This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

Research Article
ISSN 2304-6295
Received: October 8, 2024 *Accepted: October 22, 2024* *Published: October 31, 2024*

Composite building materials based on recycled thermoplastic polymers

Jakubovski, Yuri Evgenievich[1]
Dubrovsky, Evgeniy Grigorievich[2]
Khairullina, Larisa Batyevna[1]
Aleksandrov, Sergey Vyacheslavovich[1]

[1] Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation; jakubovskijje@tyuiu.ru (J.Y.E.); hajrullinalb@tyuiu.ru (H.L.B.), aleksandrovsv@tyuiu.ru (A.S.V.)
[2] Neocomposite LLC, Tyumen, Russian Federation; dp@neocomposite.ru (D.E.G.)
Correspondence:* email jakubovskijje@tyuiu.ru; contact phone +79048886246

Keywords:

Composite; Plasticizer; Nanoparticles; Polymer raw materials; Rigidity; Thermoplastic polymer

Abstract:

The research object is the development of compositions that ensure the manufacturability of products from a composite material based on secondary thermoplastic polymers. **Methods.** The methods of experimental studies of the hardness of materials and products in laboratory and production conditions have been implemented. To determine the composition of the plasticizer, experimental studies were conducted by varying the ingredients and their quantities. **Results.** The problem of reducing the hardness of thermoplastic polymers has been solved; the products have been compared in terms of rigidity with the basic version manufactured at the production site of the Neocomposit LLC plant. (Russia, 625001, Tyumen region, Tyumen, Krasnooktyabrskaya st., bldg. 14, apt. 162). The results have shown that adding the developed plasticizer composition to the polymer-sand mixture allows reducing the rigidity of the composite material by 4 times.

1 Introduction

Сложно выбрать отрасль, где бы ни использовались полимерные композиционные материалы. Они пользуются широким спросом в таких отраслях как авиация [1], судостроение, машиностроение [2], медицина [3], промышленно-гражданское производство [4], дорожное и др. строительство [5], [6].

Первыми научными разработками композитных материалов в России стал заниматься Всероссийский институт авиационных материалов (ВИАМ) [7]. Теоретические аспекты в решении поставленной проблемы рассматривались и изучались в трудах известных советских ученых академиков К.А. Андрианова, М.В. Соболевского, А.А. Жданова, Н.С. Лезнова, А.А. Берлина, Д.А. Кардашева, Б.А. Киселева и др. Они являлись одними из первых в нашей стране, кто занимался разработками неметаллических материалов для авиационной техники. Научным коллективом этого института, под руководством К.А. Андрианова, были разработаны термостойкие кремнийорганические полимеры для изоляции электрического оборудования и производства пластических масс [7]. Многие ученые, исследователи занимались научными разработками в области создания композитных материалов. Особый вклад внесли А.Д. Литманович, Н.А. Плате, Ю.В. Кудрявцев, А.А. Берлин. Им принадлежат научные разработки получения полимерных армированных композитов [8].

Ученые Д. Пола и С. Ньюмена, Дж. Мэнсона и Л. Сперлинга, также занимались теоретическими и практическими аспектами создания композиционных материалов. Особым

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

вниманием пользуются справочники по смесям полимеров Л.А. Утрацки, в которых наиболее полно систематизированы информационные данные по композитным материалам [9]. Все эти разработки проводились с использованием первичных полимеров. Однако остро стоит вопрос по производству композитных материалов из вторичных полимерных отходов, которые являются ценным ресурсом и создают экологическую проблему. Накопление полимерных отходов в окружающей среде оказывает негативное воздействие всем живым организмам нашей планеты.

Ежегодно, во всем мире растет производство полимерной продукции и, по прогнозам аналитиков, к 2030 году будет достигать 538 млн тонн [10]. Использование изделий из полимеров в повседневной жизни приводит к необходимости решения вопросов их утилизации и создают масштабную экологическую проблему во всем мире. Наибольший объем полимерных отходов приходится на упаковочные материалы. Полимерные отходы полиэтилентерефталата (ПЭТФ, ПЭТ, ПЭТГ, лавсан, майлар) составляют 12–13 процентов. В Европейских странах из 60 млн т. перерабатываемых базовых полимеров на вторичное сырье приходится около 9% [11]-[14].

В нашей стране объем производства упаковочного материала из первичного ПЭТ-сырья в 2021 году составил около 672 тысячи тонн, их них, на переработку отходов было отправлено около 170 тысяч тонн. Эти цифры приведены без учета объемов с импорта готовой продукции, ввезенных в Россию товаров в упаковке [15]. На сегодняшний день ежегодно, в России вырабатывается около 80 миллионов тонн ТКО (твердых коммунальных отходов), на вторичную переработку отправляется лишь 6–7 процентов.

В крупных городах, на образование отходов пластики приходится 10 процентов от общего объема мусора. Основная доля в общем объеме образования отходов из полимерного сырья составляют полиэтиленовая (60%) и полипропиленовая (18%) пленки и изделия из них. Также, в ТОП-5 сегментов входит смесь упаковок из разнородных трудно перерабатываемых полимерных материалов. Проблема утилизации полимеров, включая тугоплавкий бросовый мусор, на сегодняшний день, является очень актуальной. Для создания строительных композитных материалов на основе вторичных термопластов необходима правильная организация их сбора с последующей переработкой [16]-[20].

Вопросами исследования, в области переработки термопластов занимаются, такие российские организации, как НИЦ СИБУРа «ПОЛИЛАБ» (Россия, 121205, г. Москва, тер. Сколково Инновационного Центра, д. 2.), НИИ «ПОЛИПЛАСТИК» (Россия, 119530, г. Москва, Очаковское шоссе, д. 18, стр. 3), ООО «ОКАПОЛ» (Россия, 606000, Нижегородская область, г. Дзержинск, ул. Лермонтова, д. 28К), АО «МЕТАКЛЭЙ» (Россия, 242500, Брянская область, Карачевский район, г. Карачев, ул. Карла Маркса, д. 15). Основными производителями таких разработок в России являются ООО «Рошальский завод пластификаторов» (Россия, 140730, Московская область, г. Шатура, г. Рошаль, ул. Косякова, д. 15), ООО «Уральский завод пластификаторов» (Россия, 622051, Свердловская область, г. Нижний Тагил, Северное шоссе, д. 21), ООО «Газпром нефтехим Салават» (Россия, 453256, Республика Башкортостан, г. Салават, ул. Молодогвардейцев, д. 30), ОАО «КамтексХимпром» (Россия, 614047, Пермский край, г. Пермь, ул. Соликамская, д. 293). Но эти исследования направлены на переработку производственных отходов, которые содержат первичные полимеры.

Проблема создания композитного строительного материала на основе термопластичных полимеров заключается в том, что необходимо введение тугоплавких компонентов. В свою очередь это приводит к возрастанию жесткости материала, что затрудняет формирование продукции. В технологию изготовления композитного материала необходимо вводить пластифицирующую смесь. При переработке термопластичных полимеров для формирования заданных свойств изделия чаще используются тугоплавкие составляющие (например, песок) в качестве наполнителя. Это ведет к высоким энергозатратам на формировании изделия, понижается производительность.

Кроме этих факторов, в производстве строительных материалов желательно увеличение маржинальности. Осуществляется это путем замены дорогостоящих ингредиентов на более дешёвые (бросовые) при различных комбинациях (по качеству и количеству) связующих и наполнителей.

Актуальность представленных исследований заключается в разработке пластификатора для увеличения пластичности полимеров и обеспечения технологичности изготовления продукции из данного композитного материала.

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

В производстве существуют пластификаторы [21], [22], [23], но каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Известна пластифицирующая смесь для производства композитных карбонизированных изделий [21]. Недостатком композиции является необходимость использования кварцевого песка с повышенным содержанием глины, что уменьшает пластичность. Исходные вещества для технологии получения диэфиров терефталевой кислоты, используемые в качестве пластификатора для полимерных материалов, в частности поливинилхлорида, путем этерификации терефталевой кислоты дороги и дефицитны [22]. Для получения пластифицирующих композиций, состоящих из ди- и полиэфиров адипиновой кислоты и диэфиров терефталевой кислоты [23], существует необходимость использования или предварительного получения чистых дикарбоновых кислот. Этот процесс очень трудоемкий. Из множества существующих пластификаторов, ни один из них не решает вопросы понижения жесткости вторичных полимерных отходов при наличии тугоплавких наполнителей.

Целью представленной работы является обеспечение технологичности изготовления строительной продукции из композита на основе полимерных отходов при наличии тугоплавких наполнителей, решая проблему их утилизации. Это делается через увеличение пластичности вторичных полимеров, то есть полимерные отходы становятся сырьем для новой продукции.

Решаемые задачи в данной работе:

1. Совершенствование технологии изготовления продукции из полимерных композитов на основе вторичных термопластов при наличии тугоплавких наполнителей.
2. Проведение экспериментальных исследований деформационной жесткости изготовленных изделий (крышек канализационных люков) на производственной площадке.
3. Сравнение жесткости продукции с использованием разработанного пластификатора с базовым вариантом, выпускаемым заводом по существующей технологии.

2 Materials and Methods

Во время работы применялись экспериментальные методы: в лабораторных условиях и натурных наблюдений при проведении эксперимента в промышленных условиях. В лаборатории образцы были изготовлены из термопластичного полимера - полиэтилена высокой плотности (низкого давления) марки HD 85612 IM производителя ОАО «Запсибнефтехим», (Россия, 626150, Тюменская область, г. Тобольск, тер. Восточный Промышленный Район-Квартал 9, д. 1/1) [24]. Состав пластификатора готовился на основе смесей солей: гипса, солевого осадка, гипсового осадка с многоатомным спиртом ЭТМ-280 производства ООО «Экотермикс, (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Васильевский, Реки Смоленки набережная, д. 14, литера А, помещ. 10-Н, офис 69). Полученные образцы выдерживали в муфельной печи при температуре 250 ºС в течение трех часов. После медленного охлаждения и отверждения образцы были исследованы на твердость «Методом вдавливания» [22]. Для промышленных экспериментов были подготовлены образцы крышек канализационных люков из полимер песчаного композита. Проведены эксперименты на задаче изгиба крышек канализационных люков. Для анализа поведения продукции под нагрузкой проводились расчеты прогиба базового варианта изготовления канализационных крышек, выпускаемых заводом. Проведены сравнения по жесткости с новыми опытными образцами. Расчеты деформирования исследуемых крышек выполнены в линейной постановке.

3 Results and Discussion

Решением данной задачи является модернизация технологии с применением пластификатора. Реализация проведена на примерах уменьшения жесткости первичных (на первом этапе) и вторичных (на втором этапе) термопластичных полимеров. Решение позволяет получать продукцию из композитов с включением в качестве наполнителя тугоплавких ингредиентов. От выбора состава наполнителей зависят характеристики получаемой продукции.

Для формирования образцов на первом этапе исследований использовали термопластичный полимер - полиэтилен высокой плотности (низкого давления) марки HD 85612 IM [25]. Было приготовлено три пластификатора на основе смесей солей: гипса, солевого осадка, гипсового осадка с многоатомным спиртом ЭТМ-280. Соли вводились для предотвращения расслоения полимерной смеси при получении единого состав комплекса, т.к. при вводе чистого

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

сложного полиэфира ЭТМ-280 (производитель - экотермикс) по мере остывания происходило разделение состава, т. е. не происходило гомогенизации. Пластификатор добавляли в процентном соотношении (0, 10, 20, 30, 40) к общему весу образца (200 г.).

В следующей партии было приготовлено по пять полимерных образцов с добавлением пластификатора. Все образцы выдерживались в муфельной печи при температуре 250 ºС в течение трех часов. Полученные образцы, после отверждения, измерялись на твердость «Методом вдавливания» [26]. Образцы с 0 % добавкой, во всех сериях образцов, представляли «чистый полимер». Это было сделано в лабораторных условиях.

Результаты исследования первой партии образцов показали, что пластичность увеличивается с возрастанием содержания пластификатора от 5 до 30 %, в сравнении с вариантом чистого полимера. В образцах с солевым и гипсовым осадком жесткость медленнее меняется в области от 0 до 20 % содержания пластификатора. Анализируя полученные результаты, было отмечено, что большее уменьшение жесткости (до 30 %) наблюдается у образца, где применялся пластификатор с добавлением гипса.

Дальнейший поиск (вторая серия образцов состояла из четырех вариантов) показал, что наибольшее уменьшение жесткости (до 300 %) наблюдается при применении пластификатора, с использованием нано частиц гидроксида кальция. Наивысшая точка кривой распределения размеров частиц, гидроксида кальция представленный в наибольшем количестве, соответствует величине 0.88 мкм (мода).

При эксперименте, были апробированы четыре состава пластификатора на основе нано-частиц гидроксида кальция с различными добавками. Первый состав модификатора включал нано частицы гидроксида кальция (4 %), сульфида кальция (10 %) и ЭТМ-280 (86 %). Состав второго пластификатора состоял из ЭТМ-280 (60 %) и нано- частиц гидроксида кальция (40 %). В состав третьего вводились нано- частицы гидроксида кальция (30 %), PIB-1300-полиизобутилен-неполярный углеводородный полимер (14%) и ЭТМ-280 (56%). Самый многокомпонентный состав был у четвертого пластификатора, который включал: сложный полиэфир ЭТМ-280 (8 %), нано-частицы гидроксида кальция (15 %), воду (23 %), гипсовый осадок (2.0 %), поликарбоксилат (2.0 %), полиизобутилен PIB-1300 (40 %) и жирные кислоты (10 %).

Для изготовления образцов использовали термопластичный полимер - полиэтилен высокой плотности (низкого давления) той же марки (HD 85612 IM), что и в предыдущих исследованиях. Полный состав образцов имел одинаковый вес (200 г.), в который входил полимер и вводился пластификатор в процентном соотношении 0, 10, 20, 30, 40. Для каждой точки определенного веса (%) введенного пластификатора готовили по пять образцов. Полученные образцы выдерживали в муфельной печи при температуре 250 ºС в течение трех часов. После медленного охлаждения и отверждения образцы были исследованы на твердость.

Согласно полученных результатов, наибольшие величины увеличения пластичности наблюдались у образцов, где в состав пластификаторов вводился полиизобутилен PIB-1300. Уменьшение твердости произошло в 3 раза. Сравнение проведено с результатами чистого полимера, где пластификатор не был введен (0 %). Таким образом, в результате лабораторных исследований, был подобран компонентный состава пластификатора, с использованием нано-частиц гидроксида кальция, в сочетании со сложным полиэфиром ЭТМ-280, полиизобутиленом, солями (гипсовый осадок), поликарбоксилатом. Далее этот пластификатор был применен.

Для развития результатов лабораторных исследований, на заводе ООО «Неокомпозит» (Россия,625001, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Краснооктябрьская, д. 14, кв. 162) проведены эксперименты в промышленных условиях (см. рис. 1). Были испытаны четыре серии образцов крышек канализационных люков из полимер-песчаного композита на основе вторичных термопластичных полимеров с использованием разработанного пластификатора [27].

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

Fig. 1 – Experimental testing of manhole covers subjected to bending at a production site

В эксперименте были исследованы четыре серии образцов канализационных люков из полимер песчаного композита. Компоненты каждой серии образцов канализационных люков представлены в таблице 1. В состав вторичного полимерного сырья входили тугоплавкие наполнители: трудно перерабатываемый бросовый материал (сечка) типа - ламинированная бумага и песок. В трех (второй, третий, четвертый) сериях образцов (см. табл. 1) был введен пластификатор на основе нано- частиц гидроксида кальция. Первая серия образцов являлась базовым вариантом – выпускаемая продукции завода ООО «Неокомпозит» (Россия, 625001, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Краснооктябрьская, д. 14, кв. 162) на основе полимера - песчаного композита. Эту смесь использовали для сопоставления с сериями образцов, где включен разработанный пластификатор.

Table 1. Component composition of a series of samples of sewer manhole covers

№	Состав образцов, кг	Первая серия образцов (базовая)	Вторая серия образцов	Третья серия образцов	Четвертая серия образцов
1.	Песок	150	150	150	165
2.	Пластификатор	0	2	3	4
3.	Полимер	35	24	35	31
4.	Сечка	0	24	12	0
5.	Стрейч - пленка	15	0	0	0

Во всех сериях образцов закладка (суммарный вес компонентов, из которых делалась продукция) составляла 200 кг. В составе закладки базовых образцов (первая серия) традиционно имеется вторичный термопластичный полимер и стрейч-пленка, суммарным весом 50 кг (см. табл. 1). В сериях второго и третьего образцов суммарный вес полимеров (включая пластификатор и сечку) так же составлял 50 кг. В четвертом образце – сечка заменена на песок, как более дешёвая смесь. В этом варианте вес полимеров в сумме с пластификатором был 35 кг, что составляло 17.5 % в общем весе (200 кг).

По технически данным, завода изготовителя ООО «Неокомпозит» (Россия, 625001, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Краснооктябрьская, д. 14, кв. 162) предельная нагрузка, которую выдерживает крышка канализационного люка, (базовый первый вариант), достигает 6 кН. В экспериментах максимальная нагрузка для всех образцов доводилась до F = 8 кН (см. рис.2). Разрушения не произошло ни в одном из вариантов исследуемой продукции. Испытания проведены на четырех сериях, в каждой из которых было по три образца (см. состав материала в табл. 1).

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

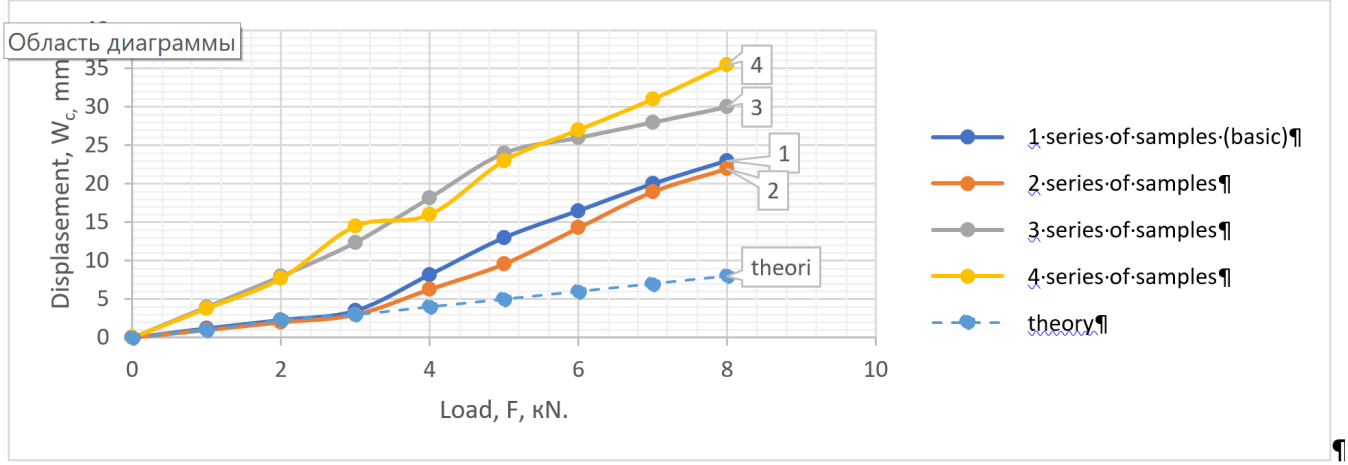

Fig. 2 – Results of bending studies of manhole covers made of polymer-sand composites

При задаваемых величинах сосредоточенных нагрузок в центральной зоне крышки канализационного люка: F=1000 (Н); 2000 (Н); 3000 (Н); 4000 (Н); 5000 (Н); 6000 (Н); 7000 (Н); 8000 (Н), приложенных через круглую центральную площадку диаметром d фиксировались перемещения в центральной точке. Наибольшее снижение жесткости крышек канализационных люков в сравнении с базовым вариантом (образец 1), показали образцы серии 3, 4.

Для подтверждения правильного формирования эксперимента проведены расчеты прогиба базового варианта канализационной крышки люка. Теоретические расчеты деформирования исследуемых крышек под нагрузкой, приложенной в центре круга, проведены в линейной постановке. Размеры крышки люка имели следующие данные: толщина h =25 мм, диаметр D= 580 мм, модуль упругости $E=2.4*10^3$ МПа, v – коэффициент Пуассона (v=0.4), диаметр центрального стального круга d=150 мм., через который осуществлено нагружение F. Расчёты проведены в рамках известного решения [28]. Полученные результаты представлены на рисунке 2 (прямая-теория).

Анализируя полученные результаты (см. рис.2), на базовых образцах и второй серии, выделяются два участка: первый - от 0 до 3000 Н и второй – от 3000 Н и выше. Условно выделена линейная область деформирования (до 3000 Н) и изгиб в упруго пластической области (выше 3000 Н). Наибольшее расхождение с базовым вариантом деформирования крышек канализационного люка наблюдается у третьей и четвертой серии образцов. Если сравнивать изменения жесткости по участкам кривой деформирования, то при уровнях нагрузки до 3000 Н, вторая серия образцов имеет, практически, такую же жесткость, что и базовая. В то же время, третья и четвертая серии образцов, имеют податливость выше в четыре раза в линейной (упругой) области деформирования. Податливость третьего и четвертого образцов, практически не изменялась при переходе от линейной зоны деформирования к нелинейной.

4 Conclusions

Таким образом, были получены следующие результаты:

1. Разработан новый состав пластификатора. Были проведены исследования по увеличению пластичности композитного материала из вторичного термопластичного полимера при наличии тугоплавких компонентов. Уменьшение жесткости было сделано путем подбора состава пластификатора.
2. Проведены экспериментальные исследования деформационной жесткости изготовленных изделий (крышек канализационных люков) на производственной площадке завода ООО «Неокомпозит». (Россия, 625001, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Краснооктябрьская, д. 14, кв. 162).
3. Сравнение жесткости продукции с использованием разработанного пластификатора с базовым вариантом, выпускаемым заводом по существующей технологии показало, что добавление разработанного состава пластификатора в полимер-песчаную смесь

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

позволяет увеличивать пластичность композитного материала в 4 раза в сравнении с базовой продукцией в линейной зоне деформирования.

4. Проведены расчеты прогиба канализационного люка базовой продукции, который составлял в центральной точке под нагрузкой при F=8 kH, W=8.19 мм. Для крышек из пластифицированного материала (образцы 3 и 4) перемещения были порядка 32.8 мм. (рис. 2).

Научная значимость рассмотренной проблемы состоит в получении новых результатов, направленных на развитие технологий переработки вторичных термопластичных полимеров с тугоплавкими наполнителями. Совершенствование данных технологий способствует увеличению объема производства строительной продукции на основе этих бросовых материалов и решению экологической проблемы [28], [29], [30].

References

1. Anisimov, A. V., Tryasunov, V.S., Shultceva, E.L., Sokolov, J. V. and Mudry, F. V. (2018) Epoxy Vinyl Ester Binder for Fire-Resistant Marine Fiberglass Plastics. Inorganic Materials: Applied Research, Pleiades Publishing, 9, 1116–1122. https://doi.org/10.1134/S2075113318060011
2. Gopanna, A., Rajan, K.P., Thomas, S.P. and Chavali, M. (2019) Polyethylene and Polypropylene Matrix Composites for Biomedical Applications. Materials for Biomedical Engineering: Thermoset and Thermoplastic Polymers. *Elsevier*, 175–216. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816874-5.00006-2
3. Alexandrov, A.V., Balagurov, V.B., Lisichkin, S.E. and Rubin, O.D. (2016) New Technology of HES Repair Using Reinforcement with Composite Materials. Izvestiya B.E. Vedeneev VNIIG, **280**, 3-9. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26211163
4. Gerfanova, O. A., Osipov, P. V. and Frolov, K. E. (2019) Civil Structures External Reinforcement System with Polymer Composites Based on Carbon Fibers for Hydrotechnical Construction. *Izvestiya B.E. Vedeneev VNIIG*, **291**, 36-46. https://www.elibrary.ru/Item.Asp?Id=37641008
5. Kavkazskiy, V., Kirsanova, T., Usanova, K., Vafaeva, K. and Vasyutkin, E. (2023) Drainage bridge trays made of glass fiber reinforced polymer: physical, mechanical and operational properties. *Construction of Unique Buildings and Structures*, **109,** 10919. https://doi.org/10.4123/CUBS.109.19
6. Vasyutkin, E.S, Galushko, M.M., Lazarev, Yu.G., Dzhalalov, A.I. and Burin, D.L. (2022) Strength Calculation of a Suspended Bridge Tray from Polymer Composite Materials. *Route navigator*, **51**, 50–53. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48698591
7. Kablov, E.N. (2015). Innovative developments of FSUE "VIAM" SSC of RF on realization of "strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030". *Aviation materials and technologies*, **1(34)**, 3-33. https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-razrabotki-fgup-viam-gnts-rf-po-realizatsii-strategicheskih-napravleniy-razvitiya-materialov-i-tehnologiy-ih-pererabotki
8. Litmanovich, A.D., Plate, N.A. and Kudryavtsev, Y.V. (2002). Reactions in polymer blends: interchain effects and theoretical problems. *Progressin Polymer Science*, **27**, 915-970. https://doi.org/10.1016/S0079-6700(02)00003-5
9. Utracki, L.A. and Weiss, R.A. (1989) Multiphase Polymers: Blends and Ionomers. *ACS Symposium Series*. 510 p. https://doi.org/10.1021/BK-1989-0395
10. Data Page: Global plastics production. Part of the following publication: Hannah Ritchie, Veronika Samborska and Max Roser (2023) Plastic Pollution. Data adapted from Geyer et al., OECD. https://ourworldindata.org/grapher/global-plastics-production
11. Plastic pollution: a review of international legal instruments. October 19, 2023 / Center for International and Comparative Legal Studies. https://iclrc.ru/storage/publication_pdf/80/%D0%A6%D0%9C%D0%A1%D0%9F%D0%98_%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5%20%D0%B7%D0%B0%D0%B3%D1%80%D1%8F%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_19.10.2023._1697728099.pdf (date of application: 14.08.2024)
12. Plastic Pollution by Country 2024. World Population Review. Retrieved July 28, 2024 https://worldpopulationreview.com/country-rankings/plastic-pollution-by-country
13. Perreard, S., Boucher, J., Gallato, M., Gomis, M.I., Mazzatorta, P., Gaboury, A. and Voirin, N. Plastic Overshoot Day – Report 2024, EA-Earth Action, 2024. 264 p. https://securesustain.org/wp-content/uploads/2024/09/Global-Governance-Innovation-Report-2024.pdf

This publication is licensed under a CC BY-NC 4.0

14. Shehab, E., Meiirbekov, A., Amantayeva, A. and Tokbolat, S. (2023) Cost Modelling for Recycling Fiber-Reinforced Composites: State-of-the-Art and Future Research. *Polymers*, **15(1)**, 150; https://doi.org/10.3390/polym15010150
15. Speranskaya, O., Ponizova, O., Tsitzer, O. and Gursky, Y. (2021) Plastic and plastic waste in Russia: situation, problems and recommendations. *International Pollutants Elimination Network*, 92 https://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen-russia-2021-epa_v1_4q-ru.pdf
16. Mel'nikov, S. F. (2022) Influence of the shape and dimensions of specimens of sheet thermoplastics on strength during tension tests. *Polymer Materials and Technologies*, **1(8)**, 80–83. http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-1-80-83
17. Krul', L. P. (2022) On the state of aggregation in polymers. *Polymer Materials and Technologies*, **4(8)**, 5. http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-5-5
18. Lebedeva O. V. and Sipkina E. I. (2022) Polymer composites and their properties. *News of universities. Applied chemistry and biotechnology*, **2(41).** https://cyberleninka.ru/article/n/polimernye-kompozity-i-ih-svoystva
19. Liu, Y., Zhao, Q., Gu, X., Fan, A., Zhu, S, Su, Q., Kang, L. and Feng, L. (2024) Research on the Application of New Building Recycled Insulation Materials for Walls. *Polymers*, **16(15)**, 2122. https://doi.org/10.3390/polym16152122
20. Kudina E. F. and Efimchik K.V. (2022) Disposal and recycling methods polymeric composite materials. *Polymer Materials and Technologies*, **4(8)**, 77–86. http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-4-77-86
21. Pat. 2687821 RF, MPK (2006) G04B 28/18. Raw material mixture for the production of composite carbonized products: S.I. Fedorkin, N.V., Lyubomirskiy, E.A. Kogay, E.S. Makarova; Reg. 16.05.2019, Byul. № 14, 4 p https://patents.google.com/patent/RU2687821C1/ru
22. Production of terephthalic acid di-esters: pat. 7799942 US, Int. Cl. C 07 C 69/76 / Osborn V.H., Turner Ph.W, Cook S.L., 2007/0161815; 12.07.2007; publ. 21.09.2010. https://patents.google.com/patent/US7799942B2/en
23. Patent No. 2743641 C1 Russian Federation, IPC C08K 5/00, C08K 5/11, C08K 5/12. Plasticizing composition containing polymer esters of dicarboxylic acids and dialkyl esters of terephthalic acid: No. 2018116052: appl. 09/29/2016: publ. 02/20/2021 / M. Pfeiffer, B. Breitscheidel, A. Grimm, H. Morgenstern; applicant BASF SE. https://patents.google.com/patent/RU2743641C1/en
24. Safety data sheet for chemical products. Quality certificate: SIBUR (2018). TU 20.16.10-006-81060768-2018. https://atlantidaspb.ru/f/zapsib_pb_pe_tu_201610-006-81060768-2018.pdf
25. GOST 24622-91. Plastics. Determination of hardness. Rockwell hardness. https://docs.cntd.ru/document/1200018709
26. Yakubovsky Yu.E., Khairullina L.B., Dubrovsky E.V. (2023). Technology for manufacturing sewer manholes from secondary petrochemical polymers. *Materials of the International Scientific and Practical Conference*, **263-265**. https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=zhufrg
27. Weinberg D.V., Weinberg E.D. (1970). Calculation of plates. https://djvu.online/file/yuc9gFLxovy0I?ysclid=lnob8rsnp2859178634
28. Shapovalov V. M. and Grigor'ev A. Ya. (2021) Recycling and utilization of multicomponent polymer systems based on secondary thermoplastics (Review). *Polymer materials and technologies*, **7(3)**, 6–19. https://doi.org/10.32864/polymmattech-2021-7-3-6-19
29. Yakubovsky Yu. E. and Khairullina L. B. (2022) Development of technologies using low-tonnage chemistry in the processing of thermoplastic polymers. *Advanced technologies and materials: materials of the international scientific and practical conference*, **430-432**. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50111981
30. Valente M., Rossitti I. and Sambucci M. (2023) Different Production Processes for Thermoplastic Composite Materials: Sustainability versus Mechanical Properties and Processes Parameter by Marco Valente, Ilaria Rossitti and Matteo Sambucci. *Polymers*, **15(1)**, 242. https://doi.org/10.3390/polym15010242