

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 625.852

DOI: 10.18324/2077-5415-2023-1-114-118

Особенности использования техногенных нефтегрунтов при строительстве лесотранспортной инфраструктуры

А.А. Колобова^{1а}, И.Н. Кручинин^{2б}, А.М. Бургонутдинов^{1с}, В.С. Авдеева^{2д}¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, пр. Комсомольский, 29, Пермь, Россия² Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский Тракт, 37, Екатеринбург, Россия

а minzurenko.a@yandex.ru, б kinaa.k@yandex.ru, с burgonutdinov.albert@yandex.ru, д avdeevavs@m.usfeu.ru

^а <https://orcid.org/0000-0003-2765-5325>, ^б <https://orcid.org/0000-0003-2027-9742>,^с <https://orcid.org/0000-0002-7474-2168>, ^д <https://orcid.org/0000-0002-7474-2168>

Статья поступила 27.12.2022, принята 13.02.2023

Рассмотрены основные проблемы по совершенствованию лесотранспортной инфраструктуры лесосырьевых баз путем использования дорожно-строительных материалов из отходов нефтяной промышленности. Лесные дороги располагаются в сложных природно-климатических условиях, что накладывает определенные ограничения на использование дорожно-строительных материалов, способных обеспечивать требуемое транспортно-эксплуатационное состояние. Традиционные дорожно-строительные материалы отличаются не только стабильностью своих физико-механических характеристик, но и значительной стоимостью и сложностью доставки. Это вызывает существенное удорожание строительства лесных дорог. В то же время, имеется значительное количество отходов промышленности, практически не используемых в строительной практике. Речь идет о загрязненных нефтью грунтах. Несмотря на значительное количество исследований по этой тематике, задача их использования для транспортного освоения лесосырьевых баз остается нерешенной. Таким образом, решить проблему позволит использование нефтезагрязненных грунтов для строительства лесных дорог с заданными транспортно-эксплуатационными характеристиками с учетом природно-климатических условий эксплуатации, а также создание парогидроизолирующих конструктивных слоев в дорожных одеждах, что и определило цель настоящей работы. Целью исследований было обоснование возможности использования нефтегрунтов при строительстве лесных дорог в качестве парогидроизолирующих прослоек. В работе была решена задача по выявлению особенностей применения нефтегрунтов для строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесотранспортной инфраструктуры. Результатом работы стало создание рецептуры гидрофобного материала из нефтезагрязненных грунтов со скелетными добавками и минеральными вяжущими. Было определено, что скелетной добавки должно быть от 30 до 50 %, добавки из строительной извести — от 12 до 16 %. Учитывая достаточную адекватность опытно-экспериментальных исследований, результаты подбора добавок могут быть рекомендованы для использования в практике строительства парогидроизолирующих конструктивных слоев дорожных одежд на лесных дорогах.

Ключевые слова: лесные дороги; нефтезагрязненные грунты; парогидроизолирующие прослойки.

Features of the use of technogenic oil soils in the construction of timber transport infrastructure

А.А. Kolobova^{1а}, I.N. Kruchinin^{2б}, A.M. Burgonutdinov^{1с}, V.S. Avdeeva^{2д}¹ Perm National Research Polytechnic University; 29, Komsomolsky Per., Perm, Russia² Ural State Forest Engineering University; 37, Siberian Tract St., Ekaterinburg, Russia

а minzurenko.a@yandex.ru, б kinaa.k@yandex.ru, с burgonutdinov.albert@yandex.ru, д avdeevavs@m.usfeu.ru

^а <https://orcid.org/0000-0003-2765-5325>, ^б <https://orcid.org/0000-0003-2027-9742>,^с <https://orcid.org/0000-0002-7474-2168>, ^д <https://orcid.org/0000-0002-7474-2168>

Received on 27.12.2022, accepted 13.02.2023

The main problems of improving the timber transport infrastructure of timber bases 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 certain restrictions on the use of road construction materials that can ensure their required transport and operational condition. Traditional road construction materials are distinguished not only by the stability of their physical and mechanical characteristics, but also by the significant cost and complexity of delivery. This causes a significant rise in the cost of building forest roads. At the same time, there is a significant amount of industrial waste, namely, oil-contaminated soils, which are practically not used in construction practice. Despite a

significant amount of research on this topic, the problem of their use for the transport development of timber resources 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 operation, as well as the creation of vapor-waterproofing structural layers in road pavements, will solve the problem, which determined the purpose of this work. The aim of the research is to substantiate the possibility of using oil soils in the construction of forest roads as vapor barrier layers. The features of the use of oil soils for the construction of frost-resistant pavements for forest roads are considered. The result of the work is the creation of a formulation of a hydrophobic material from oil-contaminated soils with skeletal additives and mineral binders. It is determined that the skeletal additive should be from 30 to 50%, and building lime additives in an amount of 12 to 16%. Given the sufficient adequacy of experimental studies, the results of the selection of additives can be recommended for use in the practice of building vapor-waterproofing structural layers of road pavements on forest roads.

Keywords: forest roads; oil-contaminated soils; vapor barrier layers.

Введение. Развитие лесопромышленного комплекса Российской Федерации основано на принципах стратегии устойчивого развития лесных территорий. При этом основная роль отводится системе устойчивого развития транспортной инфраструктуры лесов. Примеры освоения инвестпроектов на северных территориях Свердловской области и Пермского края показали тесную взаимосвязь между уровнями освоения этих лесосырьевых баз и уровнями развития их транспортной инфраструктуры. При оценке дорожно-климатических условий было выявлено, что основные лесосырьевые базы располагаются либо в I, либо в II дорожно-климатических зонах. Это накладывает существенные ограничения как на конструктивное исполнение дорожных одежд лесных дорог, так и на применение дорожно-строительных материалов [1; 2].

Мировой и отечественный опыт освоения лесосырьевых баз, особенно со сложными природно-климатическими условиями показал, что основными транспортными сооружениями стали дорожные конструкции, способные противостоять зимнему морозному пучению. Анализ применения особых дорожно-строительных материалов, способных противостоять негативным природно-климатическим условиям, показал, что для лесных дорог наибольшее предпочтение следует отдавать устройству капилляропрерывающих или парогидроизолирующих прослоек [3–5].

В основе борьбы с зимним морозным пучением лежит применение либо капилляропрерывающих, либо парогидроизолирующих слоев в конструкциях лесных автомобильных дорог, позволяющих ограничить приток влаги к рабочему слою земляного полотна из нижележащих слоев в период устойчивых отрицательных температур. Чаще всего для устройства подобных тонкослойных парогидроизолирующих прослоек используются различные рулонные материалы, обладающие гидрофобными свойствами, например, толь, рубероид, полиэтилен, либо дорожно-строительные материалы, подвергшиеся улучшению их физико-механических характеристик [1; 6].

Анализ литературных источников показал, что рассмотренные покрытия из тонкослойных прослоек неэффективны из-за малого срока их службы и возможных деформаций в процессе строительства и эксплуатации [7; 8]. В то же время, возможность применения органических вяжущих материалов требует значительных затрат. Поэтому применение техногенных грунтов, обладающих гидрофобными свойствами, является наиболее эффективным и экономически оправданным способом строительства транспортной инфраструктуры

лесов [3; 6; 9; 10].

Наиболее распространенными на территории Пермского края и прилегающих северных территорий Свердловской области являются отходы нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, например, нефтешламы, нефтезагрязненные жидкости и нефтезагрязненные грунты. За многие десятилетия добычи нефти на этих территориях скопилось значительное количество нефтеотходов [11]. Обычное их складирование приводит лишь к загрязнению лесных земель и обостряет экологическую обстановку.

При этом ряд авторов считают, что нефтегрунты возможно применять при транспортном освоении лесосырьевых баз [11–13]. Грунты, обработанные нефтеотходами, значительно улучшают физико-механические свойства дорожных одежд, существенно уменьшают их водопроницаемость и паропроницаемость.

В этой связи возможность использования парогидроизолирующих прослоек из нефтегрунтов в конструктивных слоях лесных автомобильных дорог или в земляном полотне с использованием местных материалов является актуальным направлением исследований, что и определило цель настоящей работы.

Цель исследований — обоснование возможности использования нефтегрунтов при строительстве лесных дорог в качестве парогидроизолирующих прослоек.

В работе рассматривалась следующая задача: изучить особенности применения нефтегрунтов для строительства морозоустойчивых дорожных одежд лесотранспортной инфраструктуры.

Методы и материалы. При строительстве лесотранспортной инфраструктуры необходимо учитывать следующие основные требования к дорожным одеждам лесных дорог: полученный материал должен обладать гидрофобными свойствами и быть долговечен, обладать стабильностью характеристик, не изменяющихся во времени; прочность материала должна обеспечить его сохранность как в процессе производства работ, так и при эксплуатации; желательно иметь наименьшую стоимость; должна соблюдаться экологическая и пожарная безопасность; трудозатраты при производстве работ должны быть минимальными.

В наших исследованиях рассматривались следующие материалы: нефтезагрязненный грунт, образовавшийся в результате аварийного разлива нефти; грунт с полигона хранения отходов нефтяной промышленности «Кокуй»; отсеvy дробления каменных материалов с Вижайского каменного карьера (песок из отсеvов дробления 0–5 мм), Горнозаводский район Пермского края; песок — порт «Пермь»; горелые породы — с террико-

нов бывшего «Кизеловского угольного бассейна», г. Кизел, Пермский край; известь строительная ГОСТ 9179-2018 [10].

Нефтезагрязненные грунты, образовавшиеся в результате аварийного разлива нефти, имеют значительную влажность и находятся в текуче-пластическом состоянии. В зависимости от условий хранения

нефтезагрязненных грунтов, их влажность может достигать до 60 %. Характеристики исследуемых нефтегрунтов представлены в табл. 1.

Стабилизация физико-механических свойств нефтезагрязненных грунтов проводилась путем введения в них скелетных добавок из каменных материалов, их составы приведены в табл. 2.

Таблица 1. Состав нефтезагрязненных грунтов, входящих в программу исследований

Нефтезагрязненные грунты	Содержание воды, %	Содержание нефтяных компонентов, %	Содержание грунтовых частиц, %
НЗГ-1	40,0	12	88
	37,5	12	88
НЗГ-2	35,0	12	88
	32,5	12	88
НЗГ-3	30,0	12	88
	25,0	12	88
Нефтезагрязненные грунты повышенной влажности			
НЗГВ-1	45,0	12	88
НЗГВ-2	50,0	12	88
НЗГВ-3	55,0	12	88
НЗГВ-4	60,0	12	88

Таблица 2. Составы образцов скелетных добавок в нефтезагрязненный грунт

Номер состава	Состав, %			Тип скелетной добавки
	Песчаные частицы	Глинистые частицы	Пылеватые частицы	
1	82	10	8	Песок
2	92	6	2	Высевки дробления
3	77	14	7	Горелые породы

Таблица 3. Составы образцов материалов с добавкой извести

Номер состава	Состав, %		Влажность, %
	Нефтезагрязненный грунт	Известь	
И.1.	94	6	24
И.2.	90	10	22
И.3.	84	16	24

Таблица 4. Составы образцов материалов с добавкой извести

Тип нефтезагрязненного грунта	Песчаный		Глинистый
	Песок		
Скелетная добавка	Песок		Песок
Номер состава	ПИ.1	ПИ.2	ГЛИ.1
Известь, %	6	10	16
Грунт нефтезагрязненный, %	50		
Скелетная добавка, %	50		

Для стабилизации нефтезагрязненных грунтов путем введения минеральных вяжущих использовалась известь строительная по ГОСТ 9179-2018. Составы и дозировки извести приведены в табл. 3.

Проведенный комплекс испытаний по определению гранулометрического состава нефтезагрязненных грунтов и добавок позволил определить соотношения компонентов в комплексной добавке, состоящей из скелет-

ных добавок и минеральных вяжущих. Составы и дозировки добавок приведены в табл. 4.

Результаты. В наших исследованиях было обосновано, что основные требования к нефтезагрязненным грунтам при строительстве лесотранспортной инфраструктуры зависят от технологии строительства и вида используемого материала [10].

На рисунке представлена разработанная конструкция

дорожной одежды лесной дороги в выемке с прослойкой из нефтезагрязненного грунта. Учитывая то, что именно в выемках лесных автомобильных дорог происходит наибольшее переувлажнение, предлагаемая конструкция способна обеспечить требуемый водно-тепловой режим.

Для разработки требований к нефтезагрязненным грунтам и оценки эффективности введения в них скелетных добавок и минеральных вяжущих были приготовлены различные составы образцов. В табл. 5 представлены результаты введения извести в нефтезагрязненный грунт при различной дозировке, в табл. 6 — результаты использования скелетных добавок: песка, высевок дробления и горелых пород. В табл. 7 приведены физико-механические показатели нефтезагрязненного песчаного и глинистого грунтов с добавкой извести и скелетной добавкой из высевок дробления.

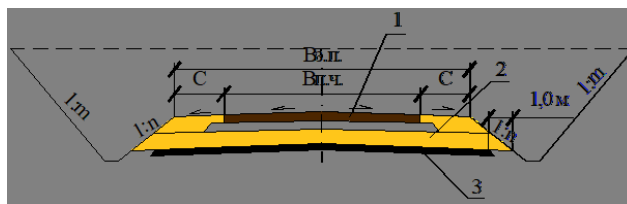


Рис. Конструкция дорожной одежды лесной дороги (выемка) с элементом из техногенных нефтегрунтов: 1 — покрытие переходного типа (щебеночное, гравийное); 2 — нижний слой основания; 3 — конструктивный слой из нефтезагрязненного грунта; С — ширина обочины; В_{п.ч} — ширина проезжей части; В_{з.п} — ширина верха земляного полотна; n, m — коэффициенты заложения откоса

Таблица 5. Физико-механические показатели нефтезагрязненного грунта с добавкой извести

Номер состава	Предел прочности на сжатие водонасыщенных образцов, МПа, в возрасте		Предел прочности на растяжение при изгибе водонасыщенных образцов, МПа, в возрасте		Коэффициент морозостойкости
	7 суток	28 суток	7 суток	28 суток	
ПИ.1.	0,98	1,21	0,28	0,39	0,43
ПИ.2.	1,60	1,88	0,42	0,63	0,57
ГЛИ.1.	1,95	2,49	0,60	0,98	0,88

Таблица 6. Физико-механические показатели нефтезагрязненного грунта со скелетной добавкой

Скелетная добавка	Песок	Высевки дробления	Горелые породы
75 % нефтезагрязненного грунта + 25 % скелетной добавки			
Предел прочности на сжатие водонасыщенных образцов при t = 20 °С, МПа	0,15	0,16	0,13
Коэффициент морозостойкости	0,28	0,27	0,43
50 % нефтезагрязненного грунта + 50 % скелетной добавки			
Предел прочности на сжатие водонасыщенных образцов при t = 20 °С, МПа	0,18	0,19	0,17
Коэффициент морозостойкости	0,30	0,28	0,45

Таблица 7. Физико-механические показатели нефтезагрязненного грунта с добавкой извести и скелетной добавки

Номер образца	Предел прочности на сжатие водонасыщенных образцов, 7суток, МПа	Предел прочности на сжатие водонасыщенных образцов, 28 суток, МПа
СПИ.1.	0,72	2,55
СПИ.2.	0,79	2,70
СГЛИ.1.	0,39	1,06

При обосновании экологической безопасности использования полученных материалов из нефтезагрязненных грунтов с добавками изучались пути возможного вымывания нефтепродуктов из парогидроизолирующих конструктивных слоев. Основными путями вымывания являются фильтрация капельной жидкости через конструктивный слой дорожной одежды или земляного полотна, а также водная вытяжка нефтепродуктов из этих слоев в процессе длительного их обводнения.

Для определения наличия вымывания нефтепродуктов по первому пути проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента фильтрации воды через полученные образцы материалов. Результаты испытаний показали, что благодаря плотной структуре, а также за счет гидрофобизирующего действия нефтяной пленки образцы из уплотненного

укрепленного нефтезагрязненного грунта не подвержены фильтрации.

Для определения наличия вымывания нефтепродуктов по второму пути была произведена водная вытяжка измельченной массы нефтезагрязненного грунта в дистиллированной воде по методике [14].

Заключение. Изучены закономерности влияния скелетных и минеральных добавок на нефтезагрязненные грунты и на физико-механические свойства парогидроизолирующих прослоек в конструктивных слоях дорожных одежд лесных дорог. Введение скелетных добавок позволило провести коррекцию гранулометрического состава нефтезагрязненных грунтов и перераспределить свободную пленку нефти на поверхности минеральных частиц грунта. При этом введение минеральных вяжущих позволило улучшить их физико-механические

свойства. Анализ показал, что введение добавок позволяет использовать полученный материал не только в земляном полотне, но также и в конструктивных слоях дорожных одежд лесных дорог.

Было выяснено, что парогидроизолирующие слои из техногенных нефтегрунтов необходимо располагать в земляном полотне на расстоянии не менее 0,5 м от низа дорожной одежды, а в выемке рекомендуется устраивать парогидроизолирующие слои непосредственно под основанием дорожной одежды. Возвышение низа слоя над уровнем грунтовых вод или длительно стоящих поверхностных вод должно быть не менее 0,5 м.

Наименьшие значения высоты поднятия капиллярно-поровой влаги были получены при использовании песчаного нефтезагрязненного грунта со скелетной добавкой 30 % по массе независимо от типа применяе-

мого минерального вяжущего, а также при использовании нефтезагрязненного глинистого грунта, укрепленного 50%-ной скелетной добавкой.

При испытаниях по МУК 4.1.1013-01 «Определение массовой концентрации нефтепродуктов в воде» отделение нефти и вымывание не наблюдались при введении извести в укрепленный нефтезагрязненный грунт в количестве свыше 12 %.

Проведенный комплекс исследований показал, что при использовании техногенных нефтегрунтов для строительства лесных дорог в качестве парогидроизолирующих слоев необходимо введение в них комплексной добавки, состоящей из скелетной добавки песка или высевок в количестве от 30 до 50 % и извести строительной по ГОСТ 9179-2018 в количестве от 12 до 16 %.

Литература

1. Брехман А.И., Ильина О.Н. Новый дорожно-строительный материал с применением нефтяного шлама // Изв. КГАСУ. 2005. № 1 (3). С. 78-80.
2. Ильин Б.А., Кувалдин Б.И. Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог. М.: Лесная промышленность, 1982. 384 с.
3. 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.
4. МУК 4.1.1013-01 Определение массовой концентрации нефтепродуктов в воде. Минздрав России. М., 2001. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294847/4294847626.htm?ysclid=ld2zruqqlp592408508> (дата обращения: 19.01.2023).
5. Савельев В.В. Обоснование типа и конструкций одежд лесовозных автомобильных дорог: дис. ... д-ра техн. наук. Йошкар-Ола, 2006. 516 с.
6. Сиденко В.М., Батраков О.Т., Покутнев Ю.А. Дорожные одежды с парогидроизолирующими слоями. М.: Транспорт, 1984. 144 с.
7. Трифонов А.А. Органоминеральные дорожно-строительные материалы с использованием нефтешламов: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2005. 187 с.
8. Тулаев А.Я. Конструкция и расчет дренажных устройств. М.: Транспорт, 1980. 191 с.
9. 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.
10. Bindu C.S. Waste plastic as a stabilizing additive in Asphalt Stone Mastic // International Journal of Engineering and Technology. 2010. V. 2 (6). P. 379-387.
11. Hossain Zahid. Evaluation of Rheological Properties of Asphalt Binders for Pavement Design Applications: CEES Ph.D. Dissertation Defense. Wednesday, April 20, 2011.
12. Joao S., Adelino F., Gerardo F. A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By // International Journal of Pavement Engineering, March. 2015. V. 16, iss. 3. P. 268-286.
13. Redelius P.G. (2006). The structure of asphaltenes in bitumen. Road Materials and Pavement Design, 7 (sup 1). P. 143-162.
14. Thompson M.P. Contemporary Forest Road management with economic and environmental objectives // PhD Dissertation, Oregon State University, Pro Quest Dissertations Publishing, 2009. 284 p.

References

1. Brekhman A.I., Il'ina O.N. New road construction material using oil sludge // News of the Kazan State University of Architecture and Engineering. 2005. № 1 (3). P. 78-80.
2. Il'in B.A., Kuvaldin B.I. Design, construction and operation of logging roads. M.: Lesnaya prom-st', 1982. 384 p.
3. 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 lasti // Forestry Engineering Journal. 2018. № 4 (32). P. 157-163.
4. MUK 4.1.1013-01 Determination of the mass concentration of oil products in water. Minzdrav Rossii. M., 2001. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294847/4294847626.htm?ysclid=ld2zruqqlp592408508> (data obrashcheniya: 19.01.2023).
5. Savel'ev V.V. Substantiation of the type and designs of clothing for timber-carrying highways: dis. ... d-ra tekhn. nauk. Yoshkar-Ola, 2006. 516 p.
6. Sidenko V.M., Batrakov O.T., Pokutnev YU.A. Road clothes with vapor barrier layers. M.: Transport, 1984. 144 p.
7. Trifonov A.A. Organo-mineral road construction materials using oil sludge: dis. ... kand. tekhn. nauk. Kazan', 2005. 187 p.
8. Tulaev A.YA. Design and calculation of drainage devices. M.: Transport, 1980. 191 p.
9. YUshkov B.S., Minzurenko A.A. On the use of oil industry waste in road construction // Environmental protection in oil and gas complex. 2010. № 6. P. 41-44.
10. Bindu C.S. Waste plastic as a stabilizing additive in Asphalt Stone Mastic // International Journal of Engineering and Technology. 2010. V. 2 (6). P. 379-387.
11. Hossain Zahid. Evaluation of Rheological Properties of Asphalt Binders for Pavement Design Applications: CEES Ph.D. Dissertation Defense. Wednesday, April 20, 2011.
12. Joao S., Adelino F., Gerardo F. A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework By // International Journal of Pavement Engineering, March. 2015. V. 16, iss. 3. P. 268-286.
13. Redelius P.G. (2006). The structure of asphaltenes in bitumen. Road Materials and Pavement Design, 7 (sup 1). P. 143-162.
14. Thompson M.P. Contemporary Forest Road management with economic and environmental objectives // PhD Dissertation, Oregon State University, Pro Quest Dissertations Publishing, 2009. 284 p.