

УДК 625.8

**НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ
В АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЯХ****Я. Д. ИГНАТЬЕВА***(Представлено: канд. техн. наук, доц. Л. М. ПАРФЕНОВА)*

В статье приведен обзор направлений использования промышленных отходов в асфальтобетонных смесях. Рассмотрено применение в асфальтобетонных смесях асфальтогранулята, отходов черной и цветной металлургии, угольной промышленности, пластиковых отходов, отходов резины. Показаны существующие технологии переработки и использования отходов мягких кровельных материалов.

Программа энерго- и ресурсосбережения, действующая в строительной отрасли, направлена на утилизацию строительных отходов и создание соответствующих технологий и оборудования с возможностью переработки отходов в продукцию, пригодную для вторичного применения в строительстве.

Исследованиям, направленным на использование отходов производства в асфальтобетонных смесях, посвящены работы отечественных и зарубежных ученых. Широкое применение находят технологии, основанные на переработке старого асфальтобетона (асфальтогранулята). В работе [1] проведена оценка влияния количества асфальтогранулята в асфальтобетонной смеси на водо- и теплоустойчивость. Проведенные авторами работы [1] исследования показали, что использование асфальтогранулята для приготовления асфальтобетонных смесей эффективно и целесообразно, т.к. с одной стороны, позволяет получить значительную экономию дорожно-строительных материалов, а с другой стороны обеспечивает высокую водо- и теплоустойчивость асфальтобетонных смесей, приготовленных на его основе. Авторы работы [2] исследовали и разрабатывали состав органоминеральной смеси, содержащей в своем составе в качестве основного минерального материала асфальтогранулят, а в качестве органического вяжущего диспергированный вязкий битум, эмульгированный известьесодержащим отходом, обеспечивающим формирование конгломерата в дорожном покрытии. Итогом работы [2] стало расширение номенклатуры дорожно-строительных материалов для ямочного ремонта, особенно для регионов, не имеющих на своей территории качественных каменных месторождений.

Пугин К.Г., Юшков В.С. [3] предложили вводить в состав асфальтобетонной смеси отходы производства черной металлургии, что позволило при укладке дорожного полотна визуально разделить полосы движения на автомобильной дороге (горизонтальная разметка). Исследованиям цветного асфальтобетона также посвящены работы зарубежных ученых [4, 5], результатами которых являются технологии создания цветного асфальтобетона, который в свою очередь помогает снижать аварийность на автомобильных дорогах при плохой освещенности.

Инженеры индийской компании «KK Plactic Waste Management Ltd» запатентовали технологию использования пластиковых отходов при асфальтировании дорог [6]. Компания создала полимерную смесь «KK Poly Blend», которая замещает 8% битума в составе асфальтобетонной смеси и улучшает характеристики дорожного покрытия. Инженер компании «MacRebur» исследовал и запатентовал высокоэффективные добавки на основе переработанного пластика [7]. Добавки выпускаются в виде гранул и хлопьев, которые добавляются вместе с битумом при производстве покрытия.

Норвежской компании «VolkerWessels» принадлежит инновационная технология с использованием пластиковых отходов в составе асфальтобетонной смеси, заключающаяся в литье специальных пустотелых плит из полимера, которые потом укладываются на подушку из уплотненного песка. Полное пространство модулей можно использовать для прокладки инженерных коммуникаций. Основное преимущество технологии - вторичное использование пластиковых отходов и быстрый монтаж плит [8].

Значительное количество исследований посвящено улучшению свойств битумного вяжущего. Авторами работы [9] предложено модифицировать битум путем введения активированных органоминеральных добавок. Введение в битум активированного бурого угля повысило значение прочности при сжатии образцов в 2 раза, а водопоглощение образцов асфальтобетонов с модифицированным вяжущим в 2 раза ниже, чем у исходных образцов.

В работе Галдиной В.Д. [10] рассмотрено влияние полимерных добавок на свойства битума и асфальтобетона. Выполненная автором сравнительная оценка влияния полимерно-битумных вяжущих на свойства асфальтобетона выявила значительное улучшение их физико-механических свойств. В работе [10] отмечается, что асфальтобетон на комплексном полимерно-битумном вяжущем, включающим атактический полипропилен и дорожный деструктурированный каучук отличается высокими показателями тепло-, трещино- и водостойкости.

Авторами работы [11] проведены исследования по модификации нефтяных битумов полимерными материалами с целью улучшения качественных показателей получаемого дорожного вяжущего. В исследованиях [11] использованы отходы полиэтилена и темпоэластопласт ДСТ-30-01, а также адгезионная добавка «Амдор-10». Разработанный оптимальный состав комплексного модификатора обеспечил увеличение прочности, водостойкости и снижение показателя водонасыщения.

Авторами исследований [12] разработана технология получения органического вяжущего с использованием продуктов термической переработки биомассы дерева. Отмечается, что содержащиеся в данных соединениях функциональные гидроксильные, метоксильные, карбонильные и карбоксильные группы потенциально увеличивают адгезию битумов к каменным материалам за счёт физико-химического взаимодействия с основными группами карбонатных пород минеральной части асфальтобетона. Исследованиями показано, что все образцы с добавкой пиролизной жидкости в качестве модификатора битумного вяжущего до 30% имеют более высокую адгезионную прочность, чем контрольные образцы.

Многочисленными исследованиями доказана эффективность применения в асфальтобетонных смесях эластомеров – дробленой резины, порошкового каучука, а также низкомолекулярных каучуков (олигомеров). Авторами работы [13] выполнен анализ модификаций битума с полиэтиленовыми отходами. Отмечается, что для модификации свойств дорожных битумов должны использоваться полимеры, способные совмещаться с нефтяным битумом при повышенной температуре за минимальный период времени. Показано, что мелкая резиновая крошка используется для получения резинобитумного вяжущего. Вяжущее готовят путем термомеханической обработки смеси битума с резиновой крошкой и наполнителем. В процессе такой обработки происходит девулканизация каучука, содержащегося в резине, и модификация им битума.

В ходе сравнительного анализа физико-механических свойств традиционного щебеночно-мастичного асфальтобетона и щебеночно-мастичного асфальтобетона модифицированного резиновой крошкой из утилизированных шин «КМА» Колтек, выполненного в работе [14] было установлено, что введение резиновой крошки в щебеночно-мастичный асфальтобетон позволяет повысить показатели предела прочности на сжатие при 20 и 50°C, предела прочности на растяжение при расколе при 0 °C, сцепления при сдвиге, усталостной прочности и водостойкости, снизить показатель водонасыщения. Выявлено, что оптимальное содержание добавки резиновой крошки в составе щебеночно-мастичного асфальтобетона составляет 1 %. Повышения качества и увеличения сроков службы дорожных покрытий автомобильной дороги можно добиться за счет введения на этапе приготовления в состав щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси модифицирующей добавки – резиновой крошки.

На основе отходов шинной резины и специальной ультразвуковой технологии разработано универсальное высококачественное нанополимерное вяжущее [15]. Разработанное вяжущее рекомендуется для использования не только в дорожном строительстве, но и в качестве основы для получения высококачественных кровельных и изоляционных материалов. Рассматривается введение резиновой крошки непосредственно во время приготовления асфальтобетонной смеси в смеситель (сухой способ) [15]. Способ менее затратный, т.к. в качестве дополнительного оборудования требуется только дозатор. Введение резиновой крошки положительно сказывается на показателе водонасыщения образцов асфальтобетона, повышается предел прочности на растяжении, повышается трещиностойкость.

В работе [16] рассматривались вопросы применения отходов промышленности в качестве минерального порошка в асфальтобетоне. В статье представлены результаты исследований порошкообразных отходов, образующихся при производстве цветных металлов – «кеков» и известняковой муки. Полученный асфальтобетон на «кеках» превосходит по показателям прочности при 20, 50, 0°C и водостойкости контрольные образцы.

В исследованиях [17] изучена возможность применения гальваноосадков (осадков сточных вод цеха гальванопокрытий ОАО «Ростельмаш») в асфальтобетонах. На основании результатов лабораторных испытаний авторы работы доказали возможность использования твердого осадка гальваносточков в качестве добавок при производстве асфальтобетона в количествах 7% от общей массы асфальтобетонной смеси без её ухудшения.

В работе [18] для модификации асфальтобетонной смеси использовался бой шифера. Бой шифера измельчался в порошок путем дробления на щековой и помола в шаровой мельнице. Результаты исследований показали, что оптимальное содержание битума в асфальтовом вяжущем с использованием асбестоцементного порошка ниже, чем с мраморным (5,5 % против 6,5% соответственно), что удешевляет стоимость получаемой асфальтобетонной смеси.

Использование горелой земли отхода литейного производства в качестве заменителя песка в асфальтобетонных смесях предложили авторы работы [19]. Результатами исследований стали улучшение показателя прочности при набухании и водонасыщения.

Для модификации асфальтобетонных смесей могут применяться отходы угольной промышленности. Авторы работы [20] изучили влияние на физико-механические свойства асфальтобетона связующего вещества, модифицированного добавкой диспергированного и активированного угля. По результатам исследований был выполнен экспериментальный участок асфальтобетонного покрытия следующей рецептуры : щебень 93 мас.% + битум (БНД 90/130) 7 мас.% + акт.уголь 10 мас.% от с.к. Исследования прочности экспериментального участка через 2 и 12 месяцев эксплуатации соответствовали требованиям ТНПА. Анализ значений модулей упругости показал, что среднее значение модуля упругости асфальтобетона с модифицированным связующим больше значения модуля упругости асфальтобетона с исходным связующим на 22,3%. Средняя прочность дорожной одежды на участке с модифицированным асфальтобетоном через 1 год эксплуатации на 9,9 % превышает среднюю прочность обычной дорожной одежды.

Начиная с 1960 года, на зданиях и сооружениях устраивались типовые плоские крыши с битумными кровлями, объем которых составляет 75-80 процентов от общего объема всех возведенных крыш. Исследования в области переработки кровельных битумных отходов были начаты еще в 1980-е годы отечественными и зарубежными учеными. Для возможности использования отходов в качестве вторичного сырья, первоначально исследователями решалась задача, направленная на определение технологических параметров измельчения кровельных битумных отходов.

Авторы работы [21] рассматривали возможность использования отходов мягких кровельных материалов бывших в употреблении и отходов производства кровельных материалов. Установлено, что отходы производства кровельных материалов предпочтительнее отходов бывших в употреблении, в первую очередь потому, что отходы производства содержат менее загрязняющих веществ [22], а также асфальтобетонная смесь с добавлением этих отходов менее окислена [23]. Данные отходы требуют только измельчения с минимальной сортировкой, проверкой, тестированием или отделением нежелательных материалов или без них. Отходы кровли бывшие в употреблении содержат асбест, металл, дерево, пластик, песок, мусор и т.д.

Основной технологией переработки кровельных битумных отходов для дальнейшего их использования в горячих асфальтобетонных смесях в работе [21] является измельчение отходов на куски размером менее 13 мм с помощью «shredding machine» (машина для переработки обрезков), роторного измельчителя или высокоскоростной молотковой мельницы. Отмечается [24], что каждый производитель подобных машин использует свою уникальную комбинацию материалов (обработка и окончательные размеры получаемого продукта). Размер кровельных отходов является ключевым и определяет пригодность продукции для различных применений. Например, частицы большего размера (около 10 см) загружаются в бункер, подающим барабаном поступают в камеру измельчения, которая включает в себя режущие зубья, калибровочные сита и выходной конвейер. В данной конструкции зачастую применяется магнит на головке шкива на конце выходного конвейера для удаления гвоздей и других черных металлов. После получения переработанных отходов с помощью штабелеукладчика или погрузчика итоговый продукт укладывается в штабеля. Чтобы предотвратить агломерацию требуется понизить температуру продукта. Этого можно достичь двумя способами: во время измельчения отходы кровельных материалов пропускают через оборудование только один раз, для того, чтобы уменьшить нагрев, или же переработанные отходы кровельных материалов охлаждают с помощью разбрызгивания на них воды. Однако применение воды нежелательно, т.к. обрабатываемый материал становится достаточно влажным и должен быть высушен перед применением (что требует дополнительных затрат) [25].

Хранение переработанных кровельных отходов обычно выполняется аналогично хранению асфальтогранулята. Запасы переработанного рубероида должны быть закрыты. В работе [23] отмечается, что во время хранения на складе измельченные отходы кровли могут агломерировать. Значительная агломерация требует повторной обработки или повторных испытаний перед введением отходов во вторичное производство. Чтобы решить эту проблему, переработанные отходы кровельных материалов можно смешать с небольшим количеством сеянного песка, чтобы предотвратить слипание частиц.

Исследования в области переработки кровельных битумных отходов для вторичного их использования в строительном производстве в Республике Беларусь были начаты в 1985 году специалистами Брестского инженерно-строительного института (БИСИ, БрПИ, ныне БрГТУ) и Осиповичского картоно-рубероидного завода (Беларусь).

Попытка выплавки битума из технологических рубероидных отходов оказалась трудоемкой, связанной с постоянным ворошением в плавильных котлах горячих кусков рубероида. При этом не решался вопрос переработки основы рубероида (картона), а это до 25 % от общего объема перерабатываемых отходов битумных кровель, которые отправлялись на свалки. Стоимость одной тонны выплавленного битума из отходов рубероида оказывалась почти в 2 раза выше стоимости аналогичного объема кондиционного битума [26], [27].

Рубероидные отходы на картонной основе представляют собой вязкую с волокнистыми и минеральными наполнителями мелкодисперсную структуру, которая не поддается мельничному дроблению на традиционных агрегатах. Это происходит прежде всего из-за адгезионной связи вязкого битума с металлическими энергообменниками дробилок, затрудняющей процесс механического измельчения отходов кровельных материалов. Для нарушения адгезии или «прилипания» битума к энергообменным устройствам в БрГТУ был разработан макетный образец измельчителя, где использовалась вода, обладающая антиадгезионными свойствами к битуму. Гравитационное обогащение отходов рубероида в водной среде измельчителя происходило с дроблением и разделением по плотности измельчаемых рубероидных отходов на мелкодисперсную гидромассу. Такая битуминозная гидромасса может использоваться как вяжущее и как наполнитель для производства теплоизоляционных материалов [26], [27]. Проведенные исследования технологии измельчения отходов рубероида в воде с последующим применением гидромассы в новых теплоизоляционных материалах подтвердили принципиальную возможность механической переработки и вторичного применения кровельных битумных отходов в производстве. Однако битуминозная гидромасса не обладает технологичностью, требует энергоемкого оборудования по удалению воды из смеси, обладает сезонностью и ограниченной областью применения.

Между тем принцип измельчения тяжелых вязких битумных кусков в гравитационной водной среде послужил подсказкой и идеей измельчать отходы во взвешенном сухом состоянии. Поэтому был создан высокоскоростной мельничный агрегат с постоянно изменяющимся внутренним рециклом в размоленной емкости, позволяющим в гравитационной среде измельчать битумные отходы и битумы твердых марок в порошок.

Необходимо отметить, что переработка вязких битумных, в частности, кровельных отходов представляет собой сложную технологическую задачу. Традиционный ручной способ разборки старых рулонных кровельных ковров на основе армирующих картона и стеклоткани с помощью топоров и лопат является непроизводительным и утомительным для кровельщиков. Для повышения культуры производства, производительности и облегчения труда кровельщиков в БрГТУ было разработано и изготовлено пять универсальных моделей машин МРК 1–5 для резки кровельных ковров и разборки неармированных цементных и асфальтовых покрытий.

В заводском исполнении было изготовлено более 100 машин модели МРК 1–5 с реализацией их в Беларуси, России, Украине и других странах. Машинный способ разборки рулонных кровельных ковров позволяет повысить культуру производства и производительность кровельщиков более чем в 8 раз. При этом резко снижается физическая нагрузка оператора, поскольку осуществляется самоперемещение машин в работе с аккуратной нарезкой кровельных отходов в виде мелких пластин. Куски и пластины кровельных отходов с покрытия на землю транспортируются по рукавному трубопроводу (А. с. СССР 1742169). Рукав состоит из системы легких металлических или пластмассовых сборных труб, объединенных между собой гибкими связями. Несложный и быстрый монтаж и демонтаж такого рукавного трубопровода позволяет осуществлять вертикальную транспортировку сыпучих материалов с высотой отметки более 30 м. При этом резко повышается производительность транспортировки, сокращаются энергозатраты и не наносится ущерб экологии.

Считалось, что вязкие битумные материалы вообще не поддаются мельничному измельчению на известных агрегатах. Специалисты БрГТУ разработали гидроизмельчитель и провели опытные производственные проверки в 1985 году на Осиповичском картонно-рубероидном заводе (Беларусь). При создании машин ориентировались на малогабаритные и мобильные варианты их применения непосредственно в черте города. Они могут использоваться на строительных площадках или в передвижных мобильных пунктах по переработке битумных отходов. В рабочем состоянии машины не выделяют вредные выбросы в атмосферу и удовлетворяют всем требованиям экологической безопасности. Порошок после измельчения кровельных битумных отходов (далее – КБО) на машинах выходит неоднородной фракции. В производстве как вяжущий материал применяют порошок фракции до 5 мм. Поэтому после измельчения для получения битумного порошка нужной фракции он просеивается через систему сит на виброгрохоте. На основе исследований, математического моделирования и анализа конструктивных и эксплуатационных характеристик разработанных машин были созданы 4 модели измельчителей ИСБ 1–4 и 2-х виброгрохотов. После классификации на виброгрохоте порошок фракции до 5 мм размещают в герметичных мешках и отправляют на склад, а оставшуюся на ситах крупную фракцию порошка из КБО снова загружают в машину на доизмельчение. Причем крупная фракция (крупнее 10 мм) порошка, содержащего картонную основу рубероида, может быть использована как добавка для обогащения и повышения теплотворной способности местного древесного топлива в котельных. Таким образом, осуществляется 100 % переработка КБО.

В настоящее время используются следующие основные методы и технологии использования отходов битумных кровельных материалов:

1. переработка методом измельчения в порошок (гранулы) для дальнейшего использования (ВИР-технология);
2. термическая безогневая обработка отходов рубероида с получением жидкого битума;
3. производство на основе выделенного битума различных битумных композиций (битумных праймеров, мастик, битумно-полимерных мастик, битумно-латексных эмульсий и т.д.);
4. производство ремонтных кровельных материалов;
5. применение битума в качестве сырья в пиролизных процессах;
6. применение отходов рубероида в горячих асфальтобетонных смесях.

ВИР-технология является самой молодой технологией переработки и использования кровельных битумных отходов во вторичном производстве. Автором и изобретателем ВИР-технологии (способ) [28], [29], ВИР-оборудования (устройство) [30], [31], [32], [33] и ВИР-пласта (вещество) [34] является Тен Валерий Петрович.

Изготовителем ВИР-оборудования является ООО «Севастопольское Предприятие «ЭКОТЕХ». Исключительное право на Торговый Знак ВИР-технология принадлежит: ООО «ВИР-технология». ВИР-технология – это способ вторичного использования рубероида (ВИР). Технология ВИР предусматривает под собой снятие и измельчение старого кровельного пирога, выпаривание из него воды, модификацию и пластификацию входящего в состав старой кровли битума, полную гомогенизацию всех составных компонентов (все это делается с помощью ВИР-оборудования), а также укладку и выравнивание полученной горячей рубероидной массы, которая после застывания и есть материал ВИР-пласт. ВИР-пласт представляет собой измельченное, гомогенизированное, модифицированное и пластифицированное гидроизоляционное вещество, полученное способом вторичного использования рубероида при помощи специальных устройств (ВИР-оборудования) для его приготовления.

Практиковалась и термическая выплавка битума из кровельных материалов. Этот метод оказался энергозатратным, трудоемким и требовал изготовления громоздкого, металлоемкого и сложного технологического оборудования. Исходя из этого наиболее предпочтительным методом переработки является механическое измельчение в порошок.

Применение битумных порошков в производстве ремонтных кровельных материалов позволяет принципиально изменить существующую традиционную технологию реконструкции совмещенной крыши на новую. Принцип рассматриваемой технологии, представлен в статье [35] и заключается в следующем:

1. старые слои кровельного ковра разбирают машиной МРК, а стяжку очищают от пыли и мусора;
2. на подготовленную стяжку насухо укладывают и расправляют стеклянную сетку, которая является разделительным слоем между стяжкой и первым слоем нового водоизоляционного кровельного ковра. Этот разделительный слой обеспечивает условие приклейки расплавленного битума к стяжке в отдельных точках через ячейки стеклянной сетки, создавая диффузию водяных паров через неприклеенные подкровельные участки, и независимость их температурных деформаций;
3. на стеклянную сетку рассыпают ровным слоем толщиной 6–8 мм битумный порошок, полученный из измельченных кровельных отходов в порошок фракции до 5 мм и цемента. Эту битуминозную смесь нагревают газовой горелкой до полного расплавления битума до жидкотекучего состояния и образования из него сплошного водоизоляционного слоя. Такое основание через 1,5–2 часа остывает, набирает прочность и по нему можно повторно рассыпать битумно-цементную порошокую смесь с разогревом газовой горелкой.

Так последовательно на захватках крыши разбирают старые слои рубероидного ковра с одновременным устройством изоляции на вскрытой от кровли стяжке из водонепроницаемого мастичного слоя на основе битуминозной порошоковой смеси. Причем такие кровельные работы можно выполнять и зимой в сухую погоду.

Исходя из того, что любая горячая асфальтобетонная смесь содержит битум, а в рубероиде находится около 70-80% асфальтного вяжущего (битума) использование отходов мягкого кровельного материала в приготовлении асфальтобетона является весьма предпочтительным способом применения данных отходов. В исследованиях [36], [37] показано использование отходов кровельных битумных материалов в горячих асфальтобетонных смесях.

Лабораторных испытаний горячего асфальтобетона с использованием рубероида было проведено недостаточно, чтобы сделать окончательные выводы по эффективности использования отходов мягких кровельных материалов. Авторами был обнаружен единственный отчет [38], в котором проводилось тестирование горячего асфальтобетона, содержащего кровельные битумные отходы. Однако после тщательного анализа работы, очевидно, было обнаружено, что ни добавки, ни формовочная система не использовались для производства асфальтобетона. Вместо этого производители просто снизили температу-

ру смешивания смеси до 250 °С с обычной температуры асфальтобетонной смеси в 300 °С. Поэтому в этой области определенно требуется дополнительная работа. Применение порошка из кровельных бытовых отходов в асфальтобетонных смесях одновременно решает проблему использования и вяжущего, и волокнистых наполнителей, которые значительно сокращают стоимость строительства без снижения его качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черных, Д.С. Оценка влияния количества асфальтогранулята и технологии его подачи на свойства приготавливаемых смесей / Д.С. Черных, Д.А. Строев, Д.В. Задорожний. // Инж. вестник Дона. – 2013. – №4. – С. 2-5
2. Киричук, Д.И. Органоминеральная смесь на основе асфальтогранулята для ямочного ремонта городских улиц и дорог / Ю.А. Гайдайчук, М.В. Катасонов, Д.И. Гофман // Инж. вестник Дона. – 2018. – №4. – С. 3-5
3. Пугин, К.Г. Разработка асфальтобетонной смеси с использованием отходов производства / К.Г. Пугин, В.С. Юшков // Вестник МГСУ. – 2014. – № 6. – С. 99-104
4. Lee H. Laboratory Evaluation of Color Polymer Concrete Pavement with Synthetic Resin Binder for Exclusive Bus Lanes/ H. Lee, Y. Kim // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2017. – Vol.1991, №1. – P. 124-132.
5. Synnefa A. Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate / A. Synnefa [et al.] // 2011. – Vol.40B, №1. – P. 27-30.
6. K K Plastic Waste Management Ltd [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.kkplasticroads.in/about-us/company-profile.php>. – Date of access: 05.10.2020.
7. MacRebur. The Plastic Road Company [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.macrebur.com>. – Date of access: 05.10.2020.
8. VolkersWessels [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.volkerwessels.com/en/projects/plasticroad>. – Date of access: 05.10.2020.
9. Николаева, Л.А. Дорожный асфальтобетон на основе модифицированного битумного вяжущего. / Л.А. Николаева, О.Н. Буренина, С.Н. Попов // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – №85(01). – С. 112-117.
10. Галдина, В.Д. Влияние полимерных добавок на свойства битума и асфальтобетон. / В.Д. Галдина // Вестник СибАДИ. – 2009. – №2 (12). – С. 32-35.
11. Беляев, П.С. Модификация нефтяных дорожных битумов полимерными материалами для получения асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками / П.С. Беляев [и др.] // Вестник ТГТУ. – 2016. – Т.22 №2. – С.264-271.
12. Файзрахманова, Г.М. Разработка технологии получения органического вяжущего для дорожного строительства с использованием продуктов термической переработки биомассы дерева / Г.М. Файзрахманова [и др.] // Вестник ПГУ им. Шолом-Алейхема. – 2015. - №2(19). – С. 79-85.
13. Шыхалиев, К.С. Модификация битума с полиэтиленовыми отходами / К.С. Шыхалиев, З.Н. Алиева // Проблемы современной науки и образования. ISSN 2304-238. – 2017. - №16(98).
14. Хафизов, Э.Р. Повышение качества дорожных покрытий путем введения в щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь добавок резиновой крошки / Э.Р. Хафизов, Д.Ю. Семенов // Известия КГАСУ. – 2017. – №2(40). – С. 305-312.
15. Корнейчук, Г.К. Разработка универсального нанополимерного вяжущего для дорожных асфальтобетонов / Г.К. Корнейчук, Ю.А. Буценко // Вестник ИШ ДВФУ – 2017. – №1(30). – С. 68-74.
16. Васильевская, Г.В. Применение отходов промышленности ГМК «Норильский никель» в производстве дорожного асфальтобетона / Г.В. Васильевская, В.А. Шевченко, В.П. Киселёв // Вестник ИрГТУ. – 2015. - №3(98). – С.130-134.
17. Озерянская, В.В. Утилизация гальваноосадков в асфальтобетонной смеси / В.В. Озерянская, И.Н. Лоскутникова // Известия вузов. Северо-кавказский регион. Естественные науки. – 2004 –. № 6. – С. 84-87.
18. Калашников, П.И. Асфальтобетон с использованием отходов асбестоцементных изделий / П.И.Калашников // Научные исследования. – 2016. – Т.2 №6 (17). – С. 34-41.
19. Майсурадзе, Н.В. Использование горелой земли в асфальтобетонных смесях / Н.В. Майсурадзе, Л.Р. Ситдииков // Известия КГАСУ. – 2006. – №1(5). – С. 39-41.
20. Попов, С.Н. Дорожный асфальтобетон с применением отходов угольной промышленности / С.Н.Попов [и др.] // Арктика XXI век. Технические науки. – 2013. – №1. – С. 57-64.
21. Zhou F. Best practice for using RAS in HMA / F. Zhou, J. Button, J.Epps [Electronic resource]. – Mode of access: <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/0-6614-1.pdf>. – Date of access: 20.10.2020.

22. Hansen K. Guidelines for the Use of Reclaimed Asphalt Shingles in Asphalt Pavements / K.Hansen // National Asphalt Pavement Association – 2009. –S. 136, E.2. – P.15-23.
23. Button J.W. Roofing Shingles and Toner in Asphalt Mixtures» / J.W. Button, D. Williams, J. Scherocman. – Texas: Texas A&M University, 1996. – P.6-19.
24. Krivit D. Recycling Tear-Off Asphalt Shingles: Best Practices Guide / D.Krivit. – Illinois: CMRA Eola, 2007. – P.14-23.
25. Chesner, W.H. User Guidelines for Waste and By-Product Materials in Pavement Construction / W.H. Chesner, R. J. Collins, M. H. MacKay. – Virginia: Federal Highway Administration, 1997. – 14 p.
26. Устинов, Б. С. Теплоизоляционные материалы из отходов картонно-рубероидного производства / Б. С. Устинов // Строительные материалы. – 1988. – №7. – С.5-6.
27. Устинов, Б. С. Теплоизоляционные материалы из отходов картонно-рубероидного производства / Б. С. Устинов // Строительные материалы. – 1990. – №4. – С.12-14.
28. Ремонт кровли переработкой многослойного рубероидного ковра в ВИР-пласт» (нанесение слоя кровельного покрытия горячей рубероидной массой): РТК 1.51789176.001: введ. 18.06. 00. – Москва: ООО Авистен и К. – 2 с.
29. Ремонтные кровельные и изоляционные работы по ремонту кровли переработкой многослойного рубероидного ковра в ВИР-пласт с защитным слоем из наплавляемого рулонного материала для верхнего слоя без устройства примыканий): РТК 2.51789176.001: введ. 21.09. 02. – М.: ООО Авистен и К. – 3 с.
30. Технические условия на комплект оборудования для изготовления кровельного покрытия ВИР-пласт: ТУ ТУ 3442-003-51789176-01: введ. 03.01. 01. – Москва: ООО Авистен и К. – 3 с.
31. Станок для измельчения рубероида ВИР 1.02 «Рубилка»: ТП 3.51789176.001: введ. 05.03. 00. – Москва: ООО Авистен и К. – 2 с.
32. Установка для приготовления горячей рубероидной массы ВИР 1.01»: ТП 2.51789176.001 введ. 05.03. 00. – Москва: ООО Авистен и К. – 4 с.
33. Производство комплекта оборудования для изготовления покрытия ВИР-пласт: ТЭО 2.51789176.001 введ. 15.10. 02. – Москва: ООО Авистен и К. – 7 с.
34. Покрытие ВИР-пласт из вторично использованного рубероида: ТУ 5775-004-51789176-01 введ. 01.11. 01. – Москва: ООО Авистен и К. – 2 с.
35. Рециклинг кровельного битума: технические решения, оборудование, расчеты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cnb.by/servisy/novosti/recikling-krovelnogo-bituma-tehnicheskie-resheniya-oborudovanie-raschety.html>. – Дата доступа: 11.11.2020.
36. Energy, Emissions, Material Conservation, and Prices Associated with Construction, Rehabilitation, and Material Alternatives for Flexible Pavement [Electronic resource]. – Mode of access: <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141>. – Date of access: 05.12.2020.
37. Middleton, B. Evaluation of Warm-Mix Asphalt Produced with Double Barrel Green Process / B. Middleton, B. Forfylow // Sage Journals. – 2009. – Vol.2126,1. – P.19-26.
38. Maupin, G.W. Investigation of the Use of Tear-Off Shingles in Asphalt Concrete / G.W.Maupin. – Virginia: Virginia Department of Transportation, Charlottesville, 2010. – P. 3-12.