



УДК 630*383.4

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-106-116

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛОПОЛИМЕРНЫХ СМЕСЕЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

А.Н. Минаев, д-р техн. наук, проф.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1684-7674>

О.В. Зубова, канд. техн. наук; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6263-4688>

Д.М. Кулик, соискатель; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4163-3675>

В.В. Силецкий, соискатель; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3357-533X>

В.И. Луговой, соискатель; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1631-5571>

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер, д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: elenafta@yandex.ru, ok_z19@mail.ru, danil-kulik@mail.ru, lol.spairo@yandex.ru, valentinlugovov@gmail.com

Строительство лесных дорог является одним из приоритетных вопросов лесного комплекса. Недостаточно развитая лесная дорожная сеть не позволяет использовать лесные ресурсы, находящиеся на значительном расстоянии от дорог общего пользования, так как рентабельность лесозаготовки многократно снижается. Расширение инфраструктуры лесных дорог позволит повысить мобильность, а также рентабельность добычи ресурса. Основной причиной запущенного состояния лесной дорожной инфраструктуры является высокая стоимость строительства лесных дорог, которая обусловлена высокой стоимостью дорожно-строительных материалов, а также большими расстояниями их транспортировки. Один из актуальных способов снижения стоимости дорожно-строительных материалов – это использование отходов промышленности. С целью решения данной задачи было проведено исследование для получения слоя дорожной одежды с высокими физико-механическими показателями и сравнительно низкой стоимостью из отходов промышленности. В качестве вяжущего в смеси используется бытовой полиэтилен высокого давления, а заполнителя – зола от сжигания осадка сточных вод. За счет применения пластика в смеси образуется коагуляционно-конденсационная структура, при этом материал характеризуется высокой прочностью и морозостойкостью. Данное исследование обладает научной новизной, так как вопросы адгезии полиэтилена с различными заполнителями мало изучены. За основу смеси были взяты вторично-переработанные полимеры (дробленый полиэтилен, фракция 1,5–2,5 мм) в качестве структурообразующего компонента. Также существовала необходимость добавления материала-заполнителя, его роль сыграла зола, оставшаяся после сжигания осадка сточных вод предприятия «Водоканал». По результатам испытаний был получен материал с показателями прочности при сжатии 170,63–552,08 МПа, модулем упругости от 322,0 до 960,0 МПа, водопоглощением в пределах 1 %, что дает возможность использовать его в лесном дорожном строительстве, в том числе в качестве укрепляющего слоя дорожной одежды лесных дорог на слабых грунтах. Применение полученного материала в лесном дорожном строительстве позволит расширить лесную дорожную инфраструктуру за счет снижения стоимости. Наши исследования показывают, что высокие физико-механические показатели увеличат срок службы лесных дорог, а, следовательно, и срок между капитальными ремонтами – данные аспекты положительно повлияют на рентабельность строительства лесных дорог.

Для цитирования: Минаев А.Н., Зубова О.В., Кулик Д.М., Силецкий В.В., Луговой В.И. Применение золополимерных смесей в строительстве лесовозных дорог // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 3. С. 106–116. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-106-116

Ключевые слова: бытовой полиэтилен высокого давления, зола от сжигания осадка сточных вод, строительство лесных дорог, дорожная конструкция, дорожно-строительный материал.

Введение

Сегодня в России существует проблема доступа к отдаленным лесным ресурсам. Рентабельность лесозаготовки снижается за счет повышения стоимости вывозки сырья вследствие изначально высокой цены 1 пог. м лесной дороги (особенно, если учитывать сложности в виде слабых грунтов). Уменьшение стоимости строительства лесной дороги возможно с помощью замены дорогостоящих компонентов дорожной одежды на инновационные, более дешевые.

Целью научного исследования является получение прочного материала для укрепления лесных автомобильных дорог на слабых грунтах.

На конец 2018 г. 30 % дорог на территории России находятся за чертой удовлетворительного состояния. Данный фактор ухудшает возможность их быстрой прокладки и ремонта.

Существует технология использования переработанных полимерных отходов в качестве добавки-заполнителя в битум при укладке дорожной одежды, разработанная индийской компанией «Plastic Waste Management Ltd.». Смесь пластика, подвергнутого переработке, заменяет 8 % от массовой доли битума и в данном случае является устойчивой за счет добавления стабилизаторов, а получаемое покрытие, имея физико-механические характеристики, не уступающие асфальтобетону, позволяет использовать его в качестве компонента дорожной одежды.

Подобные разработки ведутся и в нашей стране. Компания «Рускомполит» производит плиты из композитных материалов для военно-промышленного комплекса. Данные плиты отличаются высокими прочностными показателями (предельная нагрузка не менее 15 МПа), низкой массой (1 плита весит 80 кг) и хорошими экономическими показателями, поскольку изготавливаются из пластиковых отходов.

Изучение подобных технологий осуществляется и в других странах и компаниях. Повсеместная проблема постепенного истощения ресурсов полезных ископаемых приводит к медленному, но верному росту стоимости строительных материалов. Этот факт на фоне увеличивающегося объема полимерных отходов позволяет утверждать, что подобные технологии – решение обоих аспектов проблемы, являющееся экономически выгодным. На данный момент инициативной группой кафедры промышленного транспорта СПбГЛТУ ведется разработка смеси с использованием вторичных полимеров и отходов производств.

Стоит сказать, что на сегодняшний день применение строительных конструкций из полимерных материалов не регламентировано, поскольку отсутствует большая часть нормативной базы, описывающей технологию использования данных материалов. И хотя это не является препятствием для

задействования полимеров и никаким образом не может запретить их применение в лесном дорожном строительстве, но в будущем, учитывая тенденции к использованию вторично-переработанных отходов, наличие специальной документации (ГОСТы, СНИПы) будет необходимо.

Важность данного исследования подтверждается сравнительным анализом технико-экономических характеристик вышеизложенных решений и решения, представленного в статье. Более низкая себестоимость производства при сохранении физико-механических параметров – единственный способ полезной утилизации потенциально-опасных отходов и, как следствие, улучшения экологии региона и страны в целом. Исходя их преимуществ продукта, описанного в данной статье, можно заключить, какие недоработки присутствовали в предшествующих подобных исследованиях (использующих в своей основе полимерные материалы).

В реалиях сегодняшнего дня в лесозаготовительной отрасли остро стоит проблема рентабельности получения сырья. Этот показатель напрямую зависит от расстояния вывозки продукции и, следовательно, от стоимости устройства лесной дороги, ведущей к месту лесозаготовки.

В то же время в отрасли строительства лесных дорог также существует целый комплекс проблем, коренным образом влияющий на данный вид промышленности. Высокая стоимость материалов и работ по возведению конструкций, недолговечность из-за несоблюдения технологий строительства (просадка дорожного полотна, появление колеи, разрушение конструкции) – вот далеко не все трудности, возникающие в процессе возведения лесных дорог. Вышеизложенное подчеркивает актуальность запланированного исследования, в связи с этим поставлена цель исследования – создание экономичного и прочного дорожно-строительного материала с использованием отходов промышленности. За счет низкой стоимости создаваемого материала открывается возможность расширить лесную дорожную инфраструктуру, а также увеличить объемы добываемых ресурсов.

В качестве вяжущего в смеси используется бытовой полиэтилен высокого давления, а заполнителя – зола от сжигания осадка сточных вод. За счет применения пластика в смеси образуется коагуляционно-конденсационная структура, при этом материал характеризуется высокой прочностью и морозостойкостью. Данное исследование обладает научной новизной, так как вопросы адгезии полиэтилена с различными заполнителями мало изучены. Взаимодействие золы от сжигания осадка сточных вод с различными вяжущими было изучено в работах Зубовой О.В. и др. [2–6]. Разработками в области применения различных видов золы в строительных материалах занимались Liu Hongjun и др. [16]. Использование пластика в качестве компонента асфальтобетонных смесей рассмотрено в исследованиях Дуниной О.А., Лысянникова А.В., Литвиненко Н.А., Корочкина А.В., Стаханова А.И., Строкина А.С. и др. [1, 7–12], а также в трудах зарубежных авторов, таких как E.S. Ahmadinia, S. Himişlioğlu, I.M. Ion, M. Sulyman, M.E. Tawfik, Shi Yin и др. [13–15, 17–20].

Объекты и методы исследования

На стадии разработки смеси для изготовления материала было изначально принято решение о применении отходов промышленных производств как основных компонентов состава. За основу были взяты вторично-перера-

ботанные полимеры (дробленый полиэтилен, фракция 1,5–2,5 мм) в качестве структурообразующего компонента. Также требовалось добавление материала-заполнителя, его роль сыграла зола, полученная путем сжигания осадка сточных вод ГУП «Водоканал» (Санкт-Петербург). Выбор был сделан по двум причинам. Во-первых, существует необходимость утилизации данных отходов. Утилизация путем дальнейшего использования лучше в сравнении с классическим путем (захоронение на полигонах) уничтожения отходов, потому что объем их получения растет в геометрической прогрессии. Во-вторых, использование этих компонентов является экономически наиболее выгодным, поскольку упраздняются затраты на их закупку.

За основу методики изготовления конечного материала была взята технология получения плит из смеси песка и полимерных материалов (ТУ 5716-001-10651514–2013). Суть данного метода заключается в получении однородной горячей смеси компонентов с ее последующим формованием и прессованием. Исходные компоненты измельчаются в промышленном шредере и механически перемешиваются в сухом холодном виде. Затем полученная смесь поступает в шнекосмесительный аппарат, где происходит ее дальнейшее перемешивание и одновременное нагревание при температуре от 210 до 250 °С. Данный этап необходим для возникновения адгезии в рабочей смеси. После этого рабочая смесь поступает в пресс-форму, где происходит уплотнение и формовка изделия с последующим застыванием. В ходе изготовления опытной серии образцов использовалась аналогичная схема технологических операций.

В результате была получена серия образцов из смеси зола+полиэтилен следующего состава, %: 75+25, 50+50, 70+30, 60+40. Нагревание заранее измельченной и перемешанной смеси происходило в муфельной печи при соблюдении температурного режима от 280 до 320 °С в зависимости от процентного соотношения исходных материалов. Перемешивание получаемой пасты производилось поэтапно, степень адгезии определялась визуально. Далее паста помещалась в пресс-форму диаметром 5 см и ставилась под пресс на 3 мин под давлением 25 МПа. Затем проведены лабораторные испытания прочности и водостойкости получаемого материала.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты испытания образцов из смеси золы и полиэтилена представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

Результаты лабораторных исследований образцов из смеси зола + полиэтилен в поисковом эксперименте

Номер образца	Соотношение зола/пластик, %	Масса образца m , г	Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа	Модуль упругости $E_{упр}$, МПа	Водопоглощение $W_{вп}$, %
1	80/20	137,58	170,63	324,7	0,89
2	60/40	142,60	323,59	409,1	0,49
3	50/50	143,17	364,30	560,8	0,32
4	40/60	142,16	364,25	623,3	0,25
5	20/80	132,47	370,00	789,5	0,18

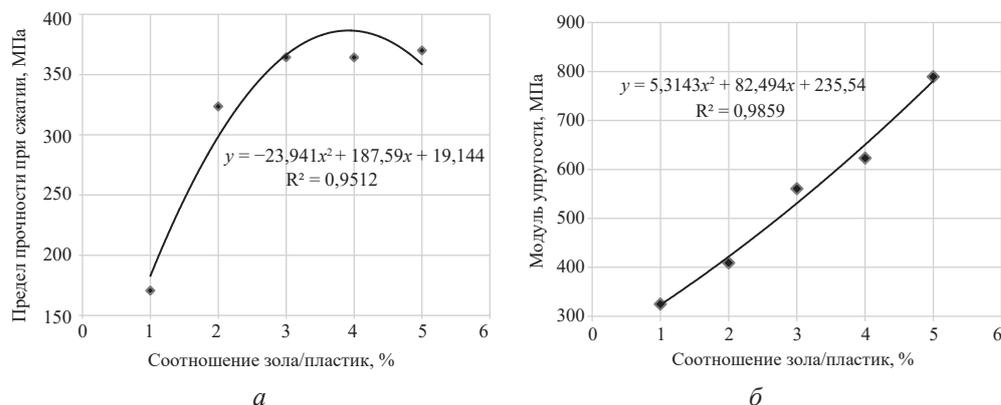


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии (*a*) и модуля упругости (*б*) водонасыщенных образцов из смеси золы и вяжущего от содержания бытового полиэтилена в поисковом эксперименте

Fig. 1. Dependence of the compression resistance (*a*) and the elastic modulus (*б*) of water-saturated samples made of an ash-binder mixture on the household polyethylene content in the pilot experiment

На рис. 1, *a* наблюдается рост предела прочности при сжатии от 170,63 до 370,00 МПа с увеличением процентного содержания полиэтилена в образцах. Пластик, термически обработанный в смеси с золой, образует структурную форму материала, повышая прочность изделий и сохраняя целостность образцов, а зола служит массовым наполнителем, обеспечивая объемную заполняемость материала.

Снижение модуля упругости от 324,7 до 789,5 МПа с уменьшением компонентного содержания золы в образцах (рис. 1, *б*) объясняется тем, что зола, имея мелкозернистую структуру, способствует распределению нагрузки по всей площади образца и проявляет тенденции к восстановлению изначальной формы после снятия нагрузки.

После поискового эксперимента проведены дальнейшие исследования по уточнению оптимальных соотношений компонентов, а также по оптимизации состава смеси. Были изучены смеси зола/полиэтилен следующего состава (при меньшей, чем в поисковом эксперименте, массе образца): 40/60, 50/50, 60/40, 70/30. Также было принято решение об изготовлении образцов с добавлением 10 % битума и проведении с ними дополнительной серии экспериментов. Данное решение имело цель – исследовать технологию изготовления образцов. Для этих серий были выбраны соотношения, предположительно наиболее перспективные для исследований, исходя из физических свойств, проявляемых материалами – компонентами смеси. При определении водопоглощения визуально отмечено отделение золы от образцов (только в тех случаях, где содержание золы превышало 60 %), что свидетельствовало о некотором проценте ее вымываемости из готового материала. Целостность и монолитность (с отсутствием вымываемости золы) получаемых образцов достигались при минимальном содержании полиэтилена: 40 % для серии без добавления битума и 30 % для серии с битумом. Температурный режим печи, время нахождения под прессом и нагрузка при прессовании образцов остались неизменными по сравнению с первой серией опытов. Пресс-формы для изготовления образцов были замене-

ны на пресс-формы с меньшим диаметром – 3,5 см. В то же время количество полиэтилена в образцах, превышающее 60 %, влияло на модуль упругости, снижая его за счет излишней жесткости преобладающего в образцах пластика.

В результате были получены и испытаны (определение аналогичных по сравнению с первым опытом физико-механических показателей) вторая и третья серии образцов. Данные результатов лабораторных испытаний представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2

**Результаты лабораторных исследований образцов из смеси зола+полиэтилен;
зола+полиэтилен+битум**

Номер образца	Соотношение зола/пластик; зола/пластик/битум, %	Масса образца m , г	Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа	Модуль упругости $E_{упр}$, МПа	Водопоглощение $W_{вп}$, %
1	40/60	56,53	466,29	106,3	0,07
2	50/50	59,80	445,57	192,0	0,10
3	60/40	56,86	484,67	213,3	0,18
4	70/30	55,61	552,08	221,5	0,35
5	30/60/10	58,23	452,90	192,0	0,070
6	45/45/10	55,78	424,60	142,2	0,072
7	60/30/10	59,28	405,67	295,4	0,085
8	70/20/10	57,29	391,50	960,0	0,102

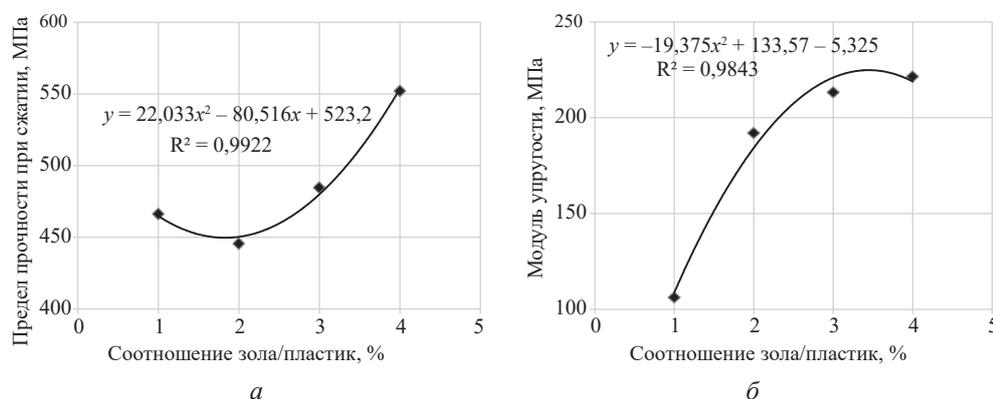


Рис. 2. Зависимость предела прочности при сжатии (а) и модуля упругости (б) водонасыщенных образцов из смеси золы и вяжущего от содержания бытового полиэтилена

Fig. 2. Dependence of the compression resistance (а) and the elastic modulus (б) of water-saturated samples made of an ash-binder mixture on the household polyethylene content

На рис. 2, а наблюдается уменьшение предела прочности при сжатии от 552,08 до 445,29 МПа в зависимости от повышения процентного содержания золы, выступающей в роли заполнителя. Снижение количества полиэтилена, выполняющего структурообразующую функцию для испытываемого материала, связывающего изначально сыпучую по своей структуре золу и формирующего силовой каркас в структуре получаемого материала, также влияет на предел прочности.

Значения модуля упругости находятся в пределах от 106,3 до 221,5 МПа и возрастают при увеличении процентного содержания золы (рис. 2, б). Зола играет роль заполнителя и препятствует необратимым разрушениям материала

при воздействии механических нагрузок. Однако в данном случае также важны степень адгезии материала и его однородность при формировании образцов под нагрузкой в прессе, поскольку для получения упругого материала необходимо, чтобы амортизирующие свойства золы поддерживались жестким молекулярно-структурным каркасом из полиэтилена. Увеличение показателей упругости в сравнении с первой серией образцов (см. рис. 1, б) обусловлено уменьшением массы образцов и лучшей адгезией при изготовлении.

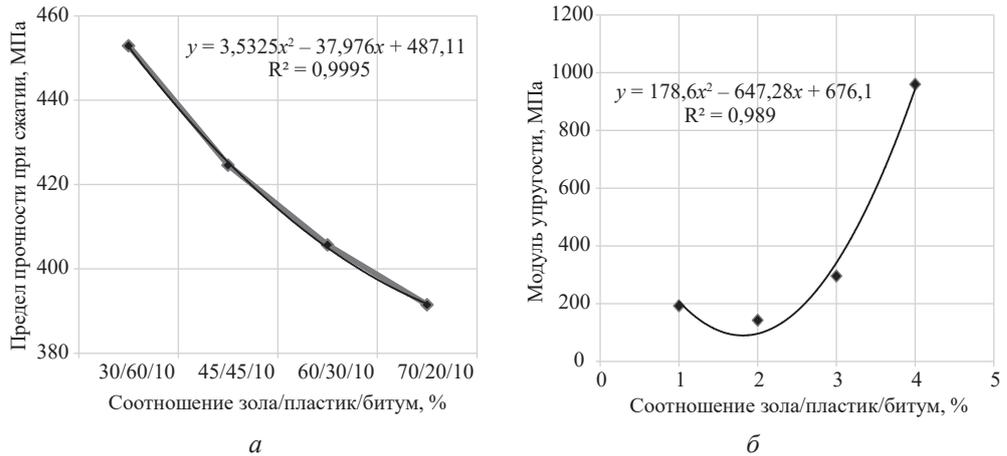


Рис. 3. Зависимость предела прочности при сжатии (а) и модуля упругости (б) водонасыщенных образцов из смеси золы и вяжущих от содержания бытового полиэтилена и битума

Fig. 3. Dependence of the compression resistance (а) and the elastic modulus (б) of water-saturated samples made of an ash-binder mixture on the household polyethylene and bitumen content

Предел прочности при сжатии образцов уменьшается от 452,90 до 391,50 МПа и напрямую зависит от снижения содержания полиэтилена в образцах (рис. 3, а). Также на уменьшение прочности по сравнению с предыдущей серией образцов влияет наличие битума, создающего коагуляционную структуру, поскольку добавление битума в образцы было обеспечено за счет сокращения количества пластика. Массовая доля золы оставлена без изменений.

На рис. 3, б наблюдается увеличение модуля упругости от 142,2 до 960,0 МПа в зависимости от повышения процентного содержания золы в образцах. Зола, выступая в роли заполнителя, заключенная в структурном каркасе конструкции материала и связанная с пластиком, проявляет способность к равномерному распределению нагрузки на материал, обеспечивая рост упругости. Кроме того, присутствующий в материале образцов битум благодаря своей структуре способствует увеличению показателя модуля упругости по сравнению с образцами предыдущих серий.

Выводы

1. Зола, полученная от сжигания твердого осадка сточных вод ГУП «Водоканал», и полиэтилен высокого давления могут сочетаться как компоненты дорожно-строительного материала.

2. Технология получения рабочей смеси (пасты) основывается на последовательном нагревании и перемешивании компонентов до состояния однородной массы с последующим прессованием и остыванием. Время приготовления смеси в муфельной печи составляет 8–10 мин в зависимости от содержания полиэтилена. Затвердевшая смесь образует монолитную конструкцию. Форма и размеры получаемой продукции вариативны, зависят от пресс-форм, применяемых при прессовании, а также от прилагаемой нагрузки.

3. По результатам испытаний был получен материал с показателями прочности при сжатии 170,63–552,08 МПа, что позволяет использовать его в лесном дорожном строительстве, в том числе в качестве укрепляющего слоя дорожной одежды лесных дорог на слабых грунтах.

4. Экономическая целесообразность применения получаемого материала обеспечивается низкой себестоимостью компонентов, являющихся отходами производств, а также за счет многократности использования изделий.

5. Применение золы от сжигания осадка сточных вод и вторичного полиэтилена высокого давления является целесообразным с экологической точки зрения, поскольку утилизация данных отходов в лесном дорожном строительстве – важный аспект улучшения экологической ситуации в Ленинградской области.

6. Полученный в ходе научной работы материал рекомендуется использовать как укрепляющий слой в конструкции лесной автомобильной дороги. Слой укрепления должен располагаться поверх земляного полотна в качестве дорожной одежды. Укрепляющий слой представляет собой плиты, состоящие из смеси золы от сжигания осадков сточных вод и вторично-переработанного дробленого полиэтилена высокого давления.

7. По окончании эксплуатации дороги плиты возможно демонтировать с целью их повторного использования. При разрушении материала вследствие длительных интенсивных механических нагрузок обломки деформированных плит могут быть переплавлены с последующим формированием новых изделий, готовых к эксплуатации. Таким образом, число использований данного материала неограниченно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Дунина О.А., Сайфуллина А.Р., Сахибгареева Л.И. Переработка полиэтилена в пластик и последующее его использование в строительстве дорог // Студент и аграрная наука: материалы X Всерос. студен. науч. конф. Уфа, 22 марта – 23 марта 2016 г. Уфа: Башкир. ГАУ, 2016. С. 189–191. [Dunina O.A., Sayfullina A.R., Sakhibgareyeva L.I. Processing of Polyethylene into Plastic and Its Subsequent Use in Road Construction. *Student and Agricultural Science: Proceedings of the 10th All-Russian Student and Science Conference, Ufa, March 22–23, 2016*. Ufa, BSAU Publ., 2016, pp. 189–191].

2. Зубова О.В. Исследование влияния гранулометрического состава грунтов на прочность зологрунтовой смеси, обработанной цементом // Тр. БГТУ. № 2. Лесн. и деревообраб. пром-сть. 2012. № 2 (149). С. 118–120. [Zubova O.V. The Study of the Effect of Soil Grading on the Strength of a Cement-Treated Mixture of Ash with Soil. *Trudy BGTU. № 2. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Proceedings of BSTU. Iss. 2. Forest and Woodworking Industry], 2012, no. 2(149), pp. 118–121].

3. Зубова О.В. Использование в лесном дорожном строительстве зологрунтовых смесей, укрепленных вяжущими материалами: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2015. 179 с.

[Zubova O.V. *The Use of Ash-Soil Mixtures Strengthened by Cementing Materials in Forest Road Construction*: Cand. Eng. Sci. Diss. Saint Petersburg, 2015. 179 p.].

4. Зубова О.В., Бессараб Г.А., Салминен Э.О., Суворова Н.А., Артемьев В.В. Способ устройства конструктивных слоев дорожных одежд на основе золопесчаной смеси вяжущих // Новые строительные материалы: материалы междунар. науч. конф. Труды БГТУ. Минск: БГТУ, 2013. № 1. С. 23–27. [Zubova O.V., Bessarab G.A., Salminen E.O., Suvorova N.A., Artem'yev V.V. The Design Method of Pavement Layers Based on Ash-Soil Mixture of Binders. *New Building Materials: Proceedings of the International Science Conference. Proceedings of BSTU*. Minsk, BSTU Publ., 2013, no. 1, pp. 23–27].

5. Зубова О.В., Бессараб Г.А., Суворова Н.А., Салминен Э.О. Способ устройства конструктивного слоя дорожной одежды на основе золы от сжигания осадков сточных вод. Патент на изобретение № 2471913 Российская Федерация, МПК E01C 3/04, C04B 28/00, C04B 26/26; № 2011110986/03; заявл. 20.03.11; опубл. 10.01.13. [Zubova O.V., Bessarab G.A., Suvorova N.A., Salminen E.O. *Method of Making Pavement Structural Layer Based on Ashes of Effluents Sediments Combustion*. Patent RF no. RU 2471913 C2, 2013].

6. Зубова О.В., Никитина И.С., Анисимова О.И., Новикова А.А. Дорожно-строительный материал на основе зологрунтовой смеси, укрепленной цементом // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2012. Вып. 201. С. 193–202. [Zubova O.V., Nikitina I.S., Anisimova O.I., Novikova A.A. Road-Building Material on the Basis of a Cinder-and-Dirt Mix Reinforced by Cement. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehnicheskoj akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2012, iss. 201, pp. 193–202].

7. Корочкин А.В. Устройство дорожной одежды. Патент на полезную модель № 88030 Российская Федерация, МПК E01C 5/00; № 2009127004/22; заявл. 15.07.09; опубл. 27.10.09 [Korochkin A.V. *Paving*. Patent RF no. RU 88030 U1, 2009].

8. Литвиненко Н.А., Козырева Е.А. Современные технологии строительства автомобильных дорог // Науч. мысль. 2017. № 2. С. 117–120. [Litvinenko N.A., Kozyreva E.A. Modern Technologies of Road Construction. *Nauchnaya mysl'* [Scientific Thought], 2017, no. 2, pp. 117–120].

9. Лысянников А.В., Третьякова Е.А., Лысянникова Н.Н. Переработанный пластик в дорожном строительстве // Изв. ТулГУ. Техн. науки. 2017. Вып. 7. С. 105–115. [Lysyannikov A.V., Tretiakova E.A., Lysyannikova N.N. Recycled Plastic in Road Construction. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki* [News of the Tula state university. Technical sciences], 2017, iss. 7, pp. 105–115].

10. Лысянников А.В., Третьякова Е.А., Лысянникова Н.Н. Строительство дорожных покрытий из вторичного сырья // Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф., Новокузнецк, 07–08 декабря 2017 г. / отв. ред. Э.И. Забнева; ред. кол. Л.С. Кочкина [и др.]. Ульяновск: Зебра, 2017. С. 78–81. [Lysyannikov A.V., Tretiakova E.A., Lysyannikova N.N. Construction of Road Surfaces from Secondary Raw Materials. *Issues of Modern Science: Problems, Trends and Prospects. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Novokuznetsk, December 7–8, 2017*. Ul'yanovsk, Zebra Publ., 2017, pp. 78–81].

11. Стаханов А.И. Возможности использования полимерных отходов при производстве дорожного покрытия // Актуальные проблемы науки в студенческих исследованиях: сб. материалов IX Всерос. студен. науч.-практ. конф. / Альметьев. фил. Казан. нац. исслед. техн. ун-та им. А.Н. Туполева–КАИ. М., 2019. С. 40–42. [Stakhanov A.I. Potential for Use of Polymer Wastes in the Road Surface Production. *Current Problems of Science in Student Research: Collection of Materials of the 9th All-Russian Student Scientific and Practical Conference*. KNRTU-KAI's Branch in Almet'yevsk. Moscow, 2019, pp. 40–42].

12. Строкин А.С. Повышение сдвигоустойчивости и срока службы дорожных покрытий путем применения асфальтобетона каркасной структуры на модифицированном битуме: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2009. 199 с. [Strokin A.S. *Improving the*

Shear Resistance and Service Life of Pavements by Applying Asphalt Concrete of Frame Structure on Modified Bitumen: Cand. Eng. Sci. Diss. Voronezh, 2009. 199 p.].

13. Ahmadinia Es., Zargar M., Karim M.R., Abdelaziz M., Ahmadinia Eb. Performance Evaluation of Utilization of Waste Polyethylene Terephthalate (PET) in Stone Mastic Asphalt. *Construction and Building Materials*, 2012, vol. 36, pp. 984–989. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2012.06.015](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.015)

14. Deng Z., Shi F., Yin S., Tuladhar R. Characterisation of Macro Polyolefin Fibre Reinforcement in Concrete through Round Determinate Panel Test. *Construction and Building Materials*, 2016, vol. 121, pp. 229–235. DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2016.05.134](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.134)

15. Hınıslioğlu S., Açar E. Use of Waste High Density Polyethylene as Bitumen Modifier in Asphalt Concrete Mix. *Materials Letters*, 2004, vol. 58, iss. 3-4, pp. 267–271. DOI: [10.1016/S0167-577X\(03\)00458-0](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(03)00458-0)

16. Hongjun L., Feng Y., Donghai Y. The Strength Varieties of the Subsurface Made of Lime and Fine Coal Ash of the Highway from Changba to Baicheng. *Journal of Northeast Forestry University*, 2000, iss. 1, pp. 84–85.

17. Ion I.M., Aguiar J.B., Angelescu N., Stanciu D. Properties of Polymer Modified Concrete in Fresh and Hardened State. *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 687, pp. 204–212. DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMR.687.204](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.687.204)

18. Sulyman M., Haponiuk J., Formela K. Utilization of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) in Engineering Materials: A Review. *International Journal of Environmental Science and Development*, 2016, vol. 7, no. 2, pp. 100–108. DOI: [10.7763/IJESD.2016.V7.749](https://doi.org/10.7763/IJESD.2016.V7.749)

19. Tawfik M.E., Eskander S.B. Polymer Concrete from Marble Wastes and Recycled Poly(Ethylene Terephthalate). *Journal of Elastomers and Plastics*, 2006, vol. 38, iss. 1, pp. 65–79. DOI: [10.1177/0095244306055569](https://doi.org/10.1177/0095244306055569)

20. Yin S. *Development of Recycled Polypropylene Plastic Fibres to Reinforce Concrete*. Doctoral Thesis. Townsville, QLD, Australia, James Cook University, 2017. 137 p. DOI: [10.1007/978-981-10-3719-1](https://doi.org/10.1007/978-981-10-3719-1)

APPLICATION OF ASH-POLYMER MIXTURES IN THE CONSTRUCTION OF FOREST ROADS

A.N. Minaev, Doctor of Engineering, Prof.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1684-7674>

O.V. Zubova, Candidate of Engineering; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6263-4688>

D.M. Kulik, External PhD Student; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4163-3675>

V.V. Siletskiy, External PhD Student; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3357-533X>

V.I. Lugovov, External PhD Student; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1631-5571>

Saint-Petersburg State Forest Technical University, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: elenafita@yandex.ru, ok_z19@mail.ru, danil-kulik@mail.ru, lol.spairo@yandex.ru, valentinlugovov@gmail.com

The construction of forest roads is one of the priority issues of the forest industry. The underdeveloped forest road network does not allow the use of forest resources, which are situated too far from the civil roads because of lower profitability. Expanding the forest road infrastructure will allow to increase mobility as well as profitability of resource extraction. Forest roads are expensive. This is due to the high cost of road construction materials and long distance of their delivery. One of the latest ways of cost reduction of road construction materials is the use of industrial wastes. A study was carried out in order to obtain a pavement layer with high physical and mechanical properties and a relatively low cost from industrial wastes for the problem solving. Household high-pressure polyethylene is used as a binder in the mixture, and ash from incineration of sewage sludge is used as filler. A coagulation-

condensation structure is formed due to the use of plastic in the mixture; herewith the material is characterized by high strength and frost resistance. The study has a scientific novelty as the issues of polyethylene adhesion with various fillers are poorly known. Recycled polymers (crushed polyethylene, fraction 1.5–2.5 mm) were used as a structure-forming component. Ash from the sewage sludge incineration obtained at the SUE «Vodokanal of St. Petersburg» was used as the filler material. According to the test results, a material with the following parameters was obtained: the compression resistance of 170.63–552.08 MPa, the elastic modulus of 322–1022 MPa, water absorption within 1 %; that allows using the material in the forest road construction. This material can be used as an application for reinforcing the pavement layer in the forest road construction on weak soils. The use of the obtained material in forest road construction will expand the forest road infrastructure by cost reduction. The studies of the Department of Industrial Transport of the Saint-Petersburg State Forest Technical University show that the high physical and mechanical parameters will increase the service life of forest roads and hence the time between overhauls. These aspects have a positive effect on the profitability of the forest road construction.

For citation: Minaev A.N., Zubova O.V., Kulik D.M., Siletskiy V.V., Lugovov V.I. Application of Ash-Polymer Mixtures in the Construction of Forest Roads. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 3, pp. 106–116. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-3-106-116

Keywords: household high-pressure polyethylene, ash from incineration of sewage sludge, construction of forest roads, road structure, road construction material.

Поступила 27.06.19 / Received on June 27, 2019
