

УДК 628.4.038:658.567.1

**Стефаненко И.В.** – кандидат технических наук, генеральный директор ООО «ЛУКОЙЛ-Волгоградэнерго»

E-mail: [red\\_scorpion@list.ru](mailto:red_scorpion@list.ru)

**Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет**

## **ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПЕРЕРАБОТКЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

### **АННОТАЦИЯ**

Промышленность строительных материалов – ресурсоемкая отрасль.

Предлагается резко сократить расход минерального сырья, топлива и электроэнергии за счет широкого внедрения ресурсосберегающих технологий при условии частичной замены природного сырья отходами промышленности и населения: золами, шлаками, фосфогипсом, скопом, изношенными автомобильными шинами и т.п.

Исследования показали, что радиационная технология характеризуется высокими технико-экономическими показателями и может внести существенный вклад в решение основных задач отрасли.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** эффективные технологии, строительные материалы, ресурсосберегающие технологии, отходы промышленности, золы, шлаки, фосфогипс, скоп, изношенные шины.

**Stefanenko I.V.** – candidate of technical sciences, general director Limited Liability Company «Lukoil-Volgogradenergo»

**Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering**

## **EFFECTIVE TECHNOLOGIES IN RECYCLING OF MANUFACTURING WASTE AND DOMESTIC HOUSEHOLD WASTE**

### **ABSTRACT**

The industry of building materials is a resource – intensive field.

It is suggested to shorten sharply the spending of minerals, fuel, and electric energy by large-scale implementation of resource-saving technologies provided that natural raw material will be partly replaced by manufacturing waste and domestic household waste, for example, refuse burnout, cinders, phosphogypsum, savings, worn – out auto tires etc.

The research has indicated that radiation technology with high technical and economic performances can contribute greatly to the solution of major problems of the field.

**KEYWORDS:** effective technologies, building materials, resource-saving technologies, manufacturing waste, calces, cinders, phosphogypsum, savings, used tires.

Промышленность строительных материалов – ресурсоемкая отрасль. Она – одна из крупнейших в стране потребителей природного сырья, топлива, электроэнергии и др. В этой отрасли ежегодно перерабатывается свыше 3 млрд. м<sup>3</sup> природного сырья, потребляется свыше 70 млн. т условного топлива, 50 млрд. кВт·ч электроэнергии [1]. Расходы на сырье, топливо и электроэнергию составляют более 60 % от общих затрат на производство строительных материалов; на долю топливно-энергетических ресурсов в структуре материальных затрат приходится 36 % [2]. Для рационального расходования природного сырья планируется широко использовать материалы попутной добычи, вторичные продукты в производстве цемента, кирпича, ячеистого бетона, пористых наполнителей, отходы термопластов, отходы бумажной промышленности и др., обеспечить экономию органического топлива в результате использования возобновляемых источников энергии. Планируется резко сократить расход минерального сырья, топлива и электроэнергии за счет широкого внедрения ресурсосберегающих технологий, снижения расхода материалов и трудоемкости выпуска продукции, устранения потерь сырья, топлива и энергии. При ежегодном потреблении около 3 млрд. т природного сырья промышленность

строительных материалов может существенно улучшить состояние охраны окружающей среды при условии частичной замены природного сырья отходами промышленности и населения: золами, шлаками, фосфогипсом, скопом, изношенными автомобильными шинами и т.п.

При использовании такого сырья себестоимость материалов в отрасли может быть снижена на 4-5 % с одновременным увеличением доли производства строительных материалов в общем выпуске до 20 % в год.

Краткое рассмотрение проблем промышленности строительных материалов [1, 3-5] показывает, что радиационная технология (РТ) может внести существенный вклад в решение основных задач отрасли с высокими технико-экономическими показателями. Из всего многообразия применяемых наиболее перспективных процессов РТ в промышленности строительных материалов следует выделить процессы радиационного модифицирования древесины, бетона, асбестоцементных материалов, отделочных плиток, производства полимерных труб и других сантехнических изделий, элементов отопительных систем, радиационного отверждения покрытий [5].

Для планируемого жилого, промышленного, общественного, сельского и гидротехнического строительства необходимо производить около 200 млн. м<sup>3</sup> бетона и железобетона в год. При обеспечении, например, выпуска изделий из бетонополимера в объеме 1 % от указанного объема производства это может фактически заменить 4-6 % объема конструкций из железобетона, сэкономить более 0,6 млн. т проката и позволит отказаться от строительства 2/3 крупных металлургических заводов.

Производство 300 тыс. т радиационно-модифицированных полиэтиленовых труб и сантехнических изделий позволит заменить 1,5-2 млн. т металлических труб, что составит более 1,5 % программы 2010 г. по всем водопроводным и газовым трубам.

Крупным вкладом в решение задач стройиндустрии может быть внедрение радиационной технологии отверждения лакокрасочных покрытий на поверхности различных отделочных материалов. При отверждении каждого млн. м<sup>2</sup> покрытий ускоренными электронами будет сэкономлено более 3 млн. кВт·ч электроэнергии.

Курс на гуманизацию общества позволит сильнее заострить внимание на создании экологичного и удобного жилища, что повысит требования к отделке. Например, ежегодно в мире производится свыше 1200 млн. м<sup>2</sup> керамической отделочной плитки, причем около 60 % её производства приходится на страны Западной Европы, 18 % – на страны Южной Америки и около 5 % – на страны Северной Америки. По производству керамической отделочной плитки Россия отстает от передовых стран Западной Европы. В 2000 г. отечественной промышленностью было произведено 60 млн. м<sup>2</sup> керамической глазурованной плитки для внутренней облицовки стен, что составило чуть больше 3,5 % ее мирового производства, в 2001-2002 гг. ~ 2 %.

Жилищное и культурно-бытовое строительство требует значительного снижения себестоимости традиционных облицовочных материалов и разработки новых. Они должны быть по качеству не хуже традиционных облицовочных плиток, а по себестоимости – ниже.

Производство радиационно-модифицированных материалов и изделий за последние годы существенно расширилось и продолжает расширяться. За последние 30 лет в мире наблюдается увеличение общего объема производства модифицированных материалов и изделий [1, 3, 5, 7-9].

Анализируя тенденцию роста производства рассматриваемых материалов, следует отметить, что интенсивность их изготовления значительно увеличилась с 70-х годов, а расширение способов, методов и устройств переработки материалов в результате активной изобретательской работы в этой области – с 80-х годов. Интерес к этим работам и объем производства продолжает нарастать, судя по увеличению объема информации [1, 5].

Прогнозирование развития и применения радиационно-модифицированных строительных материалов и изделий показывает, что их производство к началу 2010 г. увеличено более чем вдвое, по сравнению с 1985 г. [2].

Данные по числу выданных патентов и авторских свидетельств в России, США, Великобритания, Японии, Франции, Финляндии, Канаде и в др. развитых странах, относящиеся к практической реализации процессов модифицированных материалов и изделий, свидетельствуют, что в период до 1965 г. по радиационной технологии производства материалов в мире было выдано всего 280 патентов и авторских свидетельств [5], к 1985 г. – около 3300, к концу 2000 г. – около 6000 [2], а к концу 2010 г. – более 8000.

Далеко не все патентные решения нашли практическое применение, однако большое число (более 1800) патентов, выданных только в период 1975-1985 гг., свидетельствуют о значительном развитии работ в области радиационной технологии производства и активного применения в стройиндустрии этих перспективных новых материалов (на основе отходов).

Основными стимулирующими факторами развития РТ являются: возможность получения новых композиционных материалов с высокими физико-химическими параметрами и организация безотходного производства, широкое использование отходов промышленности; высокая экономическая эффективность процессов, экологическая чистота (отсутствие загрязнения воздуха и воды), возможность организации производства практически в любых районах мира. Значительное место в области переработки и использования отходов промышленности занимают отходы деревообрабатывающей и бумажной промышленности (опилки, стружки, щепы, кора, листья, скоп и т.п.), а также отходы сельскохозяйственного растениеводства (биомасса хлопчатника, льна, конопли, подсолнечника, сахарного тростника и др.). В регионах нашей страны такие отходы ежегодно составляют десятки миллионов тонн [1]. В них содержится от 40 % до 60 % целлюлозы и других ценных компонентов, обеспечивающих при прессовании и обработке достаточные прочностные характеристики строительных материалов без дополнительного введения в их состав (в начальной стадии подготовки исходных изделий) различных смол. Это существенно сказывается на экономике производства строительных материалов и экологии региона.

В России в 1990 г. разработан проект промышленной линии с годовой производительностью 1,4 млн. м<sup>2</sup> радиационно-модифицированных волокнистых плит [5].

Отходы древесины или биомасса растений, измельченные до 3-5 мм, подаются через дозаторы в массбассейн, там перемешиваются с распушенной макулатурой, скопом, пигментом, различными добавками (в зависимости от состава сырья) и при необходимости придания плитам специальных свойств. После перемешивания смесь подается гидросистемой в отливочную машину непрерывного действия, где она постепенно обезвоживается. Вода возвращается в массбассейн для повторного использования. Отлитый таким образом волокнистый ковер в поддонах транспортируется конвейером в многоэтажный пресс, где одновременно прессуются 20 плит размером 2500x1200x4 мм (толщина плит может быть задана в пределах 3-20 мм). После прессования плиты обладают достаточными прочностными характеристиками: плотность не менее 900 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при изгибе не менее 15 МПа, влажность не более 6 %; набухание 60 %; водопоглощение 85 %.

Плиты обрезают по размеру, часть их укладывается роботом в кассеты для дальнейшей переработки, другая часть подается на склад готовой продукции.

Плиты в кассетах транспортируются для загрузки в радиационный аппарат (РА), представляющий собой герметичную емкость размерами 2500x1500x300 мм. РА имеет входы для подачи инертного газа, создания форвакуума и подачи пропитывающих составов. Заполненный РА направляется в пропиточную камеру, а после пропитки – в рабочую камеру гамма-установки на облучение. Для пропитки плит могут использоваться виниловые мономеры.

#### Основные свойства

древесных радиационно-модифицированных волокнистых (ДВП) плит:

плотность, не менее .....	1200 кг/м <sup>3</sup> ;
влажность, не более .....	2 %;
водопоглощение по массе за 24 ч., не более .....	6 %;
набухание по толщине, не более .....	4 %;
предел прочности при изгибе, не менее.....	40 МПа;
степень истираемости .....	0,11 г/см <sup>2</sup> ;
сопротивление удару.....	0,69 Дж/м <sup>3</sup> ;
твердость по Брюнеллю.....	98,1 МПа.

Радиационно-модифицированные волокнистые плиты могут применяться для покрытий полов жилых, производственных и животноводческих помещений, кровли зданий вместо шифера и железа, а также в виде конструкционного материала для обшивки стен и перегородок домов садовых участков, изготовления мебели, дверных проемов и встроенных шкафов жилых и производственных помещений.

Как известно, характеристику бетона определяет его структура, которая, в свою очередь, обуславливается структурой цементного камня и заполнителей. В теле камня имеются

многочисленные поры. Пористость существенно влияет на прочность и долговечность, определяет газо- и водонепроницаемость, морозостойкость камня. Для улучшения свойств бетона необходимо улучшать его структуру, т.е. увеличивать плотность и уменьшать пористость. Разработаны различные методы улучшения этих свойств [1, 5].

Радиационный способ получения БПМ, туфополимерных (ТПМ) и асбестоцементных материалов (АЦПМ), по сравнению с другими, способствует приданию им более высоких (на 7-15 %) физико-механических свойств. Прочностные показатели БПМ зависят от марок исходного бетона [1].

Технология получения БПМ, ТПМ и АЦПМ очень близка к технологии производства ДВП. Разработка технологии ДВП ускорила развитие прикладных работ по созданию изделий из других капиллярно-пористых материалов.

Технология производства БПМ, ТПМ, АЦПМ сводится к следующим операциям: изготовлению бетонных, асбестоцементных изделий или изделий из туфа по обычной технологии; сушке исходных изделий; охлаждению; загрузке изделий в РА; герметизации аппарата; вакуумированию РА; заполнению РА пропиточным составом; сливу остатка пропиточного состава; подаче инертного газа в РА; подаче РА с изделиями в рабочую камеру; радиационной полимеризации; извлечению РА из рабочей камеры облучения; продувке РА инертным газом; разгрузке РА; подаче изделий на склад готовой продукции.

Следует подчеркнуть, что для изготовления основы изделий, вместо песка и крупного заполнителя, например, в бетоне используются отходы производств, что не влияет на класс конечного изделия. Введение в бетон небольшого количества (при массовом содержании примерно 5 %) полимеров обуславливает значительное улучшение свойств готового изделия. Расчеты показывают [1], что с учетом свойств БПМ строительные конструкции из них могут быть облегчены на 25-30 %, что позволяет снизить расход цемента, металла и других материалов.

Гипс среди строительных материалов может занимать одно из ведущих мест. Это обусловлено большими запасами в России природного гипса и фосфогипса. Однако гипсовые материалы имеют низкие характеристики: водонестоек, низкие показатели к морозостойкости и др.

В последнее время расширяется использование радиационного метода в производстве гипсополимерных изделий [5]. Технологический процесс производства гипсополимерных мраморовидных облицовочных плит [1, 5] состоит из двух стадий: изготовление исходной гипсовой плиты и её радиационного модифицирования.

Изделия из гипса значительно изменяют свои свойства после пропитки их синтетическими смолами. Работы в этом направлении интенсивно ведутся и за рубежом [2, 5-9]. Предварительно отформованные гипсовые изделия пропитывают мономерами или олигомерами и подвергают полимеризации в порах материала термодаталитическим или радиационным методом. Радиационный способ помогает получить материал с более высокими физико-механическими свойствами; реакции полимеризации протекают при комнатной температуре и без участия химических инициаторов. Мономер можно использовать многократно, потери снижаются его только за счет испарения.

Технология производства гипсополимерных мраморовидных облицовочных плит предусматривает применение в качестве дополнительного компонента смеси фосфогипса [1, 5].

В этом случае фосфогипс используют в качестве добавки (как наполнитель) к обычному гипсовому вяжущему в массовой доле 20-70 %. При этом прочность исходных гипсовых плит значительно снижается. Однако после модифицирования фосфогипсополимерные плиты обладают прочностными характеристиками, сравнимыми с гипсополимерным материалом.

Важное свойство гипсо- и фосфогипсополимерных мраморовидных облицовочных плит – повышенная устойчивость к атмосферным и агрессивным воздействиям. Сокращение проникновения влаги и агрессивных веществ в эти материалы связано с заполнением пор и капилляров гипсовой матрицы пропитывающим мономером. После облучения прочность гипсополимера в 3-4 раза превышает прочность исходных прессованных гипсовых плит и изделий.

Проблема утилизации техногенных и бытовых отходов может быть решена без нарушения экологических зон воздуха, воды и муниципальных путей отвода жидких отходов районов и города в целом. Эту проблему можно решить комплексно с учетом уже имеющихся скоплений и ежегодного их роста.

Вся технология утилизации может быть разделена на стадии.

*Первая стадия* включает: грубую сортировку всех «лежалых» и «свежих» отходов, доставленных из города во время сбора. Эта сортировка предполагает разделение на зоны площади свалки и раздельное складирование техногенных отходов и бытовых строительного и химического происхождения, ведение учета адресата-отправителя и массы, сортировка техногенных отходов на «органические» и «неорганические», удаление жести и железа (магнитными ловушками).

*Вторая стадия* включает: удаление отходов строительного происхождения в овраги, на создаваемые дамбы, котлованы и др. (с учетом планирования застройки района). Диспетчерский информационный пункт управляет движением потоков грузов. Производится сушка органических и бытовых отходов. После сушки материалы поступают на промежуточные склады, либо сразу измельчаются до необходимой фракции, а затем поступают на склады сырья. Техногенные отходы строительного происхождения, не удаленные с территории полигона, также измельчаются и поступают на склад. В период работ на этих двух стадиях осуществляется радиационный и химический контроль отходов.

Этим заканчивается подготовительная сортировка отходов к следующим технологическим переделам.

Все техногенные отходы растительного происхождения независимо от места сбора измельчаются до 3-5 мм рубильной машиной, отсеиваются грохотом и собираются в бункер-накопитель. Далее через расходный бункер-дозатор отходы поступают в массный бассейн для перемешивания с добавками (макулатурой, красителями и др.), после чего подаются в отливочную машину, где убирается вода обратно в бассейн.

При активности гамма-установки 150 тыс. Ки производительность модифицированных плит составляет 300 тыс. м<sup>2</sup>/год, толщиной 4-20 мм. Длительность прессования 10-20 мин., привес мономера 30-40 %, поглощенная доза 15-20 кГр, длительность облучения 18-20 часов.

В качестве вяжущего материала для каменных и стекольных отходов в производстве модифицированных плит предлагается использовать гипс низких сортов. Отходы измельчаются до 3-7 мм. Со склада эти отходы через дозатор поступают в смеситель. Одновременно в смеситель поступает гипс и вода (30 % – гипса, 40 % – отходов, 30 % – воды). Для придания цветности изделиям могут применяться красители. Смесь поступает в пресс-формы. Окончательное уплотнение смеси и формование изделий, придание им гладкой поверхности осуществляют прессованием в гидравлическом прессе. Длительность прессования 2 мин., давление прессования 6 МПа. Плиты выталкивателем извлекают из пресс-форм и укладывают манипулятором в кассету. Кассета с плитами подается в сушильную камеру. Далее кассету с высушенными плитами устанавливают в РА, пропитывают ММА (привес мономера 14 %) и облучают на гамма-установке. Поглощенная доза 10 кГр, длительность облучения 20 час. Готовые плиты подаются на склад.

Использование каменных отходов крупных фракций (до 40 мм) производится при приготовлении бетонных блоков, колонн и др. конструкций (по технологии производства бетонов). Такие отходы целесообразно использовать на предприятиях ЖБИ. По статистике средний объем таких отходов на каждом полигоне составляет 5-10 %.

В производстве изделий с наполнителями используются термопластичные и термореактивные полимеры (бутылки, банки, посуда разового использования и др.). Выбор смол для производства осуществляется с учетом производимых на химических заводах региона изделий и их цен.

При использовании термопластичных полимеров (поливинилхлорида, полистирола) наполнители – высушенные бытовые отходы и измельченные до 0,5 мм после фракционирования – смешиваются с полимером в горячем состоянии. Температура зависит от температуры расплава данного полимера. Изделия производят литьем под давлением, шприцеванием, экструзией и вальцеванием. После раскроя изделия подаются на поток декорирования или на склад готовой продукции.

При использовании термореактивных полимеров (карбомидных, КФЖ и др.) для отверждения смолы применяется раствор хлористого аммония (1 % от массы смолы). Для повышения прочности при сжатии в состав композиции вводят порошкообразное вещество с развитой поверхностью, а для повышения прочности на изгиб – волокнистые наполнители.

Технологическое оборудование для производства плиток с термопластичными или термореактивными полимерами отличается только на стадии их формования. Изделия на основе термореактивов формируются методом горячего прессования, а на основе термопластичных – методом литья под давлением (т.е. могут использоваться роторные и быстрodeйствующие литьевые машины).

Готовые плитки проходят участок декорирования для придания им любой цветности и рисунка. Для этого изделия подаются на пластинчатый транспортер, на поверхность плитки наносят полиэфирный грунт с красителем толщиной 30-50 мкм, затем рисунок и полиэфирный лак. Изделия после нанесения лака и декоративного покрытия подаются под пучок электронов.

Указанные термопластические средства – типовые и изготавливаются в РФ. Участок декорирования может обработать изделия до 2 млн. м<sup>2</sup>/год.

Таким образом, можно использовать все отходы, поступающие на полигоны городов и населенных пунктов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов Ю.Д., Путилов А.В. Основы радиационной технологии в производстве строительных материалов. – М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2001.
2. Доклады IV Международной конференции «Ядерная энергетика в промышленности». – Обнинск, 25-29 июня 2000, Ядерное общество, 2000.
3. Козлов Ю.Д., Путилов А.В. Технология использования ускорителей заряженных частиц в индустрии, медицине и сельском хозяйстве. – М.: Энергоатомиздат, 1997.
4. Козлов Ю.Д. Радиационно-химическая технология в производстве строительных материалов и изделий. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
5. Козлов Ю.Д., Стефаненко И.В., Ермолаев С.В. и др. Высокие технологии с использованием источников ионизирующих излучений в промышленности: Учебное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 2006.
6. Transactions of the Second International Meeting on Radiation Processing // Ibid. 1979, vol. 14, № 1-6.
7. Fourth International Meeting on Radiation Processing // Invited Papers. October 4-8, 1982, Dubrovnic, Yugoslavia, 1982.
8. Радиационно-химическая модификация полимерных материалов. // Сборник докладов симпозиума СЭВ, Т. 1-2. – Варшава: Изд-во Института ядерных исследований, 1978.
9. Доклады четвертого Всесоюзного совещания по применению ускорителей заряженных частиц в народном хозяйстве (Ленинград, 28-30 сентября 1982 г.), т. 1-4. – Л.: НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, 1982. – 1045 с.

### REFERENCES

1. Kozlov Yu.D., Putilov A.V. Basics of radiating technology in manufacture of building materials. – M: Publishers «Ruda i metally», 2001.
2. Reports of IV International conference «Nuclear power in the industry». – Obninsk, on June, 25-29th 2000, the Nuclear society, 2000.
3. Kozlov Yu.D., Putilov A.V. Technology of the use of accelerators of charged particles in industry, medicine and agriculture. – M: Energoatomizdat, 1997.
4. Kozlov Yu.D. Radiation-chemical technology in manufacture of building materials and products. – M: Energoatomizdat, 1989.
5. Kozlov Yu.D., Stefanenko I.V., Ermolaev S.V., etc. High technologies with use of sources of an ionizing radiation in the industry: The manual. – M: Energoatomizdat, 2006.
6. Transactions of the Second International Meeting on Radiation Processing // Ibid. 1979, vol. 14, № 1-6.
7. Fourth International Meeting on Radiation Processing // Invited Papers. October 4-8, 1982, Dubrovnic, Yugoslavia, 1982.
8. Radiation-chemical updating of polymeric materials. // The collection of reports of symposium Council for Mutual CMEA, vol. 1-2. – Warsaw: Publishers Institute of nuclear researches, 1978.
9. Reports of the fourth All-Union meeting on application of accelerators of the charged particles in a national economy (Leningrad, on September, 28-30th, 1982), vol. 1-4. – L: NIIIEFA of D.V. Efremova, 1982. – 1045 p.