

Целесообразность использования битума при укреплении цементогрунта

А.Б. Павликов¹, А.В. Каменчуков³, Г.О. Николаева³

^{1, 2}*Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск*

³*Северо-восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Якутск*

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы применения органических вяжущих для модификации свойств цементогрунтов. Рассмотрена область применения цементогрунтов в практике строительства, в том числе при строительстве автомобильных дорог. Исследовано влияние применения органических вяжущих, как комплексной добавки, модифицирующей прочностные характеристики цементогрунтов. Определено влияние применения комплексных модификаторов и добавок на морозостойкость и водопроницаемость цементогрунтов.

Ключевые слова: цементогрунт, органическое вяжущее, автомобильная дорога, рабочий слой, морозостойкость, модификаторы.

Область применения цементогрунтов в практике строительства и реконструкции объектов капитального строительства весьма разнообразна. Как правило, они применяются в основном для создания различных типов оснований и защитных покрытий аэродромов, строительных площадок, оснований фундаментов подземных сооружений, а также укрепления основания насыпей и нижних слоев дорожной одежды на автомобильных дорогах.

Несмотря на то, что цементогрунт обладает рядом преимуществ перед другими строительными материалами, его прочность и долговечность напрямую зависит от такого показателя как морозостойкость, то есть способности выдерживать попеременное замерзание и оттаивание без снижения прочности и появления внешних признаков разрушения, таких как трещины или сколы. Однако, как показали исследования, грунт даже при обработке его портландцементом, значительно теряет свою прочность уже на первых циклах замораживания-оттаивания [1, 2]. Поэтому многими учеными были предприняты попытки модифицировать цементогрунт введением

различных добавок для повышения его морозостойкости и прочностных свойств.

Укрепление грунтов органическими вяжущими материалами до последнего времени имело преимущественное распространение в практике дорожного строительства и устройства изоляционных гидротехнических сооружений. Для укрепления, как правило, использовались жидкие битумы, битумные эмульсии и дегти, что, по сравнению с цементогрунтом, позволяло сократить время строительства, уменьшить количество технологических операций из-за отсутствия необходимости ухода за слоем в процессе формирования и набора прочности цементосодержащих материалов [3, 4].

Битум является одним из продуктов переработки нефти. Его состав представляет собой сложную смесь высокомолекулярных углеводородов нефти и их производных, содержащих кислород, серу, азот и металл, которые придают ему хорошие адгезионные и гидроизоляционные свойства, а по деформационным характеристикам прочности он обладает упруго-пластичными свойствами зависящими от температуры материала

Как уже акцентировалось ранее, наиболее разрушающее действие на структуру и прочность цементогрунта оказывает вода, замерзающая в порах и трещинах, образовавшихся в нижней зоне слоя, в которой преобладают растягивающие и сдвигающие напряжения от действия внешних нагрузок. Для повышения морозостойкости цементогрунта в состав материала вводят органические вяжущие и модификаторы, которые предназначены для предотвращения проникновения воды в материал и придания ему способности воспринимать растягивающие напряжения и сопротивляться деформациям в более широком диапазоне. Это особенно важно для использования в условиях повышенной влажности или на участках, где есть риск затопления. Битум улучшает адгезию между компонентами смеси. Он обеспечивает лучшее соединение между цементом и грунтом, делая материал

более прочным и устойчивым к нагрузкам. Образует защитный слой вокруг частиц материала, который предотвращает их расширение при замораживании и последующее разрушение.

При проектировании конструкций дорожных одежд происходит изменения напряженно-деформированного состояния насыпи автомобильной дороги в зависимости от изменения высоты насыпи и увеличения нагрузки на сооружение. При увеличении высоты сооружения в обочинах и откосной части начинают интенсивно развиваться пластические деформации, без потери несущей способности. С увеличением нагрузки в теле насыпи начинает образовываться ядро пластических деформаций, с интенсификацией просадок, приводящих к отказу сооружения [5, 6].

Использования укрепленного цементогрунта взамен каменных материалов позволит исключить подобные дефекты можно за счет укрепления рабочего слоя земляного полотна [1, 4, 7].

Качественные показатели битума определяют твёрдостью, температурой размягчения и растяжимостью. Твёрдость находят по глубине проникания в битум иглы. Температуру размягчения определяют на приборе «кольцо и шар», помещаемом в сосуд с водой; она соответствует той температуре нагреваемой воды, при которой металлический шарик под действием собственной массы проходит через кольцо, заполненное испытуемым битумом. Растяжимость характеризуется абсолютным удлинением образца битума («восьмёрки») при температуре 25 град., определяется на приборе – дуктилометре.

Одни из основных методов испытания битума приведены в следующих документах: ГОСТ 33136-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения глубины проникания иглы»; ГОСТ 33138-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения

растяжимости»; ГОСТ 33142-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения температуры размягчения. Метод "Кольцо и Шар"». В таблице 1 приведены примеры качественных показателей битума.

Таблица 1

Качественные показатели свойств

№ пп	Наименование показателей	Ед. изм.	Требования ГОСТ 33133-2014
1	Глубина проникания иглы при 25 °С	⁰ П (0,1 мм)	101-130
2	Температура размягчения по кольцу и шару	°С	Не ниже 45
3	Растяжимость: - при 25 °С	°С	более 65,0
4	Индекс пенетрации	-	От -1,0 до +1,0

Битум вводимый в цементогрунт может иметь добавки и модификации, которые повышают базовые характеристики материала, например сульфат меди [8], ОСП (смолы пиролиза) [9], резиновая крошка [10], регенерированный бутиловый компаунд [11], технический углерод [12]; полиуретаны [13], вторичное сырье и побочные продукты промышленности [14, 15]; сера [16] и прочими модификаторами.

Также известно положительное влияние битумной эмульсии для повышения прочности, водостойкости и долговечности цементогрунта, а также несущей способности и модуля упругости цементогрунта. При этом прочность на сжатие, коэффициент водоустойчивости и сцепления достигают максимальных значений, а структура грунта становится зернисто-песчаной.

Объектом исследования являются автомобильной дороги Лидога-Ванино с подъездом к г. Комсомольск-на-Амуре по участкам км 113+000 – км 188+000. Дорога относится к III категории дорог общего пользования с капитальным асфальтобетонным покрытием. Грунты основания, суглинков легкий тугопластичный, относятся к слабопучинистым 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 2 и таблица 3).

Таблица 2

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	0,1-0,05	0,05-0,002	менее 0,002
Суглинок легкий тугопластичный	1,1	1,1	1,9	1,4	1,7	2,5	1,6	53,2	35,5

Таблица 3

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				
Суглинок легкий тугопластичный	1,94	0,246	0,204	0,313	0,108	0,0039	15,9	14,3

Исследование направлено на оценку эффективности применения различных органических модификаторов цементогрунта с определением следующих характеристик:

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

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

- Состав 1 – суглинок укрепленная 7,5% цемента М400
- Состав 2 – суглинок укрепленная 7,5% цемента М400, 0,1 % битума нефтяного дорожного БНД 100/130;
- Состав 3 – суглинок укрепленная 6% цемента М400, 4% резиновой крошки и 0,15 % битума нефтяного дорожного БНД 100/130.

Результаты стабилизированных образцов показали, что все составы соответствуют требованиям ГОСТ 30491-2012 «Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства». Результаты испытаний систематизированы и представлены в таблице 4.

Таблица 4

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	Коэффициент морозостойкости
Состав 1	3,15	1,88	1,37	0,47	0,85
Состав 2	4,75	2,65	3,59	0,22	0,90
Состав 3	2,54	1,95	1,04	0,35	0,65

В целом модификация цементогрунта битумом имеет большой потенциал для повышения долговечности слоев дорожной конструкции. Прочность на растяжение при изгибе и коэффициент морозостойкости у цементогрунтов с добавлением органического вяжущего значительно выше, чем у не модифицированного цементогрунта. Однако, эффективность применения резиновой крошки в сочетании с битумом для модификации

цементогрунта остается под сомнением, так как исследования не показали однозначных результатов (возможно были допущены погрешности в эксперименте и необходимо проводить дополнительные исследования).

Литература

1. Куюков С.А., Гензе Д.А., Шматок В.В., Жигайлов А.А. Комплексный подход к повышению долговечности цементогрунтового основания // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 4. – С. 80-89. – DOI: 10.15593/24111678/2019.04.10.

2. Морозова А.М. Опыт применения цементогрунта для устройства фундаментов малоэтажного здания // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Студент и наука. – 2016. – № 9. – С. 90-96.

3. Безрук В.М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. М.: Транспорт, 1971. 247 с.

4. Лыщик П.А., Бавбель Е.И., Науменко А.И., Цвирко М.В. Укрепление дорожных грунтов битумной эмульсией // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2018. № 2(210). С. 168-173.

5. Исаев Б.Н., Бадеев С.Ю., Логутин В.В., Кузнецов М.В. Проектирование оснований, усиленных структурными армоэлементами из цементогрунта // Инженерный вестник Дона. 2011. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/336

6. Федоров С.А. Разуплотнение глинистых грунтов в результате увлажнения // Инженерный вестник Дона. 2023. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2023/8446

7. Aryafar M. Intelligent Estimation of Compressive Strength of the Pavement Layers Stabilized by the Combination of Bitumen Emulsion and Cement // American J. of Engineering and Applied Sciences. 2008. № 1 (4). pp. 389-392.

8. Baker, I. Asphalt // Fifty Materials That Make the World, 2018, pp. 11-13.
9. Киселев В.П., Иванченко А.В., Ефремов А.А. Смолы пиролиза древесины как сырье для модификации битума // Химия растительного сырья. 2001. № 4. С. 111-113.
10. Галдина В.Д., Новиков В.С. Использование резиновой крошки для модификации битумов // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: Сборник материалов IV Национальной научно-практической конференции. 2021. С. 660-665.
11. Широкова Е.С., Веснин Р.Л., Хусаинов А.Д., Опарина Д.В., Хасанова А.Д. Модификация битума регенерированным бутиловым компаундом // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25, № 10. С. 31-35.
12. Беляев К.В., Чулкова И.Л. Модификация битума техническим углеродом // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2019. Т. 16, № 4(68). С. 472-485.
13. Митюшина С.А., Петров В.Г., Кольцов Н.И. Разработка и исследование битум-полиуретанов и асфальтобетонов на их основе // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2007. – № 3(42). – С. 30-32.
14. Тошмахмадзода А. Модификация битума с добавками полимеров с использованием вторичного сырья и побочных продуктов промышленности // Доклады Национальной академии наук Таджикистана. 2022. Т. 65, № 3-4. С. 248-253.
15. Сырманова К.К., Тлеуов Д.Б., Боташев Е.Т., Ривкина Т.В., Калдыбекова Ж.Б. Технология улучшения свойств дорожного битума модификацией вторичным полиэтиленом // Научные труды ЮКГУ им. М. Ауэзова. 2016. № 2(37). С. 20-24.

16. Сыроежко А.М., Бегак О.Ю., Федоров В.В., Гусарова Е.Н. Модификация дорожных битумов добавками серы // Журнал прикладной химии. 2003. Т. 76, № 3. С. 506-511.

References

1. Kuyukov S.A., Genze D.A., Shmatok V.V., Zhigaylov A.A. Transport. Transportnyye sooruzheniya. Ekologiya. 2019. № 4. pp. 80-89. DOI: 10.15593/24111678/2019.04.10.

2. Morozova A.M. Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Student i nauka. 2016. № 9. pp. 90-96.

3. Bezruk V.M. Ukreplenie gruntov v dorozhnom i aerodromnom stroitel'stve [Soil strengthening in road and airfield construction]. Moskva, Transport Publ., 1971. 247 p.

4. Lyshchik P.A., Bavbel' Ye.I., Naumenko A.I., Tsvirko M.V. Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoye khozyaystvo, prirodopol'zovaniye i pererabotka vozobnovlyayemykh resursov. 2018. Vol 2(210). pp. 168-173.

5. Isayev B.N., Badeyev S.YU., Logutin V.V., Kuznetsov M.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2011. Vol. 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2011/336

6. Fedorov S.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. Vol. 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2023/8446

7. Aryafar M. American J. of Engineering and Applied Sciences. 2008. Vol. 1(4). pp. 389-392.

8. Baker, I. Asfal'tobeton. Pyat'desyat materialov kotorye sozdali sovremenny mir [Asphalt. Fifty Materials That Make the World], 2018, pp. 11-13.

9. Kiselev V.P., Ivanchenko A.V., Yefremov A.A. Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2001. Vol. 4. pp. 111-113.



10. Galdina V.D., Novikov V.S. Obrazovaniye. Transport. Innovatsii. Stroitel'stvo: Sbornik materialov IV Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2021. pp. 660-665.

11. Shirokova Ye.S., Vesnin R.L., Khusainov A.D., Oparina D.V., Khasanova A.D. Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta. 2022. T. 25, Vol. 10. pp. 31-35.

12. Belyayev K.V., Chulkova I.L. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta. 2019. T. 16, Vol. 4(68). pp. 472-485.

13. Mityushina S.A., Petrov V.G., Kol'tsov N.I. Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. 2007. no. 3(42). pp. 30-32.

14. Toshmakhmadzoda A. Doklady Natsional'noy akademii nauk Tadzhikistana. 2022. T. 65, Vol. 3-4. pp. 248-253.

15. Syrmanova K.K., Tleuov D.B., Botashev Ye.T., Rivkina T.V., Kaldybekova ZH.B. Nauchnyye trudy YUKGU im. M. Auezova. 2016. Vol. 2(37). pp. 20-24.

16. Syroyezhko A.M., Begak O.YU., Fedorov V.V., Gusarova Ye.N. Zhurnal prikladnoy khimii. 2003. T. 76, Vol. 3. pp. 506-511.

Дата поступления: 15.04.2024

Дата публикации: 30.05.2024