DOI:10.33942/sit.nes032 УДК 691.335

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Белкина И.
Преподаватель, ГрГу им. Янки Купалы, belkina_iv@grsu.by

Во введении указан объект исследования – полимерпесчаный материал, полученный с применением полимерных отходов. Произведен анализ литературных источников по теме исследования в области применения отходов в строительном материаловедении. Актуальным направлением переработки является использование полимерных отходов в качестве вяжущего для полимерпесчаного композита. Существующие же технологии основаны на использовании слабозагрязненных вторичных пластмасс. Использование отходов различных пластиков без предварительной подготовки не позволяет добиться стабильных результатов. Цель работы – определить возможность использования различных полимерных отходов без предварительной подготовки при создании полимерпесчаных материалов. В основной части работы произведен подбор оптимального соотношения вяжущего и заполнителя в полимерпесчаном материале, на основе полиструктурной теории. Представлены изображения внутренней поверхности изготовленных образцов. Проанализированы результаты испытаний на прочность при сжатии и изгибе. Выявлена зависимость прочностных характеристик от соотношения вяжущего и заполнителя в композите и принято оптимальное значение. Для состава с наилучшими прочностными показателями были определены дополнительные характеристики, после чего произведено сравнение с параметрами аналогичных бетонных изделий. Сделан вывод о целесообразности использования оптимального состава при изготовлении различных эффективных строительных изделий. Результаты исследований могут быть использованы нв предприятиях, а также в учебных и научно-исследовательских учреждениях.

Ключевые слова: *полимерпесчаный композит; полимерные отходы; рициклинг полимеров;*

RESEARCH OF COMPOSITE MATERIALS OBTAINED WITH THE USE OF SECONDARY POLYMERS

Belkina I.

The introduction indicates the object of study - polymer sand material obtained using polymer waste. The analysis of literary sources on the topic of research in the field of waste application in building materials science is carried out. The actual direction of processing is the use of polymer waste as a binder for polymer-sand composite. Existing technologies are based on the use of slightly contaminated secondary plastics. The use of waste of various plastics without preliminary preparation does not allow to achieve stable results. The purpose of the work is to determine the possibility of using various polymer wastes without preliminary preparation when creating polymer-sand materials. In the main part of the work, the optimal ratio of binder and filler in the polymer sand material was selected based on the multistructure theory. Images of the inner surface of the fabricated samples are presented. The results of compression and bending strength tests are analyzed. The dependence of the strength characteristics on the ratio of binder and aggregate in the composite is revealed and the optimum value is accepted. Additional characteristics were determined for the composition with the best strength characteristics, after which a comparison was made with the parameters of similar concrete products. It is concluded that it is advisable to use the optimal composition in the manufacture of various effective building products. Research results can be used in enterprises, as well as in educational and research institutions.

Key words: *polymer sand composite; polymer waste; polymer recycling;*

Введение

Современное мировое сообщество развивается стремительно. Одним из факторов успешного развития является увеличение количества новых производств и увеличение объемов выпускаемой продукции. Обратная сторона успешной производственной деятельности – увеличение объемов вредных выбросов в окружающую среду, сокращение лесных массивов и земель, пригодных для сельского хозяйства.

Для решения экологических проблем требуется консолидация усилий всех стран мира, направленных на создание безотходных производств и грамотную утилизацию отходов, накопившихся за многие годы.

Проектирование безотходных производств требует значительных временных ресурсов, в течение которых функционирование традиционных предприятий приведет к накоплению значительных объемов различных побочных продуктов основного производства.

В процессе жизнедеятельности самого человека образуется определенное количество отходов, требующих утилизации.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что проблема отходов в настоящее время является очень актуальной практически для любой страны мира, в том числе и для Республики Беларусь, а, следовательно, и научные исследования, связанные с разработкой технологий переработки отходов также являются актуальными.

1 Общие сведения о полимерных отходах

Разнообразие пластиков приводит к тому, что нельзя создать общую для всех видов технологию переработки. Разработка для каждого вида пластика отдельного способа переработки зачастую требует больших материальных затрат. Это связано с необходимостью сортировки и тщательной подготовки пластиков к дальнейшей их утилизации. Использование отходов различных пластиков без предварительной подготовки не позволяет добиться стабильных результатов.

В настоящее время все отходы из пластика можно разделить на две большие группы: промышленные и бытовые. Промышленные отходы относят к так называемым «чистым», т.е. они не требуют дополнительной сортировки, и доля переработки таких пластиков достигает 90-95 %, т.е. особой проблемы в утилизации промышленных пластиков нет.

Бытовые отходы пластиков – это чаще всего смесь разных видов пластиков, переработка таких отходов обычно не превышает 10 %.

Рассматривая бытовые отходы из пластика можно выделить ряд пластиков, которые чаще остальных встречаются среди твердых коммунальных отходов:

1) полиэтилен высокой плотности (HDP или HDPE) – один из самых безопасных видов пластиков, чаще всего используется в виде тары для молока;

2) полиэтилентерефталат (PET или PETE) – безопасен при одноразовом использовании, т.е. нагревать или использовать заново не рекомендуется, чаще всего используется в при производстве одноразовых бутылок для воды;

3) поливинилхлорид (PVC) – самый токсичный вид пластика, так как выделяет канцерогены, использование в пищевой промышленности нежелательно;

4) полиэтилен низкой плотности (LDPE) – низкотоксичен, применяется в производстве пищевых пленок;

5) полипропилен (PP) – вреден при производстве, но безопасен для потребителей, не устойчив к морозу и солнечному свету, используется в качестве упаковки для йогуртов, соломинок для коктейлей;

6) полистирол (PS) – выделяет такие канцерогены как бензол, бутадиен и стирол, иногда из него делают стаканчики для кофе и боксы для фасфуда;

7) поликарбонат (PC) возможно выделение бисфенола А, применяется при изготовлении пластиковых контейнеров для использования в микроволновых печах.

Считается, что объем образовавшихся полимерных отходов распределяется следующим образом:

- 25 % от всего объема полимерных отходов приходится на полиэтилентерефталат (PET или PETE);
- 15 % – отходы полиэтилена высокой плотности (HDP или HDPE);
- 15 % – отходы полиэтилен низкой плотности (LDPE);
- 13 % – отходы полипропилена (PP);
- 6 % – отходы полистирола (PS);
- 5 % – отходы поливинилхлорида (PVC);
- 21 % - прочие отходы, вторичное использование которых на данный момент затруднено.

Указанная выше статистика является весьма условной и может варьироваться очень сильно.

2 Разработка состава полимерпесчаных материалов, полученных с применением полимерных отходов

Определение оптимального соотношения вяжущего и заполнителя в полимерпесчаном материале. Полимерпесчаный материал можно отнести к разряду композитных материалов. Для композитных материалов при проектировании составов используют полиструктурную теорию, разработанную Соломатовым В.И. Сущность теории заключается в представлении материала полиструктурным, т.е. в выделении в единой структуре многих взаимозависимых структур – от атомного уровня до грубых составных структур цельных строительных элементов – прорастающих одна в другую («структура в структуре» или «композит в композите»). В рамках полиструктурной теории впервые четко определены основные структурообразующие факторы для каждого структурного уровня и получены количественные зависимости свойств композитов от этих факторов [1,2].

Важнейшим недостатком переработки пластмасс является ухудшение их свойств в зависимости от количества циклов переработки. Данная проблема рассмотрена множеством авторов [3-5]. При переработке полиэтилентерефталата следует учитывать температурные характеристики материала [6]. При этом, при более медленном нагреве полимер не может достигнуть равновесного плавления, постоянно находясь в зоне предельной кристалличности. В случае, когда скорость повышения температуры извне превышает скорость разрушения кристалла, происходит перегрев полимера, и, как следствие, деструкция [7]. Исследования материалов производились на основании [8-14].

Пустотность песка стала оправной точкой для установления оптимального расхода вяжущего. Поэтому первоначально эмпирическим путем определили пустотность песка. При этом песок предварительно просеивался через требуемые сита для получения следующих крупностей:

- 0-0,25 мм;
- 0,25-0,63 мм;
- 0,63-0,9 мм;
- 0,25-0,9.

Разный размер частичек песка нужен для формирования наиболее плотной структуру полимерпесчаного материала и для определения влияния крупности песка на физико-механические характеристики материала.

Пустотность заполнителя, определенная эмпирически, представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 Пустотность песка, определенная эмпирическим путем

№ п/п	Крупность частиц заполнителя, мм	Пустотность, %
1	0-0,25	32,3
2	0,25-0,63	38,1
3	0,63-0,9	34,2
4	0,25-0,9	33,2

Как видно из таблицы 3.1 объём пустот заполнителя при различной крупности находится в интервале 32,3 до 38,1 %. При этом, чем меньше размер песка, тем меньше его пустотность. Применение песка без мелкой фракции, т.е. в пределах от 0,25 мм до 0,63 мм, приводит к образованию наибольшей пустотности. Это, скорее всего, приведет и к падению прочности на сжатие полимерпесчаных образцов, изготовленных с таким количеством заполнителя.

В связи с тем, что полиструктурная теория определения оптимального значения расхода вяжущего может быть применена только к так называемым «чистым» материалам, а в диссертации используются отходы полимеров, то для установления оптимального массового соотношения между вяжущим и заполнителем определяли опытным путем.

При определении оптимального соотношения отправной точкой стало соотношение 30/70, так как такое соотношение используется большинством производителей. Кроме соотношения 30/70 еще в исследованиях приняты соотношения 40/60 и 20/80. Увеличение количества песка свыше 80 % будет бессмысленным, так как в этом случае вяжущего не хватит для обволакивания всех частиц заполнителя. Уменьшение расхода песка менее 30 % - приведет к созданию структуры в которой количество вяжущего будет значительно больше объема пустотности заполнителя.

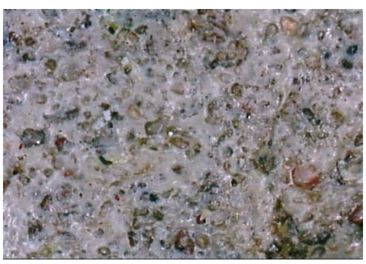
С учетом всего вышеперечисленного было решено выполнить образцы в которых соотношением полимера к песку будет следующим: 40/60, 30/70 и 20/80. Крупность частиц песка изначально принята в диапазоне от 0,25 мм до 0,9 мм. Результаты испытаний прочности на сжатие и изгиб приведены в таблице 2.2.

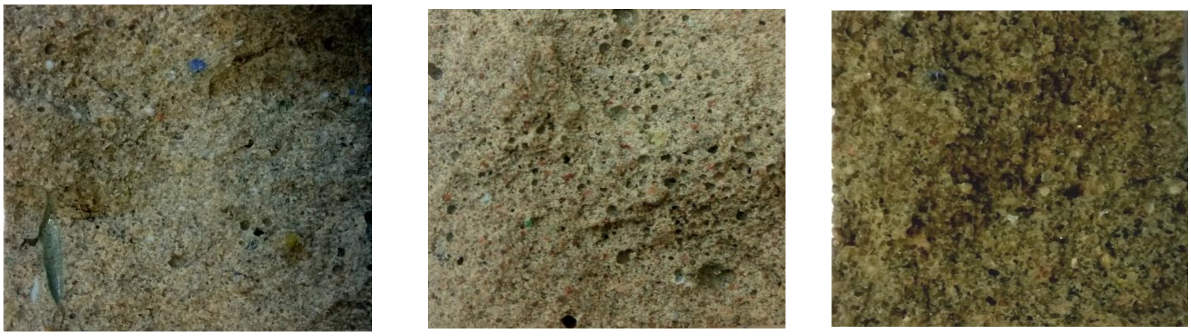
Таблица 2.2 Значение основных показателей полимерпесчаных образцов

№ п/п	Средняя плотность $r_{ср}$, кг /м^3	Прочность на изгиб $R_{изг}$, МПа	Прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа
40/60			
1	1911	4,1 (0)	33,5 (0)
30/70			
2	1941	8,3 (+102,4%)	32,9 (-1,8%)
20/80			
3	1972	9,5 (+131,7%)	28,7 (-14,3%)

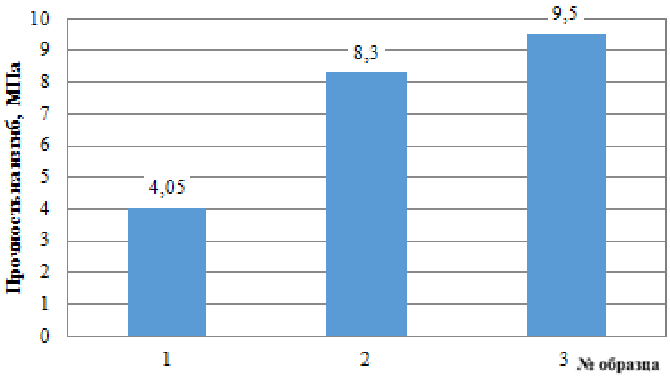
Вид образцов, после их испытания, представлен на Фиг. 2.1 (сверху фотография разлома при использовании цифрового микроскопа, снизу – фотография цифровым фотоаппаратом).

Состав № 1 Состав № 2 Состав № 3

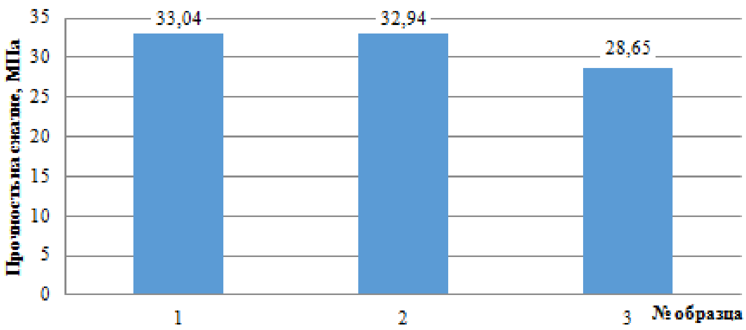




Фиг. 2.1 – Вид полученных образцов в зависимости о соотношения компонентов



Фиг. 2.2 – График изменения прочности на изгиб в зависимости от соотношения компонентов



Фиг. 2.3 – График изменения прочности на сжатие в зависимости от соотношения компонентов

Анализируя значения таблицы 2.2 и графики (Фиг. 2.2 и 2.3) видно уменьшение прочности образцов на сжатие и увеличение прочности на изгиб при увеличении расхода песка.

Тенденция снижения прочности образцов на сжатие может объясняться тем, что повышенное содержание песка приводит к увеличению количества пор в образцах. Увеличение расхода песка приводит к тому, что в смеси наблюдается преобладание полимерного материала. Полимер при возникновении изгибающих нагрузок способен достаточно сильно изгибаться (кроме хрупких) до наступления того момента, когда происходит появление трещин, приводящих к разлому образца. Полимерный материал имеет достаточно большую величину относительного удлинения и при изгибе образец начинает растягиваться, но так как в композите есть заполнитель, который зачастую имеет плохое сцепление с вяжущим, то предельное значение изгибной прочности наступает раньше, чем у полимерных образцов, изготовленных без заполнителя. Поэтому в композитном материале, чем меньше заполнителя, тем выше прочность на изгиб, что и подтвердил эксперимент. Однако, изготовление образцов без использования заполнителя экономически не целесообразно. Заполнитель выступает в полимерпесчаном композите в качестве материала, который с одной стороны повышает температуру плавления (у песка температура плавления гораздо выше, чем у любого из примененных в диссертации полимеров), а с другой стороны позволяет сокращать расход вяжущего. У образца состава № 1 получилась наименьшая прочность на изгиб из всех изготовленных образцов и составила 4,1 МПа. У состава №2 наблюдается значительное увеличение изгибной прочности (значение увеличилось до 8,3 МПа, что составляет 102,4 % от прочности на изгиб образца состава №1). Повышение прочности на изгиб состава №2 связано с улучшением структуры композитного материала, т.е. в композите наилучшим образом (по сравнению с образцом состава №1) уложен заполнитель. В образце состава №3 прочность на изгиб ещё несколько увеличилась и возросла до значения 9,5 МПа. Однако прирост прочности на изгиб у образца состава №3 относительно состава №2 равен 14,5 %. С учетом прочности на сжатие, в качестве оптимального соотношения между вяжущим и заполнителем принимаем величину, которая равно 30/70. В дальнейшей работе именно это значение используется для проектирования составов полимерпесчаных материалов.

Определение величины оптимальной крупности заполнителя в полимерпесчаном материале. Для выявления характера влияния крупности заполнителя на прочностные характеристики полимерпесчаного материала изготавливались образцы с заполнителем, который имел различную крупность. Числовые значения фракций песка представлены в таблице 2.2. Соотношение полимер/песок во всех образцах составляло 30/70.

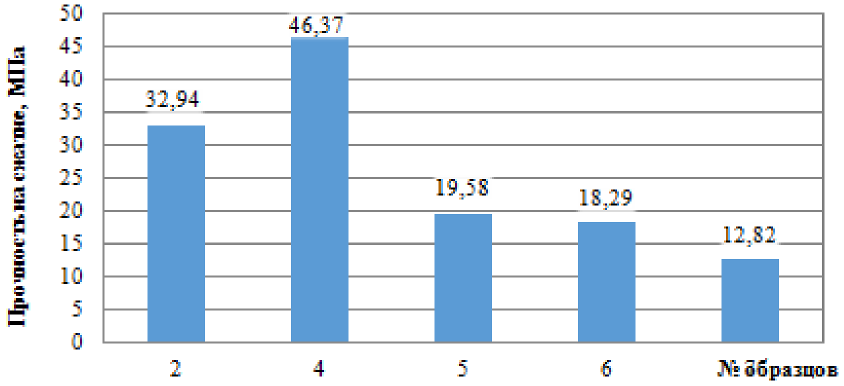
Для каждого из составов таблицы 2.2 изготавливалось не менее трех образцов, которые испытывались на изгиб, полученные после испытания половинки балок далее испытывались на сжатие. В таблицу 2.2 заносились результаты, полученные как средние между результатом отдельных испытаний.

В работе принятая сквозная нумерация составов, приведенных в разных разделах.

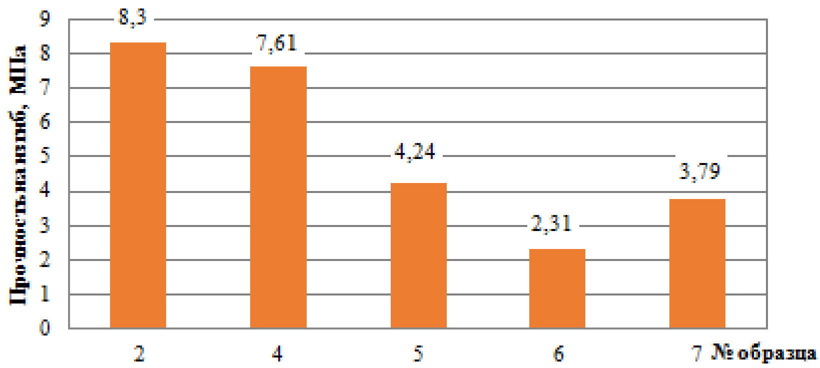
По значениям, представленным в таблице 2.2, строились графики 2.4 и 2.5.

Таблица 2.3 Результаты испытаний полимерпесчаных образцов для определения оптимальной крупности заполнителя и изгиб

№ п/п	Крупность частиц, мм	Прочность на изгиб $R_{изг}$,МПа	Прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа
30/70			
2	0,25-0,9	8,3	32,9
4	0-0,25	7,6	46,4
5	0,25-0,63	4,2	19,6
6	0,63-0,9	2,3	18,3
7	0,9-1,2	3,8	12,8



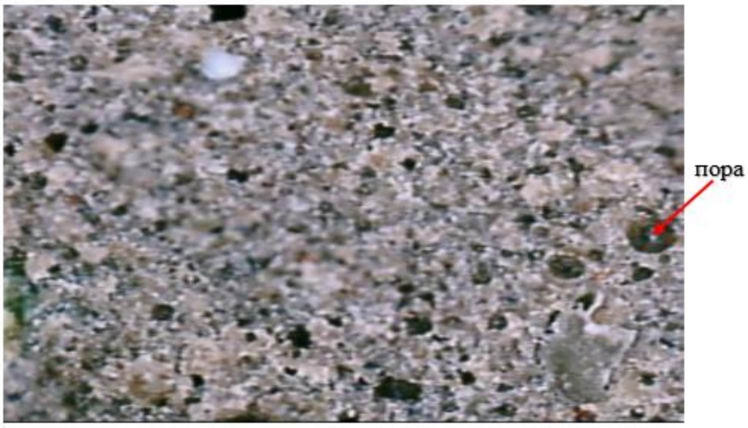
Фиг. 2.4 – График изменения прочности на сжатие в зависимости от крупности песка



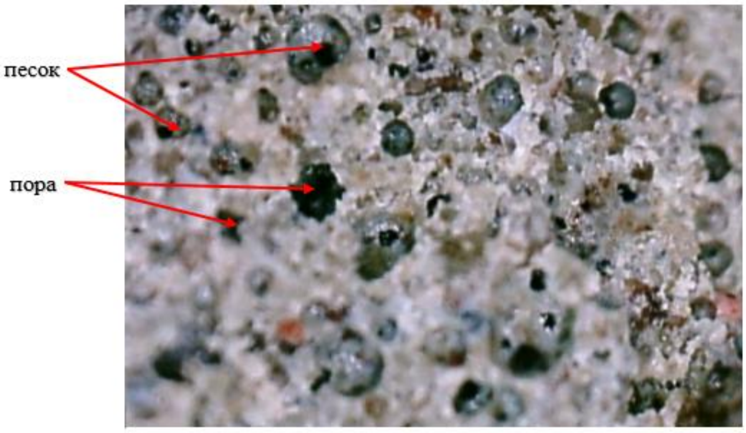
Фиг. 2.5 – График изменения прочности на изгиб в зависимости от крупности песка

Наилучший результат при испытании изготовленных образцов на сжатие получен у образца образец состава №4. Прочность этого образца на сжатие составила 46,4 МПа. Далее неплохую прочность на сжатие показал образец состава №2, его прочность составила 32,9 МПа, что ниже, чем у образца № 4 на 29,1 МПа.

Образец состава № 4 – это образец при изготовлении, которого использован только мелкий песок, крупность которого находилась в пределах от 0 до 0,25 мм. На рис. 2.6 представлена фотография образца состава № 4 после его испытания на изгиб, выполненная с помощью цифрового микроскопа. На Фиг. 2.7 – фотография образца состава № 2.



Фиг. 2.6 – Структура разлома образца №4



Фиг. 2.7 – Структура разлома образца №2

Как видно из Фиг. 2.6 и 2.7 структура образца №4 достаточно равномерная, на фотографии не видно конгломератов в виде скопления отдельных песчинок, поры в образце практически не видны или очень малых размеров, расположенные равномерно по поперечному сечению образца. У образца состава №2 заметны значительные по своему размеру поры и наблюдаются песчинки более крупного размера.

Для того, чтобы подготовить песок с такой крупностью, требуется много времени, необходимого для просеивания. Так как для просеивания материалов на производствах используются виброгрохоты, работающие от электрической сети, применение мелких песков повлечет за собой увеличение стоимости подготовительных работ. Чем крупнее песок, тем меньше требуется времени на его фракционирование. С этой точки зрения, образец состава №2, в котором применялся песок крупностью от 0,25 до 0,9 мм предпочтительнее, образец №4. Кроме того, для использования полимерпесчаного материала при изготовлении тротуарной плитки прочности равной 29,1 МПа вполне достаточно для нормальной и длительной эксплуатации.

Образцы, в которых использовался песок крупностью 0,25-0,63 мм, 0,63-0,9 и 0,9-1,2 мм показали стабильное уменьшение прочности на сжатие. Что свидетельствует о том, что для создания правильной структуры полимерпесчаного материала требуются либо полифракционные заполнители, либо заполнители с очень малой крупностью.

Прочность на изгиб наибольшая у образца состава №2 и она составляет 8,3 МПа. Прочность на изгиб образца состава №4 соответствует значению, равному 7,6 Мпа, что ниже, чем у образца №2 на 8,4 №. По прочности на изгиб более предпочтителен образец состава №2.

Таким образом, выполненные исследования показали, что при изготовлении полимерпесчаных материалов возможно использование либо полифракционного песка крупностью от 0,25 до 0,9 мм, либо песка, крупность которого будет находиться в пределах от 0 до 0,25 мм.

Исследование возможности использования различных видов полимерных отходов при проектировании полимерпесчаных материалов. Одной из задач данного диссертационного исследования являлось установление возможности использования различных отходов полимеров при изготовлении полимерпесчаных отходов с целью сокращения затрат на предварительную подготовку исходных компонентов. Наиболее привлекательным результатом работы явилось бы получение экспериментальных данных, подтверждающих возможность использования полимерных отходов без предварительной их сортировки.

Изначально в качестве вяжущего использовалась смесь полимеров (ПЭТ+ПЭ). При этом использовался заполнитель крупности 0-0,25 мм и 0,25-0,9 мм, т.е. те размеры частиц заполнителя, которые показали наилучшие результаты по своим прочностным показателям (таблица 2.3).

Далее выполнено исследование влияния иных полимеров на прочностные свойства полимерпесчаных материалов. Были изготовлены образцы составы, которых представлены в таблице 2.4. В качестве полимерных отходов использованы:

- для образцов состава № 8 – полиэтелентерефталат (ПЭТ);
- для образцов состава №9 – полиэтилен (ПЭ);
- для образцов состава №10 – смесь полимеров и бумаги, которая находилась на поверхности этих полимеров (ПЭТ+ПЭ+бумага).

Образцы изготавливались по технологии, описанной в пункте 2, далее испытывались, а результаты испытаний заносились в таблицу 2.5.

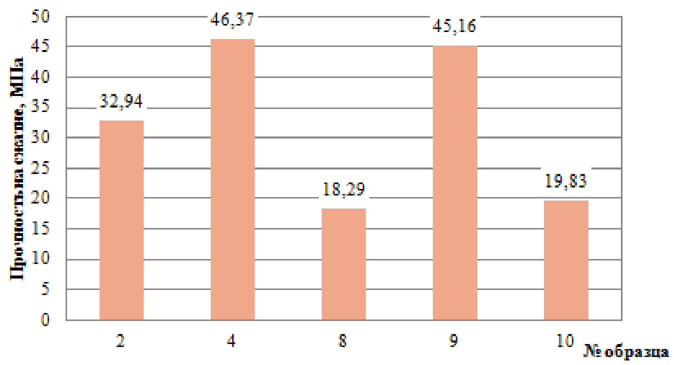
Таблица 2.4 Компонетный состав полимерпесчаных образцов, изготовленных с применением различных видов полимеров

№ п/п	Вид вяжущего	Крупность песка, мм
8	ПЭТ	0,25-0,9
9	ПЭ	
10	ПЭТ+ПЭ+бумага	

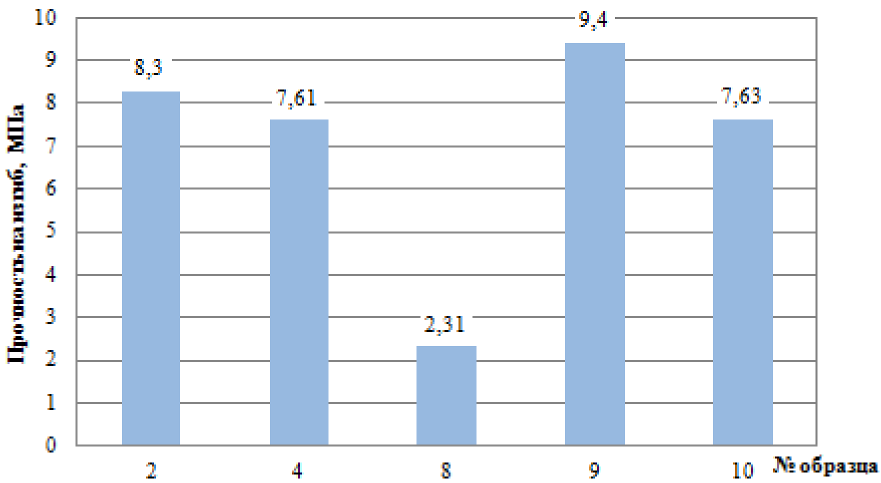
Таблица 2.5 Компонетный состав полимерпесчаных образцов, изготовленных с применением различных видов полимеров

№ п/п	Прочность на изгиб $R_{изг}$, МПа	Прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа
8	2,3	18,3
9	9,4	45,2
10	7,6	19,8

По данным, приведенным в таблицах 2.3 и 2.5, построены графики (Фиг. 2.8 и 2.9).



Фиг. 2.8 – График изменения прочности на сжатие в зависимости от вида вяжущего



Фиг. 2.9 – График изменения прочности на изгиб в зависимости от вида вяжущего

Наилучшие результаты показали образцы на основе полиэтилена (состав №9), далее идет смесь полиэтилена с полиэтилентерефталатом (состав №4), наиболее худшие результаты показал образец на основе полиэтилентерефталата (состав №8).

Анализ полученных результатов позволяет говорить о том, что применение смеси полимеров без предварительной сортировки может привести к вполне удовлетворительным результатам, однако наилучшие результаты по прочности достигнуты при использовании в качестве вяжущего полиэтилена. Полиэтилен труден в работе при его рециклинге, его трудно без специальных установок подвергать тепловой обработке и, кроме того, объемы его накопления в составе отходов позволяют говорить о целесообразности использования в сочетании с другими видами полимеров, например, в сочетании с полиэтилентерефталатом.

Выполненные лабораторные исследования позволяют рекомендовать следующие составы полимерпесчаных материалов:

- состав №9 (30 % полиэтелена, 70 % песка крупностью 0,25-0,9 мм);
- состав №2 (30 % полиэтилентерефталата и полиэтелена (сотношение между ПЭТ и ПЭ = 91+9), 70 % песка крупностью 0,25-0,9 мм).

В некоторых случаях (например, для утилизации трудно перерабатываемых отходов) возможно рекомендовать изготовление полимерпесчаных материалов, соответствующих составу №10, где рекомендуется использовать смесь полимеров и бумаги, которая находилась на поверхности этих полимеров (ПЭТ+ПЭ+бумага).

Определение основных характеристик разработанного состава. Для образцов составов №2 и №9 дополнительно определены некоторые другие характеристики, которые представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 Основные показатели образов составов №2 и №9

Наименование показателя	Значение показателя для образца	
	№ 2	№ 9
Плотность, кг/м^3	1940	1800
Истираемость, г/см^2	0,32	0,05
Водопоглощение, %	0,2 %	0,2 %
Прочность на сжатие, $R_{сж,}$ МПа	32,9	45,2
Прочность на изгиб, $R_{изг,}$ МПа	8,3	9,4

Как видно из таблицы 2.6 разработанные составы (№2 и №9) обладают хорошими показателями, которые превосходят по ряду признаков превосходят или не уступают бетонным материалам, применяемым для изготовления тротуарной плитки. Разработанные составы образцов №2 и №9 вполне могут найти свое применение при изготовлении различных эффективных строительных изделий, например, для изготовления полимерпесчаной тротуарной плитки.

Заключение

По выполненной работе можно сделать следующие выводы:

1. Актуальным направлением утилизации отходов является использование пластиковых отходов при изготовлении эфективных современных строительных материалов и изделий.

2. При изготовлении полимерпесчаный изделий требуется применение экструдера. В связи с отсутствием лабораторного экструдера в работе применена технология изготовления образцов из полимерпесчаной смеси по методу прямого формования, что потребует обязательной проверки полученных в диссертации результатов в производственных условиях.

3. Выполненные лабораторные исследования позволяют сделать следующие выводы: оптимальным соотношением по массе между вяжущим и заполнителем можно принимать величину, которая равна 30/70;при изготовлении полимерпесчаных материалов возможно использование либо полифракционного песка крупностью от 0,25 до 0,9 мм, либо песка, крупность которого будет находиться в пределах от 0 до 0,25 мм;наилучшими физико-механическими характеристиками обладают следующие составы: №9 (30 % полиэтелена, 70 % песка крупностью 0,25-0,9 мм); №2 (30 % полиэтилентерефталата и полиэтелена (сотношение между ПЭТ и ПЭ = 91+9), 70 % песка крупностью 0,25-0,9 мм). Предложенные составы могут найти свое применение при изготовлении различных эффективных строительных изделий, например, для изготовления полимерпесчаной тротуарной плитки.

ЛИТЕРАТУРА:

*[1] **Соломатов, В.И.** Развитие полиструктурной теорик омпозиционных строительных материалов. / Соломатов, В.И. // ИВУЗ: Строительство. – Новосибирск, 1985. – No8. – С58-64.*

*[2] **Соломатов, В.И.** Полимерные композиционные материалы в строительстве / Соломатов, В.И., Бобрышев, А.И., Химмлер, К.Г. – М.: Стройиздат, 1988. – 308 с.*

*[3] **Ла Мантия, Ф.** Вторичная переработка пластмасс/ Ф. Ла Мантия (ред.); пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова – СПб.: Профессия, 2006. — 400 с.*

*[4] **Henstock, M.E.** Recycling of Plastic Materials / M.E. Henstock, K. Seidl – ChemTec Publishing, Toronto, 1993 - 139.*

[5] Energy Recovery - Through Co- combustion of Mixed Plastics Domestic Waste and Municipal Solid Waste, Summary Report No/ 8007 – APME, Brussels, November 1994.

*[6] **Крыжановский, В.К.** Производство изделий из полимерных материалов / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер – С-Пб.: Профессия, 2004. – 350 с.*

*[7] **Рабек, Я.** "Экспериментальные методы в химии. Часть 1. / Я. Рабек – пер.с англ. под ред. Коршака В. В. – Москва, Мир, 1983. – 384 с.*

[8] Песок для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8736-93 – Введ. 01.07.95 – Москва: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации и техническому нормированию в строительстве, 1995. – 24с.

[9] Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии : ГОСТ 310.4-81. – Введ. 21.08.1981. – Москва: ИПК издательство стандартов, 1998. – 17 с.

[10] Методы испытания цемента. Часть 1. Определение прочности. : СТБ ЕН 196-1-2007 – Введ. 23.02.2007 (с отменой СТБ ЕН 196-1-2000). – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2007. – 31 с.

[11] Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости : ГОСТ 12730.0-78. – Введ. 01.01.1980. – Москва : ИПК издательство стандартов, 2007. – 3 с.

[12] Бетоны. Методы определения плотности : ГОСТ 12730.1-78. – Введ. 01.01.1980. – Москва : ИПК издательство стандартов, 1978. – 5 с.

[13] Бетоны. Методы определения водопоглощения : ГОСТ 12730.3-78. – Введ. 01.01.80 – Москва: Стандартинформ, 1978. – 4с.

[14] Бетоны. Методы определения истираемости : ГОСТ 13087-81. – Введ. 01.01.82 – Москва: ИПК издательство стандартов, 1982. – 9 с.