

Леса России и хозяйство в них. 2023. № 1. С. 88–95
Forests of Russia and economy in them. 2023. № 1. P. 88–95

Научная статья

УДК 625.852

DOI 10.51318/FRET.2023.18.18.010

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ГРУНТОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Игорь Николаевич Кручинин¹, Анастасия Андреевна Колобова²,
Владимир Иванович Клевекко³, Андрей Анатольевич Лабыкин⁴

^{1,4} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

^{2,3} Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

¹ kinaa.k@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7598-9672>

² minzurenko.a@yandex.ru

³ vlivkl@mail.ru

⁴ gabasas@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2715-1397>

Аннотация. Рассмотрены основные проблемы по совершенствованию лесных автомобильных дорог путем использования дорожно-строительных материалов из отходов нефтяной промышленности. Лесные дороги располагаются в сложных природно-климатических условиях, что накладывает принципиальные ограничения на использование в них дорожно-строительных материалов, способных обеспечивать требуемое их транспортно-эксплуатационное состояние. Традиционные дорожно-строительные материалы отличаются как стабильностью своих физико-механических характеристик, так и стоимостью и сложностью доставки в районы строительства. Все это вызывает значительные технологические осложнения и существенное удорожания строительства лесных дорог. В то же время имеется значительное количество отходов нефтяной промышленности, практически не используемых в строительной практике. Речь идет о загрязненных от разлива нефти грунтах. Несмотря на ряд проведенных исследований, задача использования подобных нефтезагрязненных грунтов при освоении лесосырьевых баз остается нерешенной. Таким образом, решить проблему позволит использование нефтезагрязненных грунтов при строительстве лесных дорог с заданными транспортно-эксплуатационными характеристиками с учетом природно-климатических условий их эксплуатации, а также создание особых парогидроизолирующих прослоек, что и определило цель настоящей работы. Целью исследований было обоснование возможности использования нефтезагрязненных грунтов и разработка требований к ним при строительстве парогидроизолирующих прослоек на лесных автомобильных дорогах. Результатами работы стало создание рецептуры добавок к нефтезагрязненным грунтам из скелетных и минеральных добавок. Было выяснено, что количество скелетной добавки должно находиться в диапазоне от 35 до 55%, а минеральной добавки из портландцемента марки М400-ДО – в количестве от 8 до 10%. Учитывая достаточную адекватность опытно-экспериментальных исследований, результаты подборов добавок могут быть рекомендованы для использования их в практике строительства парогидроизолирующих прослоек на лесных автомобильных дорогах.

Ключевые слова: лес, лесные дороги, нефтезагрязненные грунты

Scientific article

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING OIL-CONTAMINATED SOIL FOR THE CONSTRUCTION OF FOREST ROADS

Igor N. Kruchinin¹, Anastasia A. Kolobova², Vladimir I. Kleveko³, Andrey A. Labykin⁴

^{1,4} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

^{2,3} Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

¹ kinaa.k@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7598-9672>

² minzurenko.a@yandex.ru

³ vlivkl@mail.ru

⁴ gabasas@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7598-9672>

Abstract. The main problems of improving forest roads through the use of road building materials from oil industry waste are considered. Forest roads are located in difficult natural and climatic conditions, which imposes fundamental restrictions on the use of materials that can ensure their required transport and operational condition. Traditional road construction materials are distinguished both by the stability of their physical and mechanical characteristics, and by the cost and complexity of delivery. All this causes significant technological complications and a significant increase in the cost of building forest roads. At the same time, there is a significant amount of waste from the oil industry, which is practically not used in construction practice. We are talking about oil-contaminated soils. Despite a number of studies, the problem of using such oil-contaminated soils in the development of forest raw material bases in the Perm Territory remains unresolved. Thus, the use of oil-contaminated soils on forest roads with specified transport and operational characteristics, taking into account the natural and climatic conditions of their operation, as well as the creation of special vapor barrier layers, which determined the purpose of this work, will allow solving the problem. The purpose of the research was to substantiate the possibility of using oil-contaminated soils and develop requirements for them in the construction of vapor barrier layers on forest roads. The result of the work was the creation of a formulation of additives to oil-contaminated soils from skeletal and mineral additives. It was found that the amount of the skeletal additive should be in the range from 35 to 50%, and the mineral additive from Portland cement grade M400-DO in the amount of 8 to 10%. Considering the sufficient adequacy of pilot studies, the results of the selection of additives can be recommended for use in the practice of building vapor barrier layers on forest roads.

Keywords: forest, forest roads, oil-contaminated soils

Введение

В основе функционирования лесопромышленного комплекса Российской Федерации лежит стратегия устойчивого развития основных лесных территорий. При таком подходе основная роль должна отводиться системе развития транспортных инфраструктур лесосырьевых баз. Примеры освоения инвестиционных проектов на территориях Свердловской области и Пермского края показали тесную зависимость освоения лесосырьевых баз

от уровня развития их лесотранспортных сетей. Представленные территории располагаются либо во II, либо в I дорожно-климатической зоне. Подобные природно-климатические условия накладывают существенные ограничения как на конструкции лесных дорог, так и на технологии их строительства (Кручинин и др., 2018; Сиденко и др., 1984).

Опыт освоения лесосырьевых баз Российской Федерации со сложными природно-климатическими условиями показал, что основными

критериями развития их транспортной доступности стали дорожные конструкции, способные противостоять внешним суровым зимним условиям. Анализ использования дорожно-строительных материалов в лесных автомобильных дорогах предполагает, что наибольшее предпочтение следует отдавать материалам с повышенными парогидроизолирующими свойствами (Ильин, Кувалдин, 1982; Сиденко и др., 1984; Thompson, 2009).

Если на автомобильных дорогах общего пользования для строительства парогидроизолирующих прослоек в дорожных конструкциях используются рулонные материалы, обладающие различными гидрофобизирующими свойствами, как то: толь, рубероид, полиэтилен (Савельев, 2006), либо дорожно-строительные материалы, обработанные органическими вяжущими, то для лесных дорог их использование крайне ограничено (Кручинин и др., 2018; Тулаев, 1980).

Следует также учитывать, что их использование неэффективно из-за малого срока службы материала и возможной деформации их во время эксплуатации (Сиденко и др., 1984; Joao et al., 2015). А использование дорожно-строительных материалов, обработанных органическими вяжущими, требует значительных затрат. Поэтому альтернативной заменой при строительстве лесных автомобильных дорог могут быть отходы промышленности (в том числе нефтяной), обладающие гидрофобизирующими свойствами (Брехман, Ильина, 2005; Трифионов, 2005; Bindu et al., 2010).

Наиболее распространенными на территории лесных районов РФ (Пермский край, ХМАО, север Свердловской области) являются отходы нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, как то: нефтезагрязненные жидкости и нефтезагрязненные грунты (Юшков, Минзуренко, 2010). При этом грунты, обработанные нефтеотходами, значительно улучшают не только общие физико-механические свойства, а также существенно уменьшают их водопроницаемость и паропроницаемость (Тулаев, 1980; Юшков, Минзуренко, 2010; Hossain, 2011; Redelius, 2006).

В этой связи строительство лесных дорог с использованием парогидроизолирующих прослоек

из нефтеотходов является актуальным направлением исследований, что и определило цель настоящей работы.

Цель, задача и методика исследования

Цель работы – исследование возможности использования нефтезагрязненных грунтов для строительства лесных автомобильных дорог.

В работе рассматривалась следующая задача: возможность использования нефтезагрязненных грунтов для строительства лесных автомобильных дорог.

При устройстве парогидроизолирующих прослоек на лесных автомобильных дорогах из нефтезагрязненных грунтов следует учитывать основные требования: полученный материал должен обладать гидрофобными свойствами; материал должен быть долговечен и обладать стабильными физико-механическими характеристиками, не изменяющимися во времени; прочность материала должна обеспечить его сохранность как в процессе производства работ, так и в процессе эксплуатации автомобильной дороги; желательно иметь наименьшую стоимость; должна соблюдаться экологическая и пожарная безопасность; иметь минимальные трудозатраты при производстве работ.

В наших исследованиях были изучены нефтезагрязненные грунты с полигона хранения отходов нефтяной промышленности «Кокуй» (Юшков, Минзуренко, 2010).

Предлагаемый нефтезагрязненный грунт представляет собой супесь пылеватую, загрязненную нефтью после аварийного разлива, находящуюся в переувлажненном состоянии: влажность – от 0 до 5%; число пластичности – от 9,0 до 11,06%; содержание нефтяных компонентов изменяется от 12,0 до 13,0%; количество песчаных частиц – от 25,0 до 39,0%; глинистых частиц – от 60,0 до 75,0%. Гранулометрический состав исследуемого материала приведен в табл. 1.

Для стабилизации нефтезагрязненных грунтов за счет введения минеральных вяжущих применялся портландцемент марки ПЦ 400-ДО. Составы и дозировки портландцемента для стабилизации нефтезагрязненных грунтов приведены в табл. 2.

Таблица 1

Table 1

Гранулометрический состав нефтезагрязненного грунта
Grain size distribution of oily soil

Нефтезагрязненный грунт Oily ground	Состав, % Composition, %		
	Песчаные частицы Sand particles	Глинистые частицы Clay particles	Пылеватые частицы Dust particles
Супесь пылеватая Soak in dust	38	54	8
Суглинок легкий пылеватый № 2 Clay loam light dust № 2	36	48	16
Суглинок тяжелый № 3 Clay loam № 3	42	39	19

Таблица 2

Table 2

Составы нефтезагрязненных грунтов с добавкой портландцемента
Oil-contaminated soil compositions with Portland cement

№ состава № composition	Состав, % Composition, %	
	Нефтезагрязненный грунт Oily soil	Портландцемент ПЦ 400-Д0 Portland cement PC 400D0
НЦ.1 NC.1	92	8
НЦ.2 NC.2	90	10
НЦ.3 NC.3	88	12
НЦ.4 NC.4	86	14

Проведенный комплекс лабораторных испытаний по определению гранулометрического состава нефтезагрязненных грунтов и способов введения в них гранулометрических добавок позволил определить основные соотношения в предлагаемой комплексной добавке, состоящей как из скелетной части, так и из добавок минеральных вяжущих веществ.

Материалы и обсуждения

Было выявлено, что основные требования к нефтезагрязненным грунтам, используемым при строительстве лесных автомобильных дорог, необходимо оценивать в зависимости от вида используемых материалов (Юшков, Минзуренко, 2010).

При разработке основных требований к возможности использования нефтезагрязненных грунтов для строительства лесных автомобильных дорог, а также оценке эффективности их применения был проведен комплекс опытно-экспериментальных исследований по приготовлению различных составов лабораторных образцов. В табл. 3 представлены результаты введения портландцемента ПЦ 400-Д0 в нефтезагрязненный грунт при различной дозировке.

Введение скелетных добавок позволило не только провести коррекцию гранулометрического состава нефтезагрязненных грунтов и перераспределить свободную пленку нефти на поверхности минеральных частиц грунта, но и обеспечить требуемые механические характеристики материала.

Таблица 3

Table 3

Физико-механические показатели конструктивного слоя дорожной одежды лесной дороги с добавкой
портландцемента ПЦ 400-ДО и нефтезагрязненного грунта

Physical and mechanical indicators of oil-contaminated soil with the addition of Portland cement PC 400-DO

№ состава № composition	Предел прочности на сжатие водонасыщенных образцов, МПа, в возрасте, сут Compression strength of water-saturated samples, МPa, aged, days		Предел прочности на растяжение при изгибе водонасыщенных образцов, МПа, в возрасте, сут Tensile strength for bending of water-saturated samples, МPa, aged, days		Коэффициент морозостойкости Frost resistance coefficient
	7	28	7	28	
НЦ.1 NC.1	1,38	1,60	1,16	1,24	0,32
НЦ.2 NC.2	1,41	1,84	1,28	1,46	0,47
НЦ.3 NC.3	1,78	2,07	1,42	1,76	0,61
НЦ.4 NC.3	2,29	2,95	1,56	1,92	0,76

В то же время введение минеральных вяжущих позволило изменить его основные физико-механические свойства. Анализ показал, что введение добавок позволяет использовать полученный материал не только в земляном полотне, но и в отдельных конструктивных слоях дорожных одежд лесных дорог.

Оценка общей экологической безопасности использования нефтезагрязненных грунтов с вяжущими добавками для строительства лесных дорог рассматривалась на примере изучения возможных путей вымывания нефтепродуктов из конструктивных слоев дорожных одежд.

Нами было определено, что основными путями вымывания нефтепродуктов из конструктивных слоев дорожных одежд лесных дорог служит фильтрация капельно-поровой жидкости либо через основной слой дорожной одежды, либо без участия верхнего слоя земляного полотна. Основным критерием попадания нефтепродуктов на лесные территории стала оценка возможности попадания водной вытяжки нефтепродуктов из конструктивных слоев дорожных одежд или земляного полотна.

Результаты испытаний показали, что благодаря плотной структуре, а также за счет гидрофобизирующего действия нефтяной пленки полученные образцы из уплотненного стабилизированного

нефтезагрязненного грунта не подвержены фильтрации.

При оценке степени вымывания нефтепродуктов из предлагаемых материалов была произведена водная вытяжка измельченной массы нефтезагрязненного грунта в дистиллированной воде по методике МУК 4.1.1013–01 (2001).

На этом этапе рассматривались следующие возможные пути вымывания нефтепродуктов: фильтрация капельной жидкости через конструктивный слой дорожной одежды или земляного полотна, построенного с использованием нефтезагрязненного грунта; водная вытяжка нефтепродуктов из конструктивных слоев дорожной одежды или земляного полотна в процессе длительного их обводнения.

Для определения наличия вымывания нефтепродуктов по первому пути были проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента фильтрации воды через конструктивные слои образца.

Для определения наличия вымывания нефтепродуктов по второму пути была произведена водная вытяжка измельченной массы нефтезагрязненного грунта в дистиллированной воде. Составы материалов и полученные данные представлены в табл. 4.

Таблица 4

Table 4

Составы остатков водной вытяжки нефтепродуктов
из стабилизированного грунта с введением 50% скелетной добавки
Compositions of residues of aqueous extract of petroleum products from
stabilized soil with the introduction of 50% skeletal additive

Номера серий образцов Sample Batch Numbers	Общее количество остатка, г/л Total balance, g/l	В том числе, г/л Including, g/l	
		твердых осадков hard precipitation	нефтепродуктов oil products
НЦ.1	18,10	17,92	0,18
НЦ.2	11,20	11,12	0,08
НЦ.3	14,50	14,41	0,09
НЦ.4	9,30	9,30	–

Выводы

Изучены закономерности влияния скелетных и минеральных добавок на нефтезагрязненные грунты и на их физико-механические свойства как дорожно-строительного материала для строительства лесных дорог.

Было выяснено, что конструктивные слои из стабилизированных нефтегрунтов необходимо располагать в рабочем слое земляного полотна на расстоянии не менее 0,6 м от низа дорожной одежды.

Наименьшие показатели фильтрации конструктивных слоев дорожных одежд лесных дорог были получены при применении песчаного

нефтезагрязненного грунта с 35%-ной скелетной добавкой вне зависимости от типа применяемого минерального вяжущего, а также при применении глинистого нефтезагрязненного грунта, стабилизированного 55%-ной скелетной добавкой.

Отделение нефти и вымывание не наблюдалось при укреплении нефтезагрязненных грунтов введением портландцемента марки М400-ДО в количестве свыше 10%.

Таким образом, использование нефтезагрязненных грунтов для строительства лесных дорог может быть рекомендовано при введении в них комплексной добавки из минерального вяжущего и скелетной гранулометрической добавки.

Список источников

- Брехман А. И., Ильина О. Н. Новый дорожно-строительный материал с применением нефтяного шлама // Известия КГАСУ. 2005. № 1 (3). С. 78–80.
- Ильин Б. А., Кувалдин Б. И. Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог. Москва : Лесная промышленность, 1982. 384 с.
- Кручинин И. Н., Сушков С. И., Данилов В. В. Возможности повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог в различных сезонных условиях Свердловской области // Лесотехнический журнал. 2018. № 4 (32). С. 157–163.
- МУК 4.1.1013–01 Определение массовой концентрации нефтепродуктов в воде / Минздрав России. Москва, 2001. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007853> (дата обращения: 09.12.2022).
- Савельев В. В. Обоснование типа и конструкций одежд лесовозных автомобильных дорог : дис. ... д-ра техн. наук / Савельев Валерий Владимирович. Йошкар-Ола, 2006. С. 296–319. URL: https://new-dissert.ru/_avtoreferats/01003300569.pdf (дата обращения: 09.12.2022).
- Сиденко В. М., Батраков О. Т., Покутнев Ю. А. Дорожные одежды с парогидроизолирующими слоями. Москва : Транспорт, 1984. 144 с.

- Трифонов А. А.* Органоминеральные дорожно-строительные материалы с использованием нефтешламов : дис. ... канд. техн. наук / Трифонов Андрей Александрович. Казань, 2005. 187 с. URL: https://new-dissert.ru/_avtoreferats/01002831090.pdf (дата обращения: 09.12.2022).
- Тулаев А. Я.* Конструкция и расчет дренажных устройств. Москва : Транспорт, 1980. 191 с.
- Юшков Б. С., Минзуренко А. А.* О применении отходов нефтяной отрасли в дорожном строительстве // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. № 6. С. 41–44. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15107284> (дата обращения: 09.12.2022).
- Bindu C.S. et. al.* Waste plastic as a stabilizing additive in Asphalt Stone Mastic/ International Journal of Engineering and Technology Vol.2 (6), 2010, 379–387. URL: https://www.researchgate.net/publication/50422285_Waste_plastic_as_a_stabilizing_additive_in_Stone_Mastic_Aspphalt (дата обращения: 09.12.2022).
- Hossain Z.* Evaluation of Rheological Properties of Asphalt Binders for Pavement Design Applications : CEES Ph.D. Dissertation Defense / Hossain Zahid. 2011. Wednesday, April 20. URL: <https://shareok.org/handle/11244/318790> (дата обращения: 09.12.2022).
- Joao S., Adelino F., Gerardo F.* A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By // International Journal of Pavement Engineering. 2015. March. Volume 16. Issue 3. P. 268–286.
- Redelius P.G.* The structure of asphaltenes in bitumen. Road Materials and Pavement Design. 2006. 7 (sup1). P. 143–162. DOI 10.1080/14680629.2006.9690062.
- Thompson M.P.* Contemporary Forest Road management with economic and environmental objectives // PhD Dissertation, Oregon State University, Pro Quest Dissertations Publishing. 2009. 284 p. URL: <https://studylib.net/doc/12144390/> (дата обращения: 09.12.2022).

References

- Bindu C.S. et. al.* Waste plastic as a stabilizing additive in Asphalt Stone Mastic // International Journal of Engineering and Technology. 2010. Vol. 2 (6). P. 379–387.
- Brekhman A.I., Ilyin O.N.* New road construction material using oil sludge // Izvestiya KGASU [Proceedings of KGASU]. 2005. № 1 (3). P. 78–80.
- Hossain Z.* Evaluation of Rheological Properties of Asphalt Binders for Pavement Design Applications : CEES Ph.D. Dissertation Defense / Hossain Zahid. 2011. Wednesday, April 20.
- Ilyin B.A., Kuvaldin B.I.* Design, construction and operation of logging roads. Moscow : Forest industry, 1982. 384 p.
- Joao S., Adelino F., Gerardo F.* A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By // International Journal of Pavement Engineering. 2015. March. Volume 16. Issue 3. P. 268–286.
- Kruchinin I.N., Sushkov S.I., Danilov V.V.* Possibilities of improving the transport and operational qualities of logging roads in different seasonal conditions of the Sverdlovsk region // Lesotekhnicheskii zhurnal. 2018. № 4 (32). P. 157–163.
- MUK 4.1.1013–01 Determination of the mass concentration of oil products in water / Ministry of Health of Russia. Moscow, 2001. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007853> (accessed: 09.12.2022).
- Redelius P.G.* The structure of asphaltenes in bitumen. Road Materials and Pavement Design. 2006. 7 (sup1). P. 143–162. DOI 10.1080/14680629.2006.9690062.
- Saveliev V.V.* Substantiation of the type and designs of clothing for timber-carrying highways : Dis. ... doc. tech. sciences / Saveliev Valeriy Vladimirovich. Yoshkar-Ola, 2006. P. 296–319.
- Sidenko V.M., Batrakov O. T., Pokutnev Yu. A.* Road clothes with vapor barrier layers. Moscow : Transport, 1984. 144 p.

- Thompson M. P.* Contemporary Forest Road management with economic and environmental objectives // PhD Dissertation, Oregon State University, Pro Quest Dissertations Publishing. 2009. 284 p.
- Trifonov A. A.* Organo-mineral road construction materials using oil sludge : Dis. ... cand. tech. Sciences / Trifonov Andrey Alexandrovich. Kazan, 2005. 187 p.
- Tulaev A. Ya.* Design and calculation of drainage devices. Moscow : Transport, 1980. 191 p.
- Yushkov B. S., Minzurenko A. A.* On the use of oil industry waste in road construction // Protection of the environment in the oil and gas complex. 2010. № 6. P. 41–44.

Информация об авторах

И. Н. Кручинин – доктор технических наук, доцент;
А. А. Колобова – старший преподаватель;
В. И. Клевко – кандидат технических наук, доцент;
А. А. Лобыкин – аспирант.

Information about the authors

I. N. Kruchinin – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;
A. A. Kolobova – senior lecturer;
V. I. Klevko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
A. A. Labykin – postgraduate student.

Статья поступила в редакцию 12.01.2023; принята к публикации 12.02.2023.

The article was submitted 12.01.2023; accepted for publication 12.02.2023.
