



Review Article




Received: February 12, 2022

Accepted: April 20, 2022

Published: April 28, 2022

ISSN 2658-5553

Use of processed plastic products in road construction. A review

Nazinyan, Levon Gaikovich^{1*}  
Shevchenko, Sergey Mikhailovich¹ 

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation;
nazinyan.lg@edu.spbstu.ru (N.L.G.); shef10b@yandex.ru (S.S.M.)

Correspondence: * email nazinyan.lg@edu.spbstu.ru; contact phone [+79189026085](tel:+79189026085)

Keywords:

Plastic roads; Plastic waste; Polymers; Bitumen mixture; Aggregate; Recycled plastic

Abstract:

The object of research is the use of recycled plastic in road construction. The incineration of plastic waste in waste recycling plants is harmful to the environment due to the release of toxic gases, so the use of recycled plastic products remains the only environmentally friendly solution. To assess the advantages and disadvantages of modern ways of using recycled plastic waste in road construction, studies carried out in recent years in this direction were analyzed. **Methods.** For compiling a survey, there were used only modern sources. **Results.** It was revealed that today the main way of using recycled plastics is to modify the asphalt mixture with them. This method does not require new production technologies and is advantageous from an economic and technical point of view. However, studies show that polymer modification of asphalt mixes is harmful to the environment in the long term due to the abrasion of the plastic and the release of toxic substances. Another way of introducing plastics in road construction has great potential from an environmental point of view - the creation of roads from plastic plates. By using separate wear-resistant layers, these plastic boards are environmentally friendly and fulfill their function. But examples of the use of plastic plates are still too few to analyze their effectiveness because their technology has not yet been finalized. The result of the review is the conclusion that further research should be carried out in the direction of designing plastic roads from polymer plates or blocks.

1 Introduction / Введение

Мир сталкивается с проблемой использования продуктов переработки пластиковых отходов. Эта проблема с каждым годом становится все более ярко выраженной, так как производство пластиковых отходов растет гораздо быстрее их утилизации. В странах Европейского союза уже озаботились повышением процента переработки пластиковых отходов, доведя этот показатель до 25–30 % в среднем. По состоянию на 2021 г. почти весь пластиковый мусор россиян оказывается на полигонах или свалках, на захоронение отправляют более 90% отходов. Это приводит к появлению огромного количества свалок и к образованию выбросов отходов в океаны, что наносит ущерб экологии и здоровью людей [1], [2].

С 2020 года возникла новая проблема, вызванная последствиями пандемии COVID-19. Широкое использование средств индивидуальной защиты привело к возникновению миллионов тонн выброшенных одноразовых пластиковых изделий. Анализ, проведенный в работах [3], [4] показывает, что COVID-19 изменит ход многолетней глобальной борьбы за сокращение загрязнения пластиковыми отходами. В результате пандемии COVID-19 во всем мире ежедневно выбрасывается 4 миллиарда одноразовых масок/лицевых щитков. Непредвиденное возникновение пандемии такого масштаба привело к неуправляемому уровню биомедицинских пластиковых отходов.

Пластиковые отходы, образующиеся на суше, попадают в водоемы, где они вызывают пагубные последствия, такие как отравление животных в морской экосистеме [5].

Nazinyan, L.; Shevchenko S.

Use of processed plastic products in road construction;
2021; *AlfaBuild*; 22 Article No 2205. doi:10.57728/ALF.22.5



В работе [6] проанализированы меры Китая, Вьетнама и Малайзии по борьбе с растущей проблемой полимерных отходов, связанные с сокращением импорта пластиковых отходов из крупнейших стран-экспортеров, таких как США, Япония и Германия. Ещё одним примером меры по сокращению производства пластиковых отходов является концепция замкнутого цикла, направленная на защиту окружающей среды от загрязнения пластиком. В работе [7] выполнен анализ мер Южной Кореи, которая внедрила Закон о циркуляции ресурсов (RCA). Он включает в себя концепцию экономики замкнутого цикла и политику эффективного использования ресурсов для общего управления отходами.

В статье [8] основное внимание уделяется анализу импорта и экспорта пластиковых отходов по всему миру. На основе объема двусторонней торговли пластиковыми отходами с 1990 по 2019 год построена глобальная сеть торговли пластиковыми отходами, а также изучены структура и характеристики сети. Результаты показывают, что глобальная сеть торговли пластиковыми отходами сместила свой центр тяжести, а центр импорта постепенно переместился из Китая в Юго-Восточную Азию.

В работе [9] дан обзор различных путей увеличения скорости переработки пластиковых отходов с помощью химической рециркуляции. Сделан вывод, что каждый из доступных в настоящее время химических способов применим для конкретных потоков пластиковых отходов.

Методы химической переработки, такие как пиролиз, были исследованы в работах [10]–[12]. Они могут значительно увеличить скорость переработки, поскольку в отличие от механической переработки тут могут использоваться смеси пластиковых отходов. Пиролиз позволяет утилизировать все углеродсодержащие материалы, как органические, так и неорганические, в отличие от обычно используемых биологических методов утилизации отходов [13]. Однако эти методы имеют проблемы, связанные с недоступностью сырья и неэффективностью сортировки [14], [15], а именно: переработка отходов полистирола требует огромных затрат труда в процессе разделения [16].

Технологии обращения с небiorазлагаемыми пластиковыми отходами представлены в работе [17]. Систематически обобщены механизмы пиролиза и фотодеградаци, обобщаются передовые технологии обработки, анализируются их механизмы, а также предлагаются перспективы их промышленного применения на основе разрыва между текущим состоянием разработки и требованиями отрасли.

Основной упор в России при решении проблемы загрязнения пластиком делается на создание мусоросжигательных заводов, которые также наносят вред окружающей среде [18]. При сжигании выделяются вредные летучие хлорорганические соединения и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), которые вызывают сильные неприятные запахи для окружающих, даже при наличии фильтров для очистки дымовых газов от плавления [19]. В работе [20] сделан вывод, что летучая зола, образующаяся после сжигания медицинских отходов, имеет более высокое содержание хлора, углеродных компонентов и тяжелых металлов, чем летучая зола от твердых бытовых отходов, что создает дополнительные требования для систем очистки дымовых газов.

Так в период с 1950 по 2015 год общая масса пластиковых отходов составила 6300 Мт. Из них 12 % пластмасс были сожжены, а 9 % переработаны. Из этих 9 % лишь десятая часть была переработана более одного раза. Остальная часть была выброшена и сейчас накапливается на свалках или в естественной среде [21].

К 2022 г. множество компаний и научных институтов предлагают свои идеи и продукты для решения этой проблемы, а также предлагают идеи использования продуктов переработки пластика с пользой для общества. Самым экологически чистым вариантом является повторное использование переработанного пластикового мусора. Хотя переработанные пластмассы представляют собой недорогую и экологически чистую альтернативу для многих применений, тем не менее применение в пищевой промышленности значительно ограничено наличием неприятных запахов летучих органических соединений (ЛОС) [22]. В исследовании [23] установлено наличие в переработанном пластике тяжелых металлов, которые представляют опасность для здоровья людей при контакте с кожей. Одной из наиболее перспективных отраслей, где возможно обширное использование продуктов вторичной переработки пластиковых отходов – дорожное строительство.

Повышение спроса на переработанный пластик путем производства различных транспортных сооружений или их частей из продуктов переработки создаст условия для развития отрасли переработки. Это поможет решить проблемный вопрос с пластиковыми отходами, а также

Nazinyan, L.; Shevchenko S.

Use of processed plastic products in road construction;

2021; *AlfaBuild*; 22 Article No 2205. doi:10.57728/ALF.22.5



создаст основу для развития новых технологий в строительстве. При этом важно учитывать экологические последствия от эксплуатации транспортных сооружений с различными полимерами в составе. В исследованиях [24], [25] было установлено, что использование продуктов переработки пластика в дорожных покрытиях может привести к неблагоприятному воздействию на окружающую среду в долгосрочной перспективе из-за истирания пластика и попадания его частиц в воздух.

Цель исследования: выявление наиболее эффективных и экологически благоприятных направлений развития идей использования различных переработанных полимеров в дорожном строительстве.

Задачи исследования: найти и проанализировать последние идеи использования различных переработанных полимеров в дорожном строительстве.

2 Methods of using polymers in road construction / Методы использования полимеров в дорожном строительстве /

Все разработки и исследования по данной теме можно разделить по способу внедрения пластиков в материалы для дорожного строительства. К первому способу относятся проекты, в которых транспортные сооружения почти полностью состоят из полимеров. Этот способ исследован меньше всего, так как большой объем применения пластика затруднителен из-за его характеристик, которые не удовлетворяют нормативам для материалов в дорожном строительстве.

Ко второй группе относятся исследования, в которых транспортные сооружения состоят из нескольких одинаковых слоев, в составе которых имеется крупная доля полимеров, но также содержатся традиционные материалы, такие как асфальтобетон и металл.

К третьей группе относятся наиболее изученные способы добавления полимеров в состав асфальтобетонной смеси. Это способ, при котором содержание пластика в сооружениях остается незначительным. Третий способ самый простой, с точки зрения существующих технологий.

3 Модификация полимерами асфальтобетонной смеси / Modification by polymers of asphalt concrete mixture

Модификация асфальтобетонной смеси полимерами встречается наиболее часто, по сравнению с остальными методами использования полимеров в дорожном строительстве. При использовании в составе асфальтобетона пластмасс можно получать композиции, не уступающие по своим характеристикам асфальтобетонам на основе природного сырья [26], [27].

Так дороги, проложенные с 2002 года с использованием смесей битума и заполнителями с пластиковым покрытием из полиэтилена, полипропилена и полистирола до сих пор находятся в хорошем состоянии и выполняют свою функцию в полной мере. Эта смесь продемонстрировала улучшенные связывающие свойства, а также увеличила несущую способность дороги [28]. К похожим выводам пришли и другие ученые, исследовавшие смесь с 10 % содержанием пластика в битуме. По мере увеличения процентного содержания пластика увеличиваются температура вспышки и точка воспламенения, а

пластичность при этом снижается. Среди преимуществ полученного способа были выделены более низкая стоимость на 9 % в сравнении с обычными дорогами, увеличение прочности, увеличенная влагостойкость. Из недостатков отмечена вероятность выброса вредных газов в атмосферу при термической обработке пластика и его атмосферного окисления [29].

Перспективными оказались пластиковые электронные отходы [30], поскольку эти полимеры обладают высокой прочностью на разрыв, жесткостью и значительной ударопрочностью. Эксперименты показали, что использование таких полимеров в качестве модификатора для обычных битумных смесей увеличивает срок службы дорожного покрытия. Смеси, модифицированные пластиком для электронных отходов, имеют более высокое значение стабильности по Маршаллу, а также более высокую стойкость к деформациям. Экспериментальные исследования показали, что при замене крупнозернистого заполнителя на 3% и содержании битума в 5,5% значение стабильности по Маршаллу модифицированной смеси увеличивается до 70%. Аналогичным образом, при замене мелкозернистого заполнителя на 8% и



оптимальном содержании битума в 5,5% стабильность модифицированной смеси увеличивается до 185%.

Построенная в Индии дорога с добавкой измельченных пластиковых отходов пережила сильные наводнения, сильные перепады температуры и большой поток транспорта. На каждый километр дороги использован эквивалент 1 метра пластиковых пакетов, что позволило сэкономить тонну асфальта. Технология заключалась в покрытии гравия тонкой пленкой из пластика и добавления в расплавленный асфальт [31]. Сравнение модификации асфальтобетона с использованием полиэтилентерефталата и полиэтилена показало, что такие виды пластиковых отходов могут использоваться для строительства дорог. Образцы испытывались в течение 30 дней, и результаты показали, что с увеличением процентного содержания полиэтилена улучшается пластичность асфальтобетонной смеси. Полиэтилен показал большие прочностные характеристики, чем полиэтилентерефталат [32].

Использование композитов из армированного волокном полимера, волокна которого состоят из стекла, арамида, углерода в матрице из полиэфирной смолы, демонстрируют свой потенциал для использования в автомобильных дорогах в качестве стержней в железобетонном покрытии. Эти усиленные полимеры обладают высокой устойчивостью к коррозии и усталости. Также отмечаются пластиковые отходы, внедрение которых устраняет недостатки асфальта, связанные с температурными перепадами, включая растрескивание и колеиность. Среди них: полиэтилентерефталат, полипропилен, полиэтилен низкой плотности, сополимер этилена и винилацетата, сополимер акрилонитрила, бутадиена и стирола [33].

Процесс от сегрегации пластиковых отходов до их смешивания с асфальтобетонной смесью и заливки был точно описан в исследовании института Бхартия (Сикар, Индия) [34]. Их методология позволила получить сильное увеличение прочностных характеристик дороги, при уменьшении стоимости и отсутствии повреждающих эффектов от ультрафиолетового излучения. Из недостатков была отмечена вероятность выщелачивания токсичных веществ, присутствующих в пластиковых отходах.

В Австралии провели исследование по влиянию использования продуктов вторичной переработки пластиковых отходов в асфальте, полученных на местных перерабатывающих предприятиях в Виктории. Были сделаны выводы, что использование мягких пластиков в качестве полимера для модификации битума экологичнее по сравнению с использованием первичных полимеров. Мокрый метод оказался более рентабельным и экологичным, так как наблюдалось сокращение выбросов углекислого газа до 10 % при замене чистого полиэтилена на переработанные пластиковые гранулы [35].

Включение в состав асфальтобетонной смеси с 10 % содержанием полимера дымопоглощающего материала может позволить снизить загрязнение от автомобилей [36]. Суммарная ударная вязкость заполнителя с пластиковым покрытием была снижена на 9% по сравнению с обычным заполнителем, а проницаемость чистого битума показала более высокие значения, чем у битума, смешанного с пластиком.

Пластики для вторичной переработки разделяются на две категории, в основном с учетом их молекулярной структуры. Это термореактивные пластмассы и термопласты. Только термопласты могут быть переработаны. Температура, при которой изготавливается модифицированный полимером битум аналогична температуре, при которой строятся дороги. При приготовлении битума, модифицированного полимером, при использовании термопласта в диапазоне температур между 130°C -180°C токсичные газы не выделяются. Поэтому для подготовки пластиковых дорог безопасно использовать только термопласты. Учитывая эти свойства необходимо тщательно рассортировывать пластики, чтобы в процессы использовался только термопласт. Более того, этот метод более экологически чистый, потому что в процессе утилизации термопласты не выделяют углекислый газ.

Из термопластов только полиэтилен высокого и низкого давления, полиуретан и полиэтилентерефталат относятся к типам, подходящим для строительства пластмассовых дорог. Пластмассы, которые повторно перерабатываются несколько раз, становятся черными, а пластик поливинилхлорид имеет тенденцию выделять токсичные газы. Следовательно, эти пластмассы нельзя использовать в этом процессе. Пластиковые дороги выгодны, потому что они более эффективно противостоят неблагоприятным условиям окружающей среды по сравнению с обычными дорогами. Однако у метода модифицированного полимером битума есть существенное ограничение: во время первого дождя пластик может быть удален с дороги.



На обычных дорогах могут появляться выбоины, если температура окружающей среды повышается до 50 °С, или если дороги построены в местах с экстремально жаркими или влажными условиями. Как правило, в сезон дождей на асфальтовых дорогах обнаруживается много выбоин [37], [38]. Скорость износа дорожного покрытия увеличивается, когда вода просачивается в дорожное покрытие через трещины в пустоты и приводит к разрушению. Старение и окисление битумного вяжущего также приводят к ухудшению состояния дорожного покрытия. Большинство выбоин образуются из-за развития усталостных трещин. Куски дорожного покрытия между усталостными трещинами отрываются от поверхности под действием продолжающихся колесных нагрузок, образуя выбоину [39], [40].

Пластиковые дороги могут противостоять появлению выбоин. Кроме того, ультрафиолетовое излучение вызывает старение обычных асфальтобетонных дорог, что приводит к появлению трещин. Если на дороге используется битум, модифицированный полимером, он может остановить ультрафиолетовое излучение [41].

Эксперимент с увеличением содержания полиэтилена в асфальтобетонных смесях от 0 до 10 процентов показал, что наилучших характеристик асфальта удалось добиться при 8 % содержании полиэтилена. Смесь состояла из комбинации гравия и щебня, песка, с содержанием измельченных минеральных частиц и обломков горных пород, и битума с наполнителем. Тесты проводились на лабораторных установках, включая в себя тест стабильности по Маршаллу, испытание на остаточную прочность и испытание на отрыв [42].

Один из зарекомендовавших себя способов смешения битума с полимерами был представлен в исследовании [43]. Авторы подготовили образцы, используя смешение расплавов битума и пластика. Было использовано 400 граммов битума, нагретого до жидкого состояния, который постепенно охватывал полимер. Процесс происходил в блендере, вращение которого поддерживалось на скорости 125 оборотов в минуту при температуре от 165 до 175 °С. Процесс проводился в течение получаса до получения гомогенной смеси. Полученные образцы испытывались с инфракрасным преобразованием Фурье, в результате которого была получена закономерность увеличения максимальной мощности по мере увеличения доли полимера в различных спектрах, поэтому рекомендуется увеличение доли полимера в составе свыше 4 %. Известно, что модификаторы расширения термопласта по отношению к традиционным измененным углеводородам улучшают проводимость измененных углеводородов в вязких материалах. Необходимо использовать несколько материалов: полипропилен и полиэтилен большой толщины, которые, как было замечено, обладают определенными показателями воздействия.

Включение пластиковых отходов, например, пластиковые пакеты, стаканы и бутылки, в качестве модификатора в асфальтобетонную смесь позволяет уменьшить количество цемента и песка, сэкономив общую стоимость строительства. Было обнаружено, что при содержании модификатора 5% прочность модифицированного бетона в разы выше, чем у простого цементного бетона. Пластик увеличивает температуру плавления битума. Дождевая вода не просачивается из-за пластика в смолу. Таким образом, эта технология приведет к меньшему количеству ремонтов дорог [44].

Заполнители, покрытые пластмассой, дают более низкие значения истирания, что хорошо для заполнителей, которые будут использоваться в дорожном строительстве, поскольку они подвержены износу в результате движения по дорогам. Свойства битума (температура размягчения, пластичность и проницаемость) также значительно улучшаются за счет замены небольшого процента битума отходами пластика, что делает пластиковые отходы легкой и экономичной заменой битума при строительстве гибкого покрытия [45], [46].

Большинство пластиковых отходов представляют собой полиолефин, который включает в себя полиэтилен высокой плотности, линейный полиэтилен низкой плотности, полипропилен и высокомолекулярный полиэтилен. Согласно последним исследованиям, ежегодно образуется 71% не поддающихся биологическому разложению пластиковых отходов. Из этих 70% небiorазлагаемые пластиковые отходы: полиэтилен низкой плотности - 18%, полиэтилен высокой плотности - 15%, поливинилхлорид - 15%, полипропилен - 13%. %, полистирол - 8% и полиэтилентерефталат 2%. Так как натуральный каучук имеет аналогичные полиолефинам свойства, он так же был испытан в качестве модификатора битума. Был проведен маршалльский метод расчета битумной смеси для различного процентного содержания натурального каучука в битуме. После получения результатов был сделан вывод о том, что добавление натурального каучука улучшает эксплуатационные качества дороги, а также повышается устойчивость дороги к

Nazinyan, L.; Shevchenko S.

Use of processed plastic products in road construction;

2021; *AlfaBuild*; 22 Article No 2205. doi:10.57728/ALF.22.5



влаге. Оптимальное количество - 5% натурального каучука с учетом вариации каждого свойства бетона [47].

Полиуретан, полиэтилен низкой плотности и полиэтилен высокой плотности были предложены в качестве добавки к асфальтобетонной смеси профессором доктором Р. Васудеваном из инженерного колледжа Тиягараджа, Мадурай. Дороги, построенные с использованием этих пластиков, оказались лучше, чем дороги, построенные из обычного асфальта. По результатам предыдущих исследований было обнаружено, что всего 5% добавления пластиковых отходов в асфальт повышает стабильность асфальта и его долговечность на 40% [48].

Процесс модификации битума сухим способом также показал улучшение характеристик по сравнению с обычным битумом. В этом методе пластмассовые отходы покрывают заполнителем. Это способствует лучшему связыванию битума с заполнителем, покрытым пластиковыми отходами, благодаря усиленному связыванию и увеличенной площади контакта между полимером и битумом. Полимерное покрытие также уменьшает количество пустот, что предотвращает впитывание влаги и окисление битума захваченным воздухом. Уменьшается колейность и растрескивание, также отсутствует образования выбоин. Дорога выдерживает интенсивное движение и демонстрирует лучшую долговечность [49].

Были проведены испытания заполнителей, покрытых пластиком, на раздавливание, истирание и ударную прочность [50]. Величина раздавливания заполнителя представляет собой относительную меру сопротивления раздавливанию при постепенно прикладываемой сжимающей нагрузке. Для достижения высокого качества дорожного покрытия предпочтение отдается заполнителям, обладающим высоким сопротивлением раздавливанию или низким коэффициентом дробления заполнителей. Величина раздавливания снижается с 23,32 до 14,22 для заполнителя с обычным и пластиковым покрытием, что означает уменьшение на 40% для покрытого пластика заполнителей. Чем ниже показатель раздавливания заполнителя, тем выше его прочность.

Испытание на ударную прочность предназначено для оценки прочности заполнителя или устойчивости заполнителей к разрушению при повторяющихся ударах. Суммарное значение удара указывает на относительную меру ударной прочности заполнителя. Суммарная величина удара обычно не должна превышать 30% для заполнителя, который будет использоваться при износе дорожного покрытия. Максимально допустимое значение составляет 35% для битумного щебня и 40% для основного слоя щебня на водной основе. Суммарная ударная вязкость заполнителя с пластиковым покрытием была снижена на 9% по сравнению с обычным заполнителем [50].

Из-за движения транспортных средств дорожное покрытие подвергается износу [51], [52]. Следовательно, крупный заполнитель, используемый в асфальтобетонной смеси, должен быть достаточно твердым, чтобы противостоять истиранию при движении. Испытания на истирание проводятся для проверки твердости заполнителей и определения того, подходят ли они для различных дорожно-строительных работ [53], [54]. Испытание на истирание проводилось методом «Лос-Анджелес» [55]. Принцип испытания на истирание «Лос-Анджелес» состоит в том, чтобы определить процент износа из-за относительного трения между заполнителем и стальными шариками, используемыми в качестве абразивной загрузки [56], [57]. Ударное воздействие этих шаров происходит во время испытания, и в этом испытании оценивается устойчивость к износу и ударам. Значение абразивного износа методом «Лос-Анджелес» указывает на твердость заполнителей. Показатель истирания заполнителей с пластиковым покрытием был на 21% меньше, чем у обычных заполнителей.

Прочность и характеристики смеси битума с добавлением пластика были протестированы на стабильность методом устойчивости Маршалла. Метод устойчивости Маршалла используется при проектировании дорожного покрытия для определения оптимального содержания, вяжущего в асфальтобетоне. Результаты исследования показали, что смесь с добавлением пластика имеет более высокую устойчивость в диапазоне от 14,03 до 14,80 кН по сравнению с обычной битумной смесью, который имеет значение 11,35 кН [58].

Для определения оптимального процентного соотношения полимера в составе асфальтобетонной смеси была предложена следующая методика: в нагретые заполнители были добавлены различные процентные содержания пластмассовых отходов по массе. Образцы с различным содержанием пластмассовых отходов были испытаны на объемную плотность и стабильность по Маршаллу. Максимальное значение стабильности рассматривалось как

Nazinyan, L.; Shevchenko S.

Use of processed plastic products in road construction;

2021; *AlfaBuild*; 22 Article No 2205. doi:10.57728/ALF.22.5



критерий оптимального содержания пластмассовых отходов. Был выбран битум класса 60/70 со средним значением стабильности по Маршаллу 1300 кг при оптимальном содержании в 5% от веса смеси. Дальнейшие исследования смесей проводились с использованием модифицированного связующего, полученного путем добавления различных пропорций обработанных пластиковых пакетов с обычным битумом марки 80/100. Было обнаружено, что оптимальное содержание модифицированного связующего, удовлетворяющее критериям проектирования, составляет 5% по весу смеси, состоящей из 8% по весу переработанного пластика, добавленного к битуму. Было обнаружено, что среднее значением стабильности по Маршаллу смеси с использованием модифицированного связующего составляет 1750 кг при этом оптимальном содержании связующего, что приводит трехкратному увеличению стабильности смеси, которая содержит 4,6% битума плюс 8% переработанного пластика по весу битума, т. е. 0,4% переработанного пластика от веса смеси.

Чтобы оценить способность смеси выдерживать неблагоприятное состояние под водой, были проведены испытания на устойчивость по Маршаллу. После замачивания в воде при 60 °С в течение 24 часов было обнаружено, что среднее значение стабильности по Маршаллу смеси с модифицированным связующим увеличилось примерно в 2,6 раза по сравнению с обычной смесью битума. Дальнейшие лабораторные исследования смесей с использованием этого модифицированного связующего также показали заметное увеличение усталостной долговечности при многократном приложении нагрузок. Связывающая способность пластика продлевает срок службы дороги, а также дает дополнительную прочность, позволяющую выдерживать большие нагрузки. Дождевая вода не просачивается из-за пластика в смолу. Таким образом, эта технология приведет к меньшему ремонту дорог. А поскольку на каждый километр дороги средней ширины требуется более двух тонн полимерной смеси, использование пластика поможет сократить количество небiorазлагаемых отходов. Стоимость строительства дороги из пластика может быть несколько выше по сравнению с традиционным способом. Однако это не должно препятствовать внедрению технологии, поскольку выгода намного превышает стоимость [59], [60].

Опыт проектирования смесей битумов, модифицированных полимерами мокрым способом, позволил сделать следующие заключения:

- 1) Смесь отработанного пластика и битума показывает снижение точки проникновения и пластичности, тогда как температура размягчения и температура вспышки битума увеличиваются;
- 2) Для правильного и эффективного смешивания требуется специальный тип смесительного устройства;
- 3) Когда на строительной площадке предполагается использовать модифицированный битум, необходимо обеспечить поддержание надлежащей рабочей температуры и смешения для предотвращения разделения фаз.

Для смесей, спроектированных сухим способом:

- 1) Процесс покрытия достаточно простой, а необходимая температура такая же, как температура укладки дороги;
- 2) Битум связывается с заполнителем с помощью пластика, который действует как связующее.
- 3) Битумная связь становится прочнее, о чем свидетельствует более высокое значение Маршалла;
- 4) Пластик с покрытием действует как связующее, и добавленный битум прочно связывается;
- 5) Не требуются новые технологии, модификации таких смесей могут изготавливаться на существующих асфальтобетонных заводах;
- 6) Сухой процесс может применяться в любых климатических условиях. Процесс может быть изменен путем изменения процентного содержания пластика, в зависимости от условий окружающей среды, а именно температуры, дождя, снега, нагрузки и т.д;
- 7) Отсутствие выделения каких-либо токсичных газов, таких как диоксин, так как максимальная температура составляет всего 170 °С [61].

Различные испытания были проведены на заполнителе с пластиковым покрытием и пластиковом асфальте, чтобы определить их стандарты качества для дорог в Гане. Различные



проценты пластиковых отходов, которые были объединены с асфальтом, составляли 10, 30 и 50 %. Значения плотности и удельного веса уменьшились по сравнению с контрольными испытаниями. Такая же аномалия наблюдалась для пустот в минеральных заполнителях, которые имели более высокие значения плотности и удельного веса по сравнению с контрольным испытанием. Возможно, что на эти значения повлияло ручное смешивание пластиковых отходов с заполнителями и объединение полистирола с полиэтиленом. Заполнители могли увеличиться в размерах, так как на них наносили покрытие из полимеров перед добавлением битума. Это исследование доказало, что заполнители с пластиковым покрытием лучше подходят для использования в качестве строительного материала, чем обычные заполнители для стандартной смеси [62], [63].

В декабре 2016 г. и январе 2017 г. различные дороги города Пуна (Индия) были покрыты битумной смесью, содержащей 8% измельченных пластиковых отходов от веса смеси. В 2020 было проведено исследование, в котором сравниваются эксплуатационные характеристики этих пластиковых дорог с обычными битумными дорогами, проложенных в течение того же периода времени, с точки зрения скорости их износа. Исследование ограничено городом Пуна в Индии. Для изучения параметров износа гибкого покрытия были проведены следующие исследования, позволяющие достаточно точно предсказать состояние дорог:

- 1) Испытание на прогиб балки Бенкельмана;
- 2) Маятниковый тестер Стэнли на сопротивление скольжению;
- 3) Тест на шероховатость интегратором неровностей.

Из пилотного исследования, проведенного на десяти действующих дорогах в городе Пуна, штат Махараштра, Индия, можно сделать вывод, что добавление пластиковых отходов в битумную смесь задержало ранний износ дорог [64].

В Ванкувере (Канада) была уложена восковая смесь на основе пластика. Смесь производится путем переработки пластика в воск. В 2012 году новая модифицированная смесь пролежала на дорогах после комплексных испытаний на небольших участках в городе для оценки качества производимой смеси. Были выявлены преимущества перед обычной асфальтобетонной смесью такие, как пониженная температура смешивания, что, следовательно, сводит к минимуму углеродный след. Беспокойство вызывает долговременные эксплуатационные характеристики полученной модифицированной битумной смеси, которые остаются под вопросом до тех пор, пока не будет проведена всесторонняя оценка [65].

Опыт применения гранул полиэтилентерефталата (ПЭТ) в смесях асфальтовых мастик показал увеличение модуля жесткости, а также сопротивление усталости асфальтобетона, а замена заполнителя на 20% приводит к увеличению сопротивления остаточной деформации. Также проводились испытания с волокнами полиэтилена в качестве модификатора битума и армирования смеси. Основным преимуществом добавления волокон ПЭТ в качестве модификатора связующего является снижение затрат на производство модификации полимера за счет использования недорогих полимеров (то есть пластиковых отходов). Содержание ПЭТ составляло от 2% до 8% от общей массы связующего. Температурная восприимчивость модифицированного связующего была улучшена, сопротивление колеености увеличилось. Другие исследования показали, что оптимальное количество ПЭТ-волокон составляет от 4% до 6% по массе битума для щебеночно-мастичного асфальтобетона. Модифицированный щебеночно-мастичный асфальтобетон показал улучшенную устойчивость к остаточной деформации и повышенную жесткость [66].

Пластиковые частицы электронных отходов были испытаны в качестве модификатора битумной смеси, изменяя содержание связующего в процентах от веса крупного заполнителя от 0 до 16%. Максимальное значение стабильности наблюдали при содержании связующего 5,5%. По сравнению с обычными битумными смесями, данная модификация показывает повышение стабильности по Маршаллу на 159% [67].



4 Использование полимерных конструкций в качестве основы пластиковых дорог / The use of polymer structures as the basis of plastic roads

Решение проблемы долговечности дорожного покрытия с использованием безопасных и легко перерабатываемых материалов было предложено в работе [68]. В качестве решения проблемы была предложена новая конструкция асфальт-стального пластикового покрытия с использованием асфальтобетонной смеси в качестве поверхностного слоя. Основными несущими слоями является стальная пластина и полимерный материал. На основе проведенного анализа было выявлено, что рентабельнее использовать щебеночно-мастичный асфальтобетон в качестве верхнего слоя, а пластину из стали марки А656 и пластмассу поверх основания, сделанного из щебня. Между стальной пластиной и пластиком рекомендуется использовать изоляционный слой из армированного стекловолокном полимера. Механические свойства покрытия были проанализированы методом конечных элементов. Результаты показали превосходство предложенного покрытия в сравнении с обыкновенным асфальтобетоном.

Проектное бюро VolkerWessels (Амерсфоорт, Нидерланды) предложило идею строительства дорог из пластиковых плит. Преимущества таких конструкций: в качестве основного материала для их производства используется переработанный пластик, простота технологии укладки и монтажа, устойчивость к воздействию атмосферных осадков и горючих веществ (моторные масла и электролиты), устойчивость к температурным колебаниям, наличие полости внутри плит дает возможность размещать коммуникации, возможность обеспечить нагрев покрытия, высокий коэффициент сцепления шин, возможность нанесения всей необходимой дорожной разметки. Недостатками являются: установка плит без фиксации между собой, отсутствие данных о максимальном весе, который выдерживает пластик, срок службы, способность выдерживать ежедневную нагрузку, непонятно как ведут себя плиты при замерзании воды в водном канале. В результате анализа предложенного способа строительства пластиковой дороги был спроектирован пластиковых дорожный модульный блок, который не имеет недостатков идеи бюро VolkerWessels [69].

Представленные технические характеристики пластикового дорожного модуля: рабочая нагрузка до 25 тонн, гарантийный срок эксплуатации 15 лет. Модульный пластиковый блок имеет следующие преимущества: надежная фиксация модулей между собой предотвращает как поперечные, так и продольные смещения; модули могут быть переработаны и использованы при производстве новых конструкций; невысокая стоимость сырья (15 руб. кг); высокий коэффициент сцепления шин на сухой поверхности 0,7–0,8, на мокрой 0,3–0,4.

В работе [70] представлена идея создания пролетных строений мостов с применением композитных материалов, в частности армированных композиционных пластмасс. Этот композит хорошо работает на растяжение. Из него можно изготавливать эффективные большепролетные конструкции: оболочки, пневматические покрытия, тенты и т. д. Используя свойства пластиков при работе на сжатие, можно сооружать купола, сетчатые покрытия и оболочки, своды и другие распорные конструкции. По мнению ведущего российского исследователя мостов И. Г. Овчинникова и его коллег, применение подобных пластиков актуально и в создании плит проезжей части и тротуарных настилов.

В статье [71] рассмотрено обоснование конструкции модульной съемной дорожной плиты дорожной одежды, выполненной из полимера, предназначенной для скоростного строительства участков дорог и подъездных путей к различным объектам сельскохозяйственной инфраструктуры в сложных условиях бездорожья. Предлагаемые конструкции могут найти широкое применение при реабилитации автомобильных дорог в сельскохозяйственных районах, ликвидации последствий стихийных бедствий, аварий и катастроф в транспортных коммуникациях, на объектах агропромышленного комплекса, а также для размещения предприятий дорожного сервиса.

Применение пленок из пластиковых отходов в дорожных строительных материалах представлено в работе [72]. Изделия, переработанные из пленок пластиковых отходов, оценивались на предмет механических свойств, включая прочность (на сжатие и растяжение), коэффициент теплового расширения, ускоренное атмосферное воздействие, динамическую стабильность и экологические аспекты, такие как наличие в составе опасных веществ. Последующие испытания подтвердили умеренную прочность, хорошую устойчивость к



атмосферным воздействиям, солнечному излучению и нагрузке на дорожное покрытие по результатам испытаний на отслеживание колес, по сравнению со стандартами для асфальтобетона. Кроме того, опасные вещества в большинстве случаев не обнаруживались или находились в допустимых пределах по составу и содержанию. После использования блоков дорожного покрытия с применением продуктов переработки пленок из пластиковых отходов на полевой площадке в течение одного месяца, были проведены испытания сопротивления скольжению, которые дали результат, указывающий на возможное применение таких блоков на участках низкоскоростного движения.

5 Заключение / Conclusions

В результате обзора последних исследований на тему применения продуктов переработки пластиковых отходов в дорожном строительстве можно сделать следующие фундаментальные выводы:

- 1) Применение переработанных пластиковых отходов в качестве модификатора асфальтобетонной смеси является выгодным, но экологически грязным способом. Учитывая, что главной задачей ставится уменьшение количества выброса пластиковых отходов в окружающую среду – решение проблемы таким способом носит лишь временный эффект. Истирание модифицированного асфальтобетонного покрытия со временем приведет к попаданию пластиковых частиц в окружающую среду, а эффект солнечного излучения создаст выделение токсичных газов из пластика в составе дорожного покрытия. Более того, данный способ так же задействует использование большого количества битума, использование которого наносит экологический ущерб. В долгосрочной перспективе следует избавляться от этого материала в дорожном строительстве, учитывая общемировые тенденции по защите окружающей среды.
- 2) Применение переработанных пластиковых отходов в качестве основного материала для создания модульных плит или слоев дорожной одежды является выгодным, а также экологически чистым способом. При наличии тонкого слоя износа отсутствие контакта колес автомобилей непосредственно с пластиком не приводит к его истиранию и попаданию в окружающую среду. Также исключается влияние солнечного излучения на сам пластик. При этом сохраняется основная доля пластика в материалах дороги. На сегодняшний день главным недостатком этого способа является его не изученность. Из подобных блоков опытное применение получили лишь те, из которых строят велосипедные дороги, либо временные дороги на болотах и прочих сложных непроходимых для автомобилей участках. Полноценные автомобильные дороги из пластиковых плит ещё не создаются, так как имеется проблема с несоответствием минимальным нормативным требованиям для дорог.

Полученные выводы создают основания для постановки задачи по исследованию и созданию новых материалов, которые бы включали в себя переработанные пластиковые отходы, а также проектирование дорожных модульных блоков и плит, конструкция которых соответствовала бы нормативам для безопасных и экологически чистых автомобильных дорог.

References

1. Rochman, C.M. The complex mixture, fate and toxicity of chemicals associated with plastic debris in the marine environment. *Marine Anthropogenic Litter* 2015.
2. Hakuzimana, J. BREAK FREE FROM PLASTICS: ENVIRONMENTAL PERSPECTIVES AND EVIDENCE FROM RWANDA. *Environment & Ecosystem Science*. 2021. 5(1). DOI:10.26480/ees.01.2021.27.36.
3. Benson, N.U., Basse, D.E., Palanisami, T. COVID pollution: impact of COVID-19 pandemic on global plastic waste footprint. *Heliyon*. 2021. 7(2). DOI:10.1016/j.heliyon.2021.e06343.
4. Vanapalli, K.R., Sharma, H.B., Ranjan, V.P., Samal, B., Bhattacharya, J., Dubey, B.K., Goel, S. Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic. *Science of the Total Environment*. 2021. 750. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.141514.



5. Awoyera, P.O., Adesina, A. Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective. *Case Studies in Construction Materials*. 2020. 12. Pp. e00330. DOI:10.1016/J.CSCM.2020.E00330.
6. Liang, Y., Tan, Q., Song, Q., Li, J. An analysis of the plastic waste trade and management in Asia. *Waste Management*. 2021. 119. Pp. 242–253. DOI:10.1016/j.wasman.2020.09.049.
7. Shin, S.K., Um, N., Kim, Y.J., Cho, N.H., Jeon, T.W. New policy framework with plastic waste control plan for effective plastic waste management. *Sustainability (Switzerland)*. 2020. 12(15). DOI:10.3390/su12156049.
8. Zhao, C., Liu, M., Du, H., Gong, Y. The evolutionary trend and impact of global plastic waste trade network. *Sustainability (Switzerland)*. 2021. 13(7). DOI:10.3390/su13073662.
9. Vollmer, I., Jenks, M.J.F., Roelands, M.C.P., White, R.J., van Harmelen, T., de Wild, P., van der Laan, G.P., Meirer, F., Keurentjes, J.T.F., Weckhuysen, B.M. Beyond Mechanical Recycling: Giving New Life to Plastic Waste. 59(36). Wiley-VCH Verlag, 01-09-2020.
10. Miandad, R., Rehan, M., Barakat, M.A., Aburiazaza, A.S., Khan, H., Ismail, I.M.I., Dhavamani, J., Gardy, J., Hassanpour, A., Nizami, A.S. Catalytic pyrolysis of plastic waste: Moving toward pyrolysis based biorefineries. *Frontiers in Energy Research*. 2019. 7(MAR). DOI:10.3389/fenrg.2019.00027.
11. Kan, T., Strezov, V., Evans, T.J. Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. 57. Elsevier Ltd, 01-05-2016.
12. Liu, J., Hou, Q., Ju, M., Ji, P., Sun, Q., Li, W. Biomass pyrolysis technology by catalytic fast pyrolysis, catalytic co-pyrolysis and microwave-assisted pyrolysis: A review. 10(7). MDPI, 01-09-2020.
13. Czajczyńska, D., Anguilano, L., Ghazal, H., Krzyżyńska, R., Reynolds, A.J., Spencer, N., Jouhara, H. Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. 3. Elsevier Ltd, 01-09-2017.
14. Qureshi, M.S., Oasmaa, A., Pihkola, H., Deviatkin, I., Tenhunen, A., Mannila, J., Minkkinen, H., Pohjakallio, M., Laine-Ylijoki, J. Pyrolysis of plastic waste: Opportunities and challenges. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2020. 152. DOI:10.1016/j.jaap.2020.104804.
15. Zhang, F., Zhao, Y., Wang, D., Yan, M., Zhang, J., Zhang, P., Ding, T., Chen, L., Chen, C. Current technologies for plastic waste treatment: A review. 282. Elsevier Ltd, 01-02-2021.
16. Maafa, I.M. Pyrolysis of polystyrene waste: A review. 13(2). MDPI AG, 02-01-2021.
17. Anuar Sharuddin, S.D., Abnisa, F., Wan Daud, W.M.A., Aroua, M.K. A review on pyrolysis of plastic wastes. 115. Elsevier Ltd, 01-05-2016.
18. Ratnam, S. Waste To Energy: Greenwash At Its Best. *the Greens*. 2021.
19. Tsai, C.-J., Chen, M.-L., Chang, K.-F., Chang, F.-K., Mao, I.-F. The pollution characteristics of odor, volatile organochlorinated compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons emitted from plastic waste recycling plants. *Chemosphere*. 2009. 74(8). DOI:10.1016/j.chemosphere.2008.10.041.
20. Liu, F., Liu, H.Q., Wei, G.X., Zhang, R., Zeng, T.T., Liu, G.S., Zhou, J.H. Characteristics and treatment methods of medical waste incinerator fly ash: A review. 6(10)2018.
21. Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*. 2017. 3(7). DOI:10.1126/sciadv.1700782.
22. Fuller, J., White, D., Yi, H., Colley, J., Vickery, Z., Liu, S. Analysis of volatile compounds causing undesirable odors in a polypropylene - high-density polyethylene recycled plastic resin with solid-phase microextraction. *Chemosphere*. 2020. 260. DOI:10.1016/j.chemosphere.2020.127589.
23. Huang, G., Xie, J., Li, T., Zhang, P. Worker health risk of heavy metals in pellets of recycled plastic: a skin exposure model. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2021. 94(7). DOI:10.1007/s00420-021-01727-6.
24. Conlon, K. Plastic roads: not all they're paved up to be. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*. 2021. DOI:10.1080/13504509.2021.1915406.
25. Kitahara, K.I., Nakata, H. Plastic additives as tracers of microplastic sources in Japanese road dusts. *Science of the Total Environment*. 2020. 736. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.139694.
26. Chernykh, E. The Use of Environmentally Friendly Technologies in the Construction of Road Surfaces, with the Aim of the Rational Distribution of Natural Resources in Russia. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. 22(11). DOI:10.12911/22998993/143143.
27. Nizamuddin, S., Boom, Y.J., Giustozzi, F. Sustainable polymers from recycled waste plastics and their virgin counterparts as bitumen modifiers: A comprehensive review. 13(19)2021.
28. Rajasekaran, S., Vasudevan, R., Paulraj, S. Reuse of Waste Plastics Coated Aggregates-Bitumen

Nazinyan, L.; Shevchenko S.

Use of processed plastic products in road construction;
2021; *AlfaBuild*; 22 Article No 2205. doi:10.57728/ALF.22.5



- Mix Composite For Road Application – Green Method. American Journal of Engineering Research. 2013. (11).
29. Raja, C.J.S., Sampath, N.S., Suresh, C., Bhaskar, A.P. A review on use of plastic in construction of roads. Journal of Advancement in Engineering and Technology. 2020. 7(4).
 30. Sachdeva, A., Sharma, U. An overview of utilization of E-waste plastic in road construction. Lecture Notes in Civil Engineering. 722020.
 31. Subramanian, S. Plastic roads: India's radical plan to bury its garbage beneath the streets. Guardian News and Media Limited. 2016. 46(12).
 32. Anwar, M.K., Shah, S.A.R., Alhazmi, H. Recycling and utilization of polymers for road construction projects: An application of the circular economy concept. Polymers. 2021. 13(8). DOI:10.3390/polym13081330.
 33. Kamal, I., Bas, Y. Materials and technologies in road pavements - An overview. Materials Today: Proceedings. 2021. 42. DOI:10.1016/j.matpr.2020.12.643.
 34. Ki, D., Kang, S.Y., Ma, G., Oh, H.J. Application of Waste Plastic Films in Road Infrastructure and Construction. Frontiers in Sustainability. 2021. 2. DOI:10.3389/frsus.2021.756723.
 35. Santos, J., Pham, A., Stasinopoulos, P., Giustozzi, F. Recycling waste plastics in roads: A life-cycle assessment study using primary data. Science of the Total Environment. 2021. 751. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.141842.
 36. Riya Goyal. Plastic Waste Road Construction in Madhya Pradesh. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. 2021. 9(6). DOI:10.30534/ijeter/2021/23962021.
 37. Rosita, Y.D., Sugianto, S. Potholes Road Classification by Shape and Area Features. Record and Library Journal. 2019. 5(1). Pp. 72. DOI:10.20473/rlj.v5-i1.2019.72-79.
 38. Liu, S.S., Budiwirawan, A., Arifin, M.F.A., Chen, W.T., Huang, Y.H. Optimization model for the pavement pothole repair problem considering consumable resources. Symmetry. 2021. 13(3). DOI:10.3390/sym13030364.
 39. Kanoungo, A., Sharma, U., Goyal, A., Kanoungo, S., Singh, S. Assessment of Causes of Pothole Development on Chandigarh Roads. Journal of The Institution of Engineers (India): Series A. 2021. 102(2). DOI:10.1007/s40030-021-00520-5.
 40. Naveen, N., Yadav, S.M., Kumar, A.S. A Study on Potholes and Its Effects on Vehicular Traffic. 6(1)2018.
 41. Ridmika, K.D.H. Constructing plastic roads using polymer-modified bitumen: A literature review. World Construction Symposium. 2019. DOI:10.31705/WCS.2019.21.
 42. Gulseven, O., Ashkanani, S., Abdullah, S., Ismaeil, H., Alkandari, H., Baroun, M. A sustainable model for enhancing road quality with recycled plastic bags. Kuwait Journal of Science. 2019. 46(4).
 43. Asmaa Abdulmajeed Mamhousseini. Construction of Waste Plastic Roads Using Black Viscous Blend of Hydrocarbons. Eurasian Journal of Science and Engineering. 2020. 6(1). DOI:10.23918/eajse.v6i1p121.
 44. Jalaluddin, M. Use of Plastic Waste in Civil Constructions and Innovative Decorative Material (Eco-Friendly). MOJ Civil Engineering. 2017. 3(5). DOI:10.15406/mojce.2017.03.00082.
 45. Akarsh K V. Plastic-Papercrete Roads. International Journal of Engineering Research and. 2020. V9(04). DOI:10.17577/IJERTV9IS040720.
 46. Huda Shafiq, Anzar Hamid. Plastic Roads: A Recent Advancement in Waste Management. International Journal of Engineering Research and. 2016. V5(09). DOI:10.17577/IJERTV5IS090574.
 47. Chavan, M. Use of Plastic Waste in Flexible Pavements. Ijaiem.Org. 2013. 2(4).
 48. Limantara, A.D., Gardjito, E., Ridwan, A., Subiyanto, B., Raharjo, D., Santoso, A., Heryanto, B., Sudarmanto, H.L. Comparative Study of Bio-Asphalt, Coconut Shell Distillation TAR, and Plastic Road in Terms of Construction, Economical, and Regulatory Aspects. Journal of Physics: Conference Series. 2019. 1364(1). DOI:10.1088/1742-6596/1364/1/012058.
 49. Yadav, A., Chandrakar, R., Engineering, C. Construction of plastic roads : An effective way to utilize wastes. International Research Journal of Engineering and Technology. 2017. 04(11).
 50. Manju, R; Sathya, S.S.K. Use of Plastic Waste in Flexible. International Journal of ChemTech Research. 2017. 10(8).
 51. Siedov, A., Fomenko, O. Investigation of the wear of asphalt concrete pavement taking into account the influence of temperature, moisture of the pavement and the presence of an aggressive environment. Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University. 2021. 2(92).

Nazinyan, L.; Shevchenko S.

Use of processed plastic products in road construction;
2021; *AlfaBuild*; **22** Article No 2205. doi:10.57728/ALF.22.5



DOI:10.30977/bul.2219-5548.2021.92.2.68.

52. Snilsberg, B., Saba, R.G., Uthus, N. Asphalt pavement wear by studded tires – Effects of aggregate grading and amount of coarse aggregate. 2017. DOI:10.14311/ee.2016.072.
53. Gayfutdinov, R., Bajmukhametov, G., Hafizov, E. Pavement wear process and abrasive wear resistance of asphalt concrete. E3S Web of Conferences. 2021. 274. Pp. 02008. DOI:10.1051/e3sconf/202127402008.
54. Aleksandrov, A.S., Dolgih, G. V, Kuzubov, A.U. Wear of Asphalt Concrete Pavements and Its Contribution to the Depth of the Rut. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. 1079(5). DOI:10.1088/1757-899x/1079/5/052015.
55. Tugrul Tunc, E., Alyamac, K.E. Determination of the relationship between the Los Angeles abrasion values of aggregates and concrete strength using the Response Surface Methodology. Construction and Building Materials. 2020. 260. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2020.119850.
56. Tugrul Tunc, E., Esat Alyamac, K. A preliminary estimation method of Los Angeles abrasion value of concrete aggregates. Construction and Building Materials. 2019. 222. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.06.176.
57. Umar, T., Egbu, C., Saidani, M. A Modified Method for Los Angeles Abrasion Test. Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering. 2020. 44(3). DOI:10.1007/s40996-019-00268-w.
58. Kalpana, M., Surendaran, D. Utilisation of Waste Plastic in Bituminous Roads-A Review. International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2018. 119(17).
59. Trimbakwala, A. Plastic Roads Use of Waste Plastic in Road Construction. International Journal of Scientific and Research Publications. 2017. 7(4).
60. Biswas, A., Goel, A., Potnis, S. Performance evaluation of sustainable bituminous-plastic roads for Indian conditions. International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. 9(1). DOI:10.35940/ijeat.A9844.109119.
61. Gawande, A.P. ECONOMICS AND VIABILITY OF PLASTIC ROAD : A REVIEW. Chem. Pharm. Sc. 2013. 3(4).
62. Asare, P.N.A., Kuranchie, F.A., Ofosu, E.A. Evaluation of incorporating plastic wastes into asphalt materials for road construction in Ghana. Cogent Environmental Science. 2019. 5(1). DOI:10.1080/23311843.2019.1576373.
63. Rasel, H.M., Rahman, M.N., Ahmed, T.U. Study of Effects of Waste PVC on the Properties of Bituminous Mixes. SAMRIDDHI : A Journal of Physical Sciences, Engineering and Technology. 2015. 2(2). DOI:10.18090/samriddhi.v2i2.1601.
64. Biswas, A., Goel, A., Potnis, S. Performance comparison of waste plastic modified versus conventional bituminous roads in Pune city: A case study. Case Studies in Construction Materials. 2020. 13. DOI:10.1016/j.cscm.2020.e00411.
65. Abukhattala, M. Use of recycled materials in road construction. International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering. 2016. DOI:10.14311/bit.2021.01.06.
66. Poulikakos, L.D., Papadaskalopoulou, C., Hofko, B., Gschösser, F., Cannone Falchetto, A., Bueno, M., Arraigada, M., Sousa, J., Ruiz, R., Petit, C., Loizidou, M., Partl, M.N. Harvesting the unexplored potential of European waste materials for road construction. Resources, Conservation and Recycling. 2017. 116. DOI:10.1016/j.resconrec.2016.09.008.
67. Murugan, L. Use of e-plastic waste in bituminous pavements. Gradjevinar. 2018. 70(7). DOI:10.14256/JCE.1375.2015.
68. Jiang, W., Yuan, D., Sha, A., Huang, Y., Shan, J., Li, P. Design of a novel road pavement using steel and plastics to enhance performance, durability and construction efficiency. Materials. 2021. 14(3). DOI:10.3390/ma14030482.
69. Lysyannikov, A. V., Egorov, A. V., Lysyannikova, N.N., Shram, V.G., Kovaleva, M.A., Lynev, A.S., Kaizer, Y.F. Polymer materials from recycled plastic in road construction. Journal of Physics: Conference Series. 2019. 1399(4). DOI:10.1088/1742-6596/1399/4/044064.
70. Strugac, A., Trifonov, A. Architecture of contemporary pedestrian bridges made of fiber-reinforced composite materials. Russian journal of transport engineering. 2019. 6(1). DOI:10.15862/17sats119.
71. Shevchenko, S., Ukolov, S., Simonov, D., Trepalin, V., Yustikova, L. Design of modular removable road pavement slabs for the agro-industrial complex. E3S Web of Conferences. 2020. 175. DOI:10.1051/e3sconf/202017511025.
72. Ali, I., Kumar, R., Mev, U.K., Jakhar, M., Ali, I. Application of Plastic Waste Management in Road

Nazinyan, L.; Shevchenko S.

Use of processed plastic products in road construction;
2021; *AlfaBuild*; **22** Article No 2205. doi:10.57728/ALF.22.5



Construction. International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science. 2018. 4(2).
DOI:10.22161/ijcmes.4.2.2.