

Применение укрепленных грунтов в основании дорожных одежд автомобильных дорог, расположенных в I дорожно-климатической зоне

А.В. Каменчуков¹, Г.О. Николаева²

¹*Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск*

²*Северо-восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Якутск*

Аннотация: Статья посвящена применению укрепленных грунтов в основании дорожных одежд автомобильных дорог, расположенных в I дорожно-климатической зоне. Рассматриваются особенности режимов работы укрепленных грунтов основания, а также определяются их физико-механические характеристики с различными сочетаниями минеральных и полимерных модификаторов. Авторы анализируют преимущества и недостатки использования укрепленных грунтов. В статье также рассматриваются вопросы проектирования и строительства дорог с использованием укрепленных грунтов.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожная одежда, основание, грунты, укрепленные грунты, модификаторы.

Вопрос повышения несущей способности и морозостойкости грунтов основания дорожной одежды является актуальным для автомобильных дорог, расположенных в I дорожно-климатической зоне (ДКЗ) [1, 2]. Это связано с тем, что в данной зоне преобладают слабые и малосвязные грунты, такие, как торф, песок, супесь и другие. Они обладают низкой несущей способностью и морозостойкостью, что может привести к деформациям дорожного покрытия при эксплуатации в зимний период [3, 4].

Актуальность вопроса повышения несущей способности и морозостойкости грунтов основания дорожной одежды связана с необходимостью обеспечения долговечности и надежности автомобильных дорог в условиях сложных климатических условий [5, 6].

Экономическая необходимость укрепления основания значимость заключается в том, что применение методов и технологий для повышения несущей способности и морозостойкости грунтов позволяет снизить затраты на строительство и эксплуатацию автомобильных дорог. Благодаря использованию геосинтетических материалов и стабилизаторов, можно уменьшить толщину дорожной одежды, что снижает стоимость

строительства [7]. Кроме того, улучшение свойств грунта увеличивает срок службы дороги, что также приводит к экономии средств на ее ремонт и реконструкцию.

Эксплуатационная значимость применения укрепленных грунтов в основании дорожной одежды заключается в повышении безопасности движения на автомобильных дорогах. Улучшенная несущая способность и морозостойкость грунтов основания дорожной одежды обеспечивают большую устойчивость и прочность дорожного покрытия, что предотвращает образование ям и трещин, а также уменьшает риск аварий [8, 9].

Автомобильные дороги, расположенные на многолетнемерзлых грунтах, сталкиваются со следующими проблемами [4, 5, 10]:

1. Термокарстовые процессы - многолетнемерзлые грунты подвержены термокарстовым процессам, которые происходят при таянии льда внутри грунта, что приводит к образованию провалов и неровностей на поверхности дороги и негативно влияет на безопасность движения.

2. Пучение грунта - при замерзании влага, находящаяся в грунте, расширяется, вызывая пучение грунта, что может привести к изменению профиля дорожного покрытия, образованию трещин и других повреждений.

3. Разрушение дорожного покрытия - многолетнемерзлые грунты при оттаивании обладают низкой несущей способностью, что может привести к разрушению дорожного покрытия под воздействием транспортной нагрузки или собственного веса земляного полотна и дорожной одежды.

Для предупреждения и предотвращения развития вышеперечисленных процессов в дорожной одежде устраивают специальные защитные слои из специальных материалов:

- геотекстиль и прослойки из нетканых геосинтетических материалов применяют для предотвращения капиллярного поднятия воды или отвода воды из дренирующего слоя, с целью избежание переувлажнения грунта

основания, недопущения развития в нем процессов пучинообразования и потери несущей способности [11, 12];

- грунты, укрепленные различными вяжущими (органическими и минеральными), применяют для улучшения теплоизоляционных свойств основания с целью недопущения его протаивания и потери несущей способности, а также в качестве несущего, морозозащитного и капеляропрерывающего слоя [13, 14];

- плитные материалы из пенопластов и пенополистирола применяют в качестве теплоизоляционного слоя.

Поскольку практически все проблемы эксплуатации дорожных одежд в I ДКЗ, так или иначе, связаны с изменением водно-теплового режима земляного полотна и мерзлотно-геологических процессов основания, вызванных деятельностью человека, то наиболее перспективным способом стабилизации вышеуказанных процессов является применение мероприятий по укреплению грунтов дополнительного слоя основания и рабочего слоя земляного полотна.

Объектом исследования являются автомобильная дорога регионального значения «Нам» Якутск-Намцы –Бурус на участке км 36+500 – км 38+500 и участке км 49+500 – км 51+500. Дорога относится к IV категории дорог общего пользования с капитальным асфальтобетонным покрытием. Грунты основания, супесь песчаная пластичная, относятся к пучинистым грунтам.

На участках был отобран грунт основания и определены его основные характеристики в соответствии с ГОСТ 12536-2014 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава», ГОСТ 5180-2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик» и ГОСТ Р 71024-2023 «Грунт. Определение характеристик прочности методом простого сдвига» (таблица 1 и таблица 2).

В дальнейшем выполнены работы по модификации и стабилизации грунта с определением следующих характеристик:

- прочность на сжатие;
- прочность на растяжение при изгибе;
- прочность на сжатие в водонасыщенном состоянии;
- коэффициент влагопроводности.

Таблица 1

Гранулометрический состав грунта

Наименование грунта	Гранулометрический состав (содержание частиц в %, диаметр в мм)							
	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	<0,1	Σ
Супесь песчанистая пластичная	14,055	21,694	15,474	14,772	17,093	11,12	5,715	99,926

Таблица 2

Физико-механические свойства грунта

Наименование грунта	Плотность ρ , г/см ³	Влажность, д.е.			Число пластичности I_P , д.е.	Показатель текучести I_L , д.е.	Сцепление кПа	Угол внутреннего трения, град
		W	W_L	W_p				
Супесь песчанистая пластичная	2,16	0,162	0,213	0,172	0,042	0,002	11,5	17,4

Для испытания были подготовлены несколько вариантов укрепленного грунта (цементогрунта) с различным сочетанием минеральных добавок и модификаторов:

- Состав 1 – супесь укрепленная 6% цемента М400;
- Состав 2 – супесь укрепленная 5% цемента М400 в сочетании с 2% полимерной добавки на основе кремнийорганического соединения;
- Состав 3 - супесь укрепленная 5% цемента М400 в сочетании с 0,5% добавки ПАВ на основе углеродных алифатических соединений;

- Состав 4 - супесь укрепленная 6% цемента М400 в сочетании с 2% полимерной добавки на основе стирола.

Результаты стабилизированных образцов показали, что все составы соответствуют требованиям ГОСТ 23558-97 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства». Результаты испытаний систематизированы и представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты определения прочностных характеристик грунтов
укрепленных неорганическими вяжущими

Наименование	Предел прочности на сжатие, МПа	Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	Предел прочности на сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа	Коэффициент влагопроводности, см ² /ч
Состав 1	3,15	1,88	1,37	0,47
Состав 2	5,13	2,12	4,48	0,12
Состав 3	5,12	2,45	4,65	0,55
Состав 4	6,34	2,37	3,83	0,49

Как видно из таблицы, все добавки показали примерно одинаковый результат, но, в зависимости от проектных требований, рекомендуется:

1. При необходимости достижения максимальной прочности при статическом нагружении наилучший результат показал состав 4 - супесь укрепленная 6% цемента М400 в сочетании с 2% полимерных добавок на основе стиролов;

2. При динамических нагрузках и на обводненных участках лучше использовать состав 3 - супесь укрепленная 5% цемента М400 в сочетании с 0,5% добавок ПАВ основе углеродных алифатических соединений, если необходимо добиться хороших прочностных характеристик, но при

необходимости устройства капилляропрерывающих слоев отдавать предпочтение составу 2 – супесь укрепленная 5% цемента М400 в сочетании с 2% полимерных добавок на основе кремнийорганического соединения.

Литература

1. Теппор Н.В., Халыева А.С. Воздействие глобального потепления на многолетнемерзлые грунты в Республике Саха (Якутия) // Научный электронный журнал Меридиан. – 2019. – № 13(31). – С. 213-215.
2. Каменчуков А.В., Егоров П.И., Николаева Г.О., Каменчуков Ю.В., Рудакова Я.М. Строительство металлических гофрированных труб в условиях наличия многолетнемерзлых грунтов // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8431
3. Telegina M., Varabash A., Naumova E., Zhukova O., Lazarev Yu. Predicted temperature dependence of the road surface on the air temperature in a variety of road-climatic zones of the Russian // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2017. – No. 11(62). – P. 71-82. – DOI 10.18720/CUBS.62.6.
4. Федоренко Е.В., Вавринюк Т.С. Особенности проектирования земляного полотна на оттаивающем основании в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов // Фундаменты. – 2023. – № 3(13). – С. 24-28.
5. Бояринцев А.В. Репрезентативный анализ опыта строительства фундаментов на многолетнемерзлых грунтах // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 57-68. – DOI 10.15593/2224-9826/2019.1.06.
6. Насонова Н.А. Учет технических рисков для обеспечения стабильности земляного полотна на участках с многолетнемерзлыми грунтами // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2021. – № 4(29). – С. 40-43.

7. Горелик Я.Б. Хабитов А.Х. Об эффективности применения термостабилизаторов при строительстве на многолетнемерзлых грунтах // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. – 2019. – Т. 5, № 3. – С. 25-46.

8. Краев А.Н. Шанхоев З.Ш. Моделирование деформированного состояния земляного полотна автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах // Транспортные сооружения. – 2019. – Т. 6, № 1. – С. 5. – DOI 10.15862/05SATS119.

9. Жолоб Д.В., Жолоб Е.В. Повышение устойчивости земляного полотна автомобильных дорог // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2022/7610

10. Лычковский А.А., Луцкий С.Я. Особенности геотехнического мониторинга сооружения земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 3(62). – С. 23-30. – DOI 10.52170/1815-9265_2022_62_23.

11. Еременко Е.С., Галич Н.Н., Кузьмин Д.А., Мелентьев А.С. Армирование насыпей внутрипромысловых автомобильных дорог на слабом основании как решение по снижению величины осадки земляного полотна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 4. – С. 107-113.

12. Sari P.T.K., Wardani M.K. Combined effects of vertical drain and preloading to reduce the number of geotextile reinforcement for road embankment design // Journal of Physics: Conference Series. - 2020. - V. 2. - pp. 81-93.

13. Худайкулов Р.М., Мирзаев Т.Л. Применение стабилизаторов для улучшения прочности грунтового основания автомобильных дорог // Транспортные сооружения. — 2019. — Т 6. — № 1. DOI: 10.15862/14SATS119.



14. Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Битуев А.В, Смирнягина Н.Н. Подбор состава укрепленных материалов для оснований автомобильных дорог с использованием золошлаковых смесей // Вестник ВСГУТУ. – 2023. – № 4(91). – С. 96-105. – DOI 10.53980/24131997_2023_4_96.

References

1. Teppor N.V., Khalyeva A.S. Nauchnyy elektronnyy zhurnal Meridian. 2019. no. 13(31). pp. 213-215.
2. Kamenchukov A.V., Yegorov P.I., Nikolayeva G.O., Kamenchukov YU.V., Rudakova YA.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8431.
3. Telegina M., Barabash A., Naumova E., Zhukova O., Lazarev Yu. Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. no. 11(62). pp. 71-82. DOI 10.18720/CUBS.62.6.
4. Fedorenko Ye.V., Vavrinyuk T.S. Fundamenty. 2023. № 3(13). pp. 24-28.
5. Boyarintsev A.V. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura. 2019. vol. 10, № 1. pp. 57-68. DOI 10.15593/2224-9826/2019.1.06.
6. Nasonova N.A. Transport Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona. 2021. № 4(29). pp. 40-43.
7. Gorelik YA.B. Khabitov A.KH. Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Fiziko-matematicheskoye modelirovaniye. Neft', gaz, energetika. 2019. vol. 5, № 3. pp. 25-46
8. Krayev A.N. Shankhoyev Z.SH. Transportnyye sooruzheniya. 2019. vol. 6, no. 1. p. 5. DOI 10.15862/05SATS119.
9. Zholob D.V., Zholob Ye.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2022/7610



10. Lychkovskiy A.A., Lutskiy S.YA. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya. 2022. № 3(62). pp. 23-30. DOI 10.52170/1815-9265_2022_62_23

11. Yeremenko Ye.S., Galich N.N., Kuz'min D.A., Melent'yev A.S. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2021. vol. 332, № 4. pp. 107-113

12. Sari P.T.K., Wardani M.K. Journal of Physics: Conference Series. 2020. vol. 2. pp. 81-93.

13. Khudaykulov R.M., Mirzayev T.L. Transportnyye sooruzheniya. 2019. vol. 6. № 1. DOI: 10.15862/14SATS119.

14. Urkhanova L.A., Lkhasaranov S.A., Bituyev A.V, Smirnyagina N.N. Vestnik VSGUTU. 2023. № 4(91). pp. 96-105. DOI 10.53980/24131997_2023_4_96

Дата поступления: 10.04.2024

Дата публикации: 27.05.2024