстоянии между опорами 400 мм	кгс	540	-
		Н	5292	> 2000

Из данных табл. 1 видно, что террасная доска обладает низкими значениями водопоглощения и разбухания при вымачивании в воде за 24 часа, что характеризует ее геометрическую стабильность. В то же время при кипячении образцов в течение 2-х часов наблюдается некоторая усадка по длине, что говорит о внутренних напряжениях.

Образец доски характеризуется высокой плотностью свыше 1600 кг/м<sup>3</sup>. По данным испытательного центра [2], значение этого показателя для доски находится в диапазоне 1100–1300 кг/м<sup>3</sup>, т.к. превышение его не рекомендуется чисто из экономических соображений. Однако при этом изделие обладает высокой твердостью и повышенными значениями показателя прочности при изгибе модельного образца – 52 МПа (при требуемом не менее 25 МПа). Разрушающая нагрузка конструкции – 5292 Н (при требовании не менее 2000 Н).

Также материал достаточно пластичен при отрицательных температурах. Ударная вязкость по Шарпи – 10 кДж/м<sup>2</sup>.

Вместе с исследованиями, проведенными в специализированном центре, также были проведены лабораторные испытания материала на твердость поргативным твердомером ТЭМП-2.

Принцип измерения твердости динамический – по соотношению скоростей па-

дения и отскока ударника, преобразуемым прибором в числа твердости выбранной пользователем шкалы. Шкалы твердости программируются в прибор по образцовым мерам твердости (или образцам с известной твердостью) и хранятся в его энергонезависимой памяти. Твердость по шкале Бринелля выражают в кгс/мм<sup>2</sup> ( $1 \text{ кгс/мм}^2 = 9,81 \cdot 10^6 \text{ Па} \approx 10 \text{ МПа}$ ).

Измерения твердости производились по шкале Бринелля (НВ). В качестве образцов были выбраны материалы, рецептуры которых имеют различное содержание наполнителя и вспенивающего агента (т.е. материал имел пористую структуру), результаты измерений в табл. 2.

Анализ измерений показывает, что с увеличением количества наполнителя повышается значение твердости материала. Также выяснено, что невспененный материал (№ 4) обладает более высокой твердостью по сравнению со вспененным образцом такой же наполненности (№ 3). Следовательно, на твердость материала влияет степень наполнение композиции, а также наличие вспенивающего агента, т.е. наличие у материала пор.

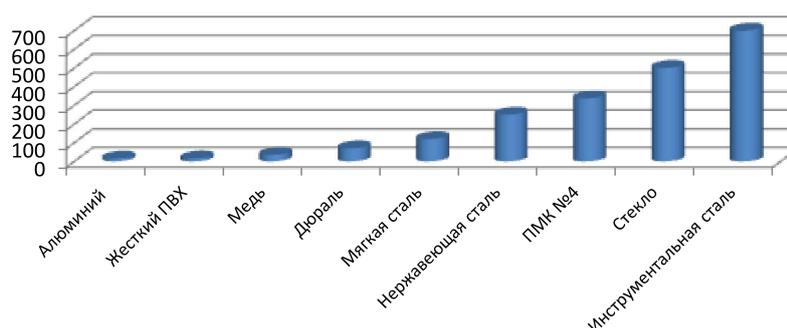
Значения твердости для различных материалов в сравнении с ПМК представлены на диаграмме (рисунк) [5].

Таблица 2

Показатели твердости ПМК по шкале Бринелля (НВ)

Тип образца	Значение										Среднее значение, НВ	Композиция
	299	274	321	312	302	303	279	324	299	317		
ПМК № 1	299	274	321	312	302	303	279	324	299	317	303	25 % зола уноса, вспениватель,
ПМК № 2	331	297	313	323	307	307	328	321	308	323	315,8	30 % зола уноса
ПМК № 3	332	317	342	349	309	275	318	316	315	353	322,6	40 % зола уноса, вспениватель
ПМК № 4	336	328	330	360	340	353	337	324	342	323	337,3	40 % зола уноса

### Значение твердости, НВ



Показатели твердости некоторых материалов и полимерно-минерального композита (рецептура ПМК № 4)

Исходя из данных графика, ПМК по показателю твердости уступает только стеклу и инструментальной стали. Вместе с этим композит, содержащий 40% золы уноса, во много раз превосходит жесткий ПВХ по твердости.

В независимой испытательной лаборатории пожаровзрывобезопасности (НИЛ ПВБ) ООО «НПО ПОЖЦЕНТР» (г. Москва) в соответствии с требованиями Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» материал ПМК прошел исследования по пожарной опасности. Испытания показали, что ПМК относится:

- к группе материалов с умеренной дымообразующей способностью (Д2) по ГОСТ 12.1.044-89;
- к группе умеренноопасных материалов (Т2) при испытаниях по ГОСТ 12.1.044-89;
- в сочетании с негорючей основой ПМК относится к группе умеренновоспламеняемых (В2) при испытаниях по ГОСТ 30402-96;
- к группе нераспространяющих пламя (РП1) при испытаниях по ГОСТ Р 51032-97;
- к группе умеренногорючих (Г2) при испытаниях по ГОСТ 30244-94 [6].

Таким образом, исследуемый материал соответствует требованиям № 123-ФЗ и может использоваться для изготовления современных строительных материалов.

### Выводы

Показана общая информация по возможности использования промышленных отходов в изготовлении современных конструктивных строительных композитов, а также перспективы Байкальского региона в производстве таких материалов.

Рассмотрение различных видов промышленных отходов для производства строительных материалов выявило перспективу совместного использования отходов термопластов в качестве полимерной матрицы и золы уноса в качестве минерального наполнителя.

Представленное решение проблемы – изготовление огнестойкого строительного материала с улучшенными по сравнению с аналогами механическими свойствами.

В результате испытаний в специализированном центре «ДПК-Испытания» (г. Москва) было доказано, что минеральный наполнитель зола уноса положительно влияет на физико-механические свойства исследуемого материала.

Испытания пожарной опасности в научно-исследовательском центре ООО «НПО ПОЖЦЕНТР» также подтвердили возможность использования полимерно-минерального композита винизол в качестве строительного материала.

Приведенные данные по испытаниям свойств показывают, что материал винизол

обладает всеми необходимыми положительными потребительскими характеристиками, что обеспечивает его перспективность и конкурентоспособность в стройиндустрии.

*Материалы подготовлены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ ГК 14.132.21.1810 – ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.; проект 3.1.2/11868 – АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)».*

#### Список литературы

1. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2010 году – Иркутск: ООО Форвард, 2011. – 400 с.
2. Заключение по испытаниям образцов полимерно-минерального материала. ООО НИЦ «ДПК». – М., 2012.
3. Комплексная технология переработки сухих зол уноса ТЭЦ // Иркутскзолпродукт: публикации, 2010. URL: <http://www.zolprod.irkutskenergo.ru/qa/publications.html> (дата обращения: 01.08.2013).
4. Костюкова Е.О., Барахтенко ВВ., Зелинская Е.В., Шутов Ф.А. Промышленные отходы – сырье для строительных материалов будущего: Иркутский регион // Экология урбанизированных территорий (Перечень ВАК). – 2009. – № 4. – С. 73–78.
5. Метод Бриннеля // Wikipedia The free encyclopedia URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 01.08.2013).
6. Отчет об испытаниях № 693/РД для подтверждения соответствия продукции требованиям пожарной безопас-

ности в форме декларирования. НИЛ ПВБ ООО «НПО ПОЖЦЕНТР». – М., 2010. – 9 с.

#### References

1. State report on the state and protection of the environment of the Irkutsk region in 2010 – Irkutsk: Forward LLC, 2011. 400 p.
2. The conclusion of the testing of samples of polymer-mineral material. ООО SRC «ДПК», Moscow, 2012.
3. Complex technology of processing of dry fly ash CHP. Irkutskzoloprodukt: Publications, 2010. URL: [www.zolprod.irkutskenergo.ru/qa/publications.html](http://www.zolprod.irkutskenergo.ru/qa/publications.html) (date accessed: 01.08.2013).
4. Kostyukova EO, Barahtenko V.V., Zielinskaya E.V., Shutov F.A. Industrial waste – raw materials for the building materials of the future: the Irkutsk region. Ecology of urban areas (List WAC). 2009. no. 4, pp. 73–78
5. Method Brinell. Wikipedia The free encyclopedia URL: [wikipedia.org/wiki](http://wikipedia.org/wiki) (date accessed: 01.08.2013).
6. Test report number 693-RD to confirm product compliance with fire safety in the form of declaration. NEIL PVB «NPO POZHSENTR». M., 2010. 9.

#### Рецензенты:

Груничев Н.С., д.т.н., профессор, директор ООО «Институт безопасности и труда», г. Иркутск;

Федотов К.В., д.т.н., профессор, генеральный директор ООО «Научно-исследовательский и проектный институт «Технологии обогащения и обработки минерального сырья», г. Иркутск.

Работа поступила в редакцию 14.10.2013.