



## Проектирование дорожных одежд со слоями из модифицированных кремнийорганическими соединениями цементогрунтов

Е.А. Вдовин<sup>1</sup>, П.Е. Буланов<sup>1</sup>, В.Ф. Строганов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация:** *Постановка задачи.* Одним из актуальных направлений повышения эффективности строительства автомобильных дорог является применение цементогрунтов в конструктивных слоях дорожных одежд. Однако широкое применение цементогрунтов в дорожно-климатических зонах с сезонными, суточными изменениями температур и переходом через 0 °С препятствует необходимости достижения высокого уровня физико-механических и эксплуатационных характеристик цементогрунтовых слоев дорожных одежд. В технологии укрепления грунтов повышение уровня данных показателей возможно при добавлении технологической стадии по модификации цементогрунтов, в том числе гидрофобизаторами на основе кремнийорганических соединений с объемными алифатическими радикалами. Анализ литературы позволил установить, что системные исследования по влиянию строения и объема алифатического радикала кремнийорганических соединений на эффективность модификации дорожных цементогрунтов не проводились. Для обеспечения возможности проектирования дорожных одежд со слоями из модифицированных цементогрунтов требуется также установление зависимостей влияния гидрофобизации на расчетные характеристики конструктивных слоев, оптимальные значения которых позволят использовать их в расчетах конструкций.

*Результаты.* На основе выявленных зависимостей влияния кремнийорганических соединений с алифатическими радикалами повышенной молекулярной массы, способствующих росту уровней физико-механических и расчетных характеристик цементогрунтов, проведено конструирование и расчет трех вариантов конструкций дорожных одежд IV технической категории облегченного типа со слоями из модифицированных укрепленных грунтов. Установлено, что гидрофобизация цементогрунтов изо-бутил-, октил- и додецилтриэтоксисилоном обеспечивает повышение предела прочности на сжатие в пределах от 34 до 83 %, предела прочности на растяжение при изгибе от 33 до 131 %, коэффициента морозостойкости от 35 до 76 % по сравнению с немодифицированными составами. Установлено, что модификация цементогрунтов исследованными кремнийорганическими соединениями способствуют повышению уровня расчетных характеристик цементогрунтовых слоев дорожных одежд и, в частности, гидрофобизация укрепленного грунта додецилтриэтоксисилоном обеспечивает повышение модуля упругости: при 6 % портландцемента на 64 %; при 10 % – 53 %; при 14 % – 44 %.

*Выводы.* Показана возможность проектирования конструкций дорожных одежд со слоями из цементогрунтов, модифицированных кремнийорганическими соединениями с объемными алифатическими радикалами. Это позволит повысить эффективность строительства автомобильных дорог. Полученные результаты конструирования и расчетов вариантов дорожных одежд будут способствовать расширению региональной сырьевой базы и продлению сроков службы автомобильных дорог при использовании цементогрунтов, модифицированных кремнийорганическими соединениями.

**Ключевые слова:** строительство автомобильных дорог, проектирование дорожных одежд, модифицированные цементогрунты, кремнийорганические соединения, расчетные характеристики, модуль упругости

**Для цитирования:** Вдовин Е.А., Буланов П.Е., Строганов В.Ф. Проектирование дорожных одежд со слоями из модифицированных кремнийорганическими соединениями цементогрунтов // Известия КГАСУ, 2024, № 1(67), с. 207-216, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.20, EDN: ZABBNC

## Design of road pavements with layers of soil-cement modified with organosilicon

E.A. Vdovin<sup>1</sup>, P.E. Bulanov<sup>1</sup>, V.F. Stroganov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kazan State University of Architecture and Engineering,  
Kazan, Russian Federation

**Abstract:** *Problem statement.* One of the current trends in increasing the efficiency of roads construction is the use of soil-cement in the structural layers of road pavements. However, the widespread use of soil-cement in road-climatic zones with seasonal changes, daily temperature changes and transition through 0° C is hampered by the need to achieve a high level of physical, mechanical and operational characteristics of soil-cement layers of road pavements. In the technology of soil strengthening, increasing the level of these indicators is possible by adding a technological stage for modifying soil-cement, including water repellents based on organosilicon compounds with bulky aliphatic radicals. The analysis of the sources made it possible to establish that systematic studies on the influence of the structure and volume of the aliphatic radical of organosilicon compounds on the efficiency of modification of road soil-cement have not been carried out. To ensure the possibility of designing road pavements with layers of modified soil-cement, it is also necessary to establish the dependencies of the influence of hydrophobization on the design characteristics of structural layers, the optimal values of which will allow them to be used in structural calculations.

*Results.* Based on the identified dependencies of the influence of organosilicon compounds with aliphatic radicals of high molecular weight, which contribute to an increase in the levels of physical-mechanical and design characteristics of soil-cement, three design options for road pavements of the IV technical category of the lightweight type with layers of modified reinforced soils were designed and calculated. It has been established that hydrophobization of soil-cement with iso-butyl-, octyl- and dodecyltriethoxysilane provides an increase in compressive strength in the range from 34% to 83 %, tensile strength in bending from 33% to 131%, freeze-thaw resistance coefficient from 35% to 76% compared with unmodified compounds. It has been established that modification of soil-cement with the studied organosilicon compounds helps to increase the level of design characteristics of soil-cement layers of road pavements and, in particular, hydrophobization of reinforced soil with dodecyltriethoxysilane provides an increase in the elastic modulus: at 6 % Portland cement by 64 %; at 10 % – 53 %; at 14 % – 44 %.

*Conclusions:* The possibility of designing road pavement structures with layers of soil-cement modified with organosilicon compounds with bulky aliphatic radicals is shown. This will improve the efficiency of road construction. The obtained results of design and calculations of road pavement options will contribute to expanding the regional raw material base and extending the service life of highways when using soil-cement modified with organosilicon compounds.

**Keywords:** construction of roads, design of road pavements, modified soil-cement, organosilicon compounds, design characteristics, modulus of elasticity

**For citation:** Vdovin E.A., Bulanov P.E., Stroganov V.F. Design of road pavements with layers of soil-cement modified with organosilicon // News KSUAE, 2024, № 1(67), p. 207-216, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.20, EDN: ZABBNC

## 1. Введение

Учитывая тенденцию энергосберегающих строительных технологий, следует отметить, что технология укрепления глинистых грунтов является одним из приоритетных направлений дорожного строительства [1]. Объемы строительства автомобильных дорог в Российской Федерации растут, поэтому задачи снижения стоимости строительства являются актуальными. Стоимость строительства автомобильных дорог во многом зависит от затрат на логистику. Глинистые грунты являются наиболее распространенными (до 60 %), а месторождения горных пород высокой прочности встречаются крайне редко. Это обстоятельство обуславливает значительное увеличение транспортных расходов на доставку высокопрочного щебня к объектам дорожного строительства. Использование грунтов региональных месторождений, в том числе глинистых, укрепленных вяжущими, является одним из возможных способов снижения затрат на строительство, реконструкцию и капитальный ремонт автомобильных дорог [2, 3].

Начиная с середины XX века внедрялись различные методы укрепления грунтов с применением органических, неорганических и комплексных вяжущих [4]. Научные исследования и практический опыт показал, что для укрепления грунтов рекомендуется и применение минеральных вяжущих веществ, особенно портландцемента [7, 8]. Однако, применение одного вяжущего бывает недостаточно для достижения нормативных требований по прочности и морозостойкости, особенно в глинистых грунтах, без дополнительной модификации [9, 10]. Одним из перспективных направлений в области повышения эффективности технологии укрепления грунтов в дорожном строительстве является модификация цементогрунтов. Модифицированные цементогрунты зарекомендовали себя в основаниях конструкций дорожных одежд капитального и облегченного типов, а также в покрытиях переходного и низшего типов с применением технологии поверхностной обработки [5, 6]. Анализ публикаций и научно-практического опыта данного периода свидетельствует, что для обеспечения уровня требуемых показателей к конструктивным слоям дорожных одежд с учетом увеличения интенсивности движения и транспортной нагрузки [11, 12] для укрепления глинистых грунтов цементом, необходимо обязательное применение технологической стадии по модификации цементогрунтов [13, 14].

Известно, что одним из методов повышения качества и долговечности цементогрунтов является гидрофобизация, придающая поверхностям минеральных частиц и их агрегатам способность не смачиваться водой [15-17]. Наиболее эффективными модификаторами для снижения водопоглощения и повышения морозостойкости укрепленных грунтов являются кремнийорганические соединения (силаны, силоксаны и др.) [18, 19]. Однако в публикациях рассматриваются только кремнийорганические соединения с короткой углеводородной цепью. Поэтому нами проводятся комплексные исследования по влиянию модификации кремнийорганическими соединениями с алифатическим радикалами повышенной молекулярной массы на физико-механические, технологические, расчетные и эксплуатационные характеристики цементогрунтовых слоев дорожных одежд [20, 21].

Из анализа литературных источников установлено также, что для проектирования конструкций дорожных одежд со слоями из цементогрунтов, модифицированных кремнийорганическими соединениями, особенно с алифатическим радикалами повышенной молекулярной массы, отсутствуют необходимые данные по значениям расчетных характеристик гидрофобизированных укрепленных грунтов.

В связи с изложенным, целью работы является разработка конструкций дорожных одежд IV технической категории облегченного типа со слоями из цементогрунтов, модифицированных кремнийорганическими соединениями с алифатическим радикалами объемной молекулярной массы.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- исследование физико-механических характеристик цементогрунтов, модифицированных кремнийорганическими соединениями с алифатическими радикалами повышенной молекулярной массы;

- определение расчетных характеристик цементогрунтов, модифицированных эффективным кремнийорганическим соединением;
- конструирование и расчет дорожных одежд со слоями оснований из цементогрунтов, модифицированных кремнийорганическим соединением с объемным алифатическим радикалом.

## 2. Материалы и методы

В качестве глинистого грунта применен суглинок тяжелый пылеватый с числом пластичности – 0,129 и содержанием песчаных частиц – 7 % по ГОСТ 25100. Для укрепления грунтов применялся портландцемент (ПЦ) ЦЕМ I 42,5Н ЗАО «Вольскцемент».

Модификация цементогрунтов проводилась кремнийорганическими соединениями: изо-бутилтриэтоксисилан (ИБТЭС); октилтриэтоксисилан (ОТЭС); додецилтриэтоксисилан (ДТЭС).

В соответствии с ГОСТ 23558 исследованы физико-механические свойства цементогрунтов: предел прочности на сжатие ( $R_{сж}$ ), предел прочности на растяжение при изгибе ( $R_{изг}$ ) и коэффициент морозостойкости. Определение прочности проводилось после нормального твердения образцов в течении 28 суток и водонасыщения образцов в течении 2 суток. Для приготовления цементогрунтовых образцов вода вводилась в количестве, обеспечивающим оптимальную влажность материала. Коэффициент морозостойкости цементогрунтовых образцов определялся как отношение прочности водонасыщенного образца к прочности укрепленных грунтов после попеременного замораживания-оттаивания. Из расчетных характеристик конструктивных слоев дорожных одежд рассмотрены следующие показатели: предела прочности на растяжение при изгибе ( $R_{изг}$ ), объемная плотность и модуль упругости. Призмная прочность и модуль упругости цементогрунтов определялась по ГОСТ 24452. Объемная плотность цементогрунтов исследовалась по ГОСТ 12730.1.

Конструирование и расчет дорожных одежд IV технической категории облегченного типа со слоями оснований из цементогрунтов выполнялось в соответствии с ГОСТ Р 58818 и ПНСТ 542.

## 3 Результаты и обсуждение

На рисунках 1, 2 и 3 показано, что модификация цементогрунтов изо-бутилтриэтоксисиланом в количестве от 0,15 до 0,75 %, октилтриэтоксисиланом – от 0,02 до 0,1 % и додецилтриэтоксисиланом – от 0,02 до 0,1 % приводит к повышению уровня следующих физико-механических показателей:  $R_{сж}$  на 34 %, 76 %, 83 %;  $R_{изг}$  на 90 %, 33 %, 131 %;  $K_{мор}$  на 35 %, 67 %, 76 % соответственно.

Оптимизация модифицированных цементогрунтов позволила получить марки по прочности М20, М40 и М60 и морозостойкости F10 и F15 в соответствии с ГОСТ23558. Модификация кремнийорганическими соединениями в исследуемом ряду обеспечивает повышение физико-механических свойств цементогрунтов при оптимальном количествах модификаторов: изо-бутилтриэтоксисилана – 0,3 %; октилтриэтоксисилана – 0,06 %; додецилтриэтоксисилана – 0,04 %.

Выявлено, что додецилтриэтоксисилан является наиболее эффективным модификатором с точки зрения повышения прочностных показателей и морозостойкости в цементогрунтах по сравнению с изо-бутилтриэтоксисиланом и октилтриэтоксисиланом. Повышение молекулярной массы алифатического радикала обеспечило повышение уровня физико-механических свойств при меньшем содержании модификаторов в составе укрепленных грунтов.

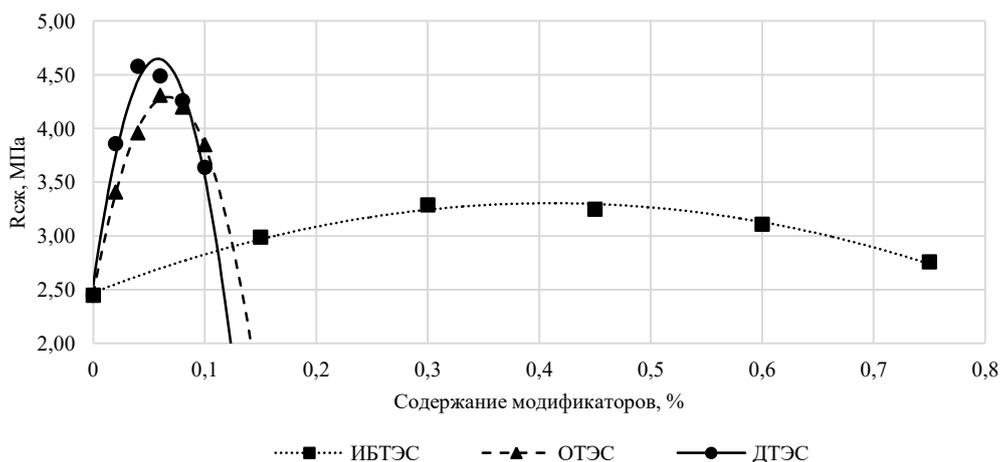


Рис. 1. Зависимость влияния кремнийорганических соединений на предел прочности при сжатии модифицированных цементогрунтов при содержании 10 % портландцемента (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Dependence of the influence of organosilicon compounds on the compression ultimate strength of modified soil-cement containing 10 % Portland cement (illustration by the authors)

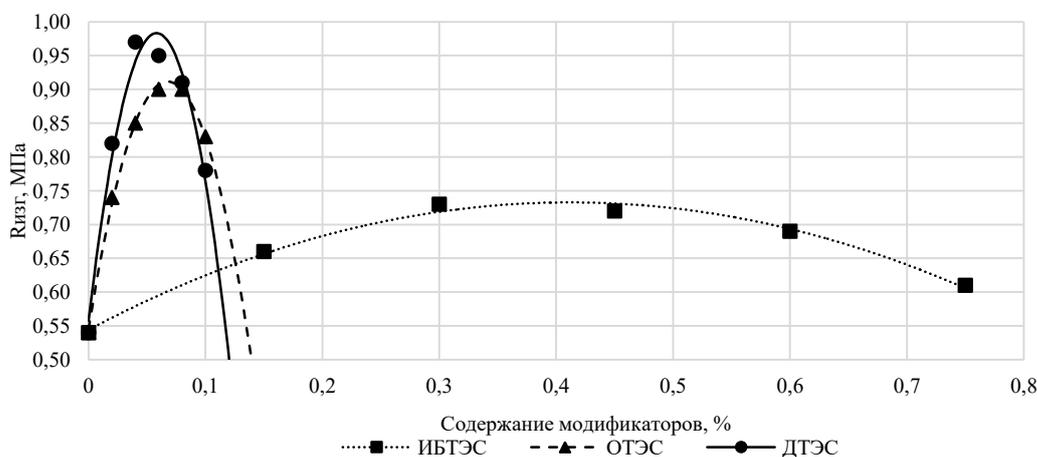


Рис. 2. Зависимость влияния кремнийорганических соединений на предел прочности на растяжение при изгибе модифицированных цементогрунтов при содержании 10 % портландцемента (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Dependence of the influence of organosilicon compounds on the tensile strength in bending of modified soil-cement containing 10 % Portland cement (illustration by the authors)

Определены расчетные характеристики модифицированного цементогрунта. Установлено, что модификация цементогрунтов додецилтриэтоксисиланом обеспечивает повышение модуля упругости: при 6 % портландцемента на 64 %; при 10 % – 53 %; при 14 % – 44 % (рис. 4). Модификация цементогрунта додецилтриэтоксисиланом незначительно снижает объемную плотность образцов (рис. 5). На наш взгляд, это связано с химической реакцией взаимодействия модификатора с поверхностью глинистых минералов и портландита, приводящей к образованию органоминеральных фаз и спирта. Спирт действует как воздухововлекающий агент, снижая поверхностное натяжение на границе «вода-воздух», приводя к дополнительному повышению морозостойкости [22].

Проведены расчет и конструирование трех вариантов дорожных одежд IV технической категории облегченного типа с низкой интенсивностью движения со слоями из цементогрунтов, модифицированных додецилтриэтоксисиланом. Исходными данными при расчете явились: дорожно-климатическая зона – III; подзона – 2; техническая категория автомобильной дороги – IV; регион проектирования – Республика Татарстан; тип конструкции дорожной одежды – облегченный; срок службы покрытия – 24 года; межремонтный срок покрытия – 12 лет; коэффициент надежности – 0,85; глубина

промерзания грунта – 160 см; грунт рабочего слоя – супесь легкая; требуемый модуль упругости – 250 МПа; нормативная статическая нагрузка на ось – 100 кН; диаметр штампа – 37,1 см; давление в шинах – 0,6 МПа.

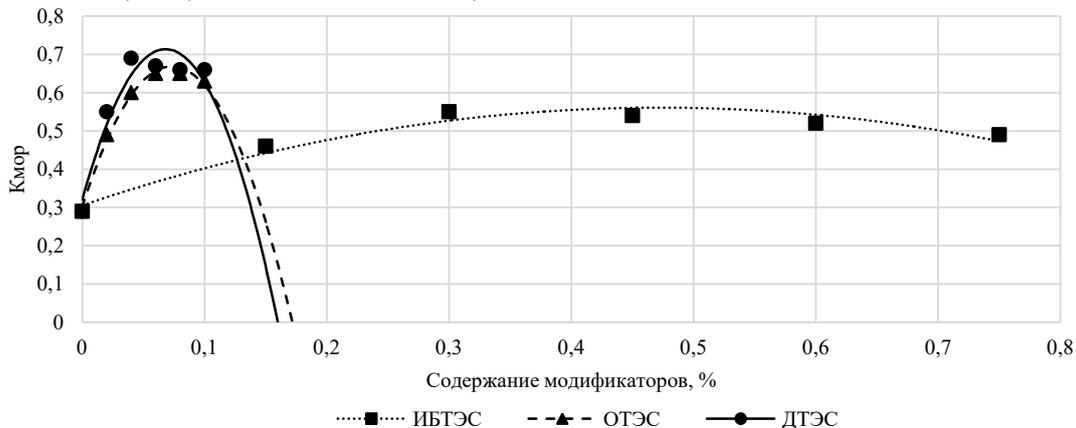


Рис. 3. Зависимость влияния кремнийорганических соединений на коэффициент морозостойкости модифицированных цементогрунтов при содержании 10 % портландцемента (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Dependence of the influence of organosilicon compounds on the freeze-thaw resistance coefficient of modified soil-cement containing 10 % Portland cement (illustration by the authors)

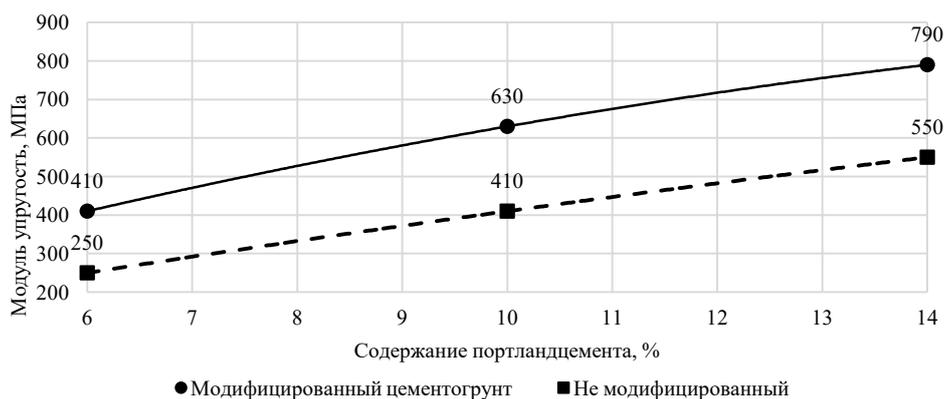


Рис. 4. Сравнительная зависимость модуля упругости цементогрунтов от содержания портландцемента (иллюстрация авторов)

Fig. 4. Comparative dependence of the elastic modulus of soil-cement on the content of Portland cement (illustration by the authors)

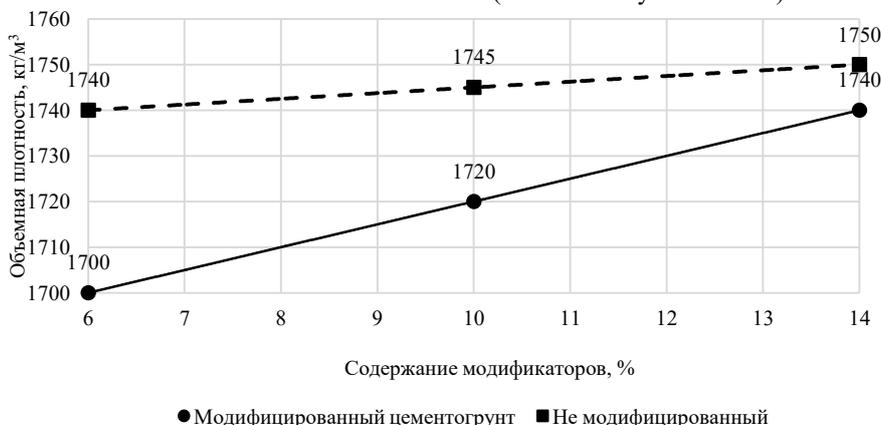


Рис. 5. Сравнительная зависимость объемной плотности цементогрунтов от содержания портландцемента (иллюстрация авторов)

Fig. 5. Comparative dependence of the bulk density of soil-cement on the content of Portland cement (illustration by the authors)

Проведены расчеты конструкций дорожных одежд по допускаемому упругому прогибу, по условию сдвигустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев, на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе, на морозостойкость и толщину дренирующего слоя. Результаты расчета представлены на рис. 6 и табл.

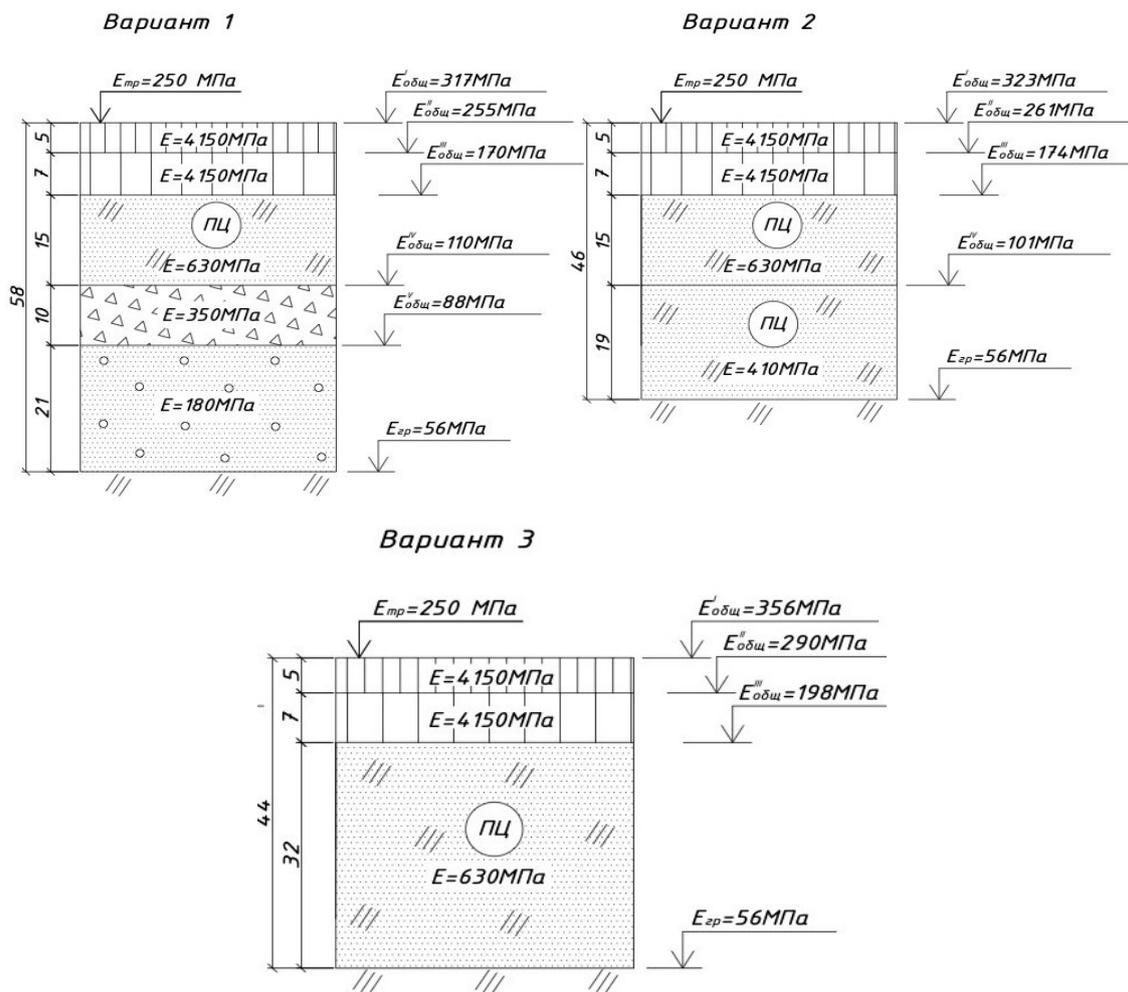


Рис. 6. Разработанные варианты конструкций дорожных одежд со слоями из модифицированных цементогрунтов (иллюстрация авторов)  
 Fig. 6. Developed options for road pavement designs with layers of modified soil-cement (illustration by the authors)

Полученные результаты конструирования и расчетов вариантов дорожных одежд со слоями из цементогрунтов, модифицированных кремнийорганическими соединениями с объемными алифатическими радикалами, показывают возможность повышения эффективности технологии укрепления грунтов, что соответствует научным подходам в исследованиях ученых [5, 8, 10]. Проводимые комплексные исследования по влиянию модификации кремнийорганическими соединениями с алифатическим радикалами повышенной молекулярной массы, в отличие от применяемых ранее кремнийорганических соединений с короткой углеводородной цепью [18, 19], будет способствовать расширению региональной сырьевой базы и продлению сроков службы автомобильных дорог.

## Варианты конструкций дорожных одежд

№ варианта	Наименование слоев конструкций дорожных одежд
1 вариант	1) Асфальтобетон А16Вн по ГОСТ Р 58406.2 на битуме марки БНД 70/100 по ГОСТ 33133 – 0,05 м; 2) Асфальтобетон А22Нн по ГОСТ Р 58406.2 на битуме марки БНД 70/100 по ГОСТ 33133 – 0,07 м; 3) Цементогрунт, модифицированный ДТЭС, соответствующий марке М40 по ГОСТ 23558 – 0,15 м; 4) Технологический слой из щебня М600 по ГОСТ 32703 – 0,10 м; 5) Песчано-гравийная смесь по ГОСТ 23735 – 0,21 м
2 вариант	1) Асфальтобетон А16Вн по ГОСТ Р 58406.2 на битуме марки БНД 70/100 по ГОСТ 33133 – 0,05 м; 2) Асфальтобетон А22Нн по ГОСТ Р 58406.2 на битуме марки БНД 70/100 по ГОСТ 33133 – 0,07 м; 3) Цементогрунт, модифицированный ДТЭС, соответствующий марке М40 по ГОСТ 23558 – 0,15 м; 4) Цементогрунт, модифицированный ДТЭС, соответствующий марке М20 по ГОСТ 23558 – 0,19 м
3 вариант	1) Асфальтобетон А16Вн по ГОСТ Р 58406.2 на битуме марки БНД 70/100 по ГОСТ 33133 – 0,05 м; 2) Асфальтобетон А22Нн по ГОСТ Р 58406.2 на битуме марки БНД 70/100 по ГОСТ 33133 – 0,07 м; 3) Цементогрунт, модифицированный ДТЭС, соответствующий марке М40 по ГОСТ 23558 – 0,32 м

## 4. Заключение

1. На основе выявленных зависимостей влияния кремнийорганических соединений с алифатическим радикалами повышенной молекулярной массы, способствующих росту уровней физико-механических и расчетных характеристик цементогрунтов, разработаны конструкции дорожных одежд IV технической категории облегченного типа со слоями из модифицированных укрепленных грунтов.

2. Установлено, что додецилтриэтоксисилан является наиболее эффективным модификатором с точки зрения повышения прочностных показателей и морозостойкости в цементогрунтах по сравнению с изо-бутилтриэтоксисиланом и октилтриэтоксисиланом. Повышение молекулярной массы алифатического радикала обеспечило повышение уровня физико-механических свойств при меньшем содержании модификаторов в составе укрепленных грунтов.

3. При оптимизации модифицированных цементогрунтов получены марки по прочности М20, М40 и М60 и морозостойкости F10 и F15. Модификация кремнийорганическими соединениями в исследуемом ряду обеспечивает повышение физико-механических свойств цементогрунтов при оптимальном количествах модификаторов: изо-бутилтриэтоксисилана – 0,3 %; октилтриэтоксисилана – 0,06 %; додецилтриэтоксисилана – 0,04 %.

4. Определены расчетные характеристики модифицированных цементогрунтов. Установлено, что модификация цементогрунтов додецилтриэтоксисиланом обеспечивает: повышение модуля упругости на 44-64 %; предела прочности на растяжение при изгибе на 33-131 %. Объемная плотность модифицированных цементогрунтов составила: 1700-1740 кг/м<sup>3</sup>.

5. Показана возможность проектирования конструкций дорожных одежд со слоями из цементогрунтов, модифицированных кремнийорганическими соединениями с объемными алифатическими радикалами, применение которых будет способствовать расширению региональной сырьевой базы и продлению сроков службы автомобильных дорог.

## Список литературы/References

1. Gupta S., Kumar S. A state-of-the-art review of the deep soil mixing technique for ground improvement. *Innovative Infrastructure Solutions*. 2022. No. 8. P. 129. DOI: 10.1007/s41062-023-01098-6.
2. Zolotukhin S.N., Andreev A.V., Volokitin V.P. Non-firing materials using clay soils. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. No. 962. P. 022030. DOI: 10.1088/1757-899X/962/2/022030.
3. Plyuta K. Determination of the percentage of lime in the strengthening of clay soils using pH. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. No. 667. P. 012079. DOI: 10.1088/1757-899X/667/1/012079.
4. Sasanian S. The behavior of cement stabilized clay at high water contents // A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. – Ontario: The School of Graduate and Postdoctoral Studies The University of Western Ontario. – London, 2011. – 82 p.
5. Kuyukov S., Testeshev A., Zhigailov A., Shmatok V. Evaluation of the effectiveness of the soil-cement with hydrophobized surface for road construction. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. No. 1614. P. 012007. DOI: 10.1088/1742-6596/1614/1/012007.
6. Shepelev I.I., Eskova E.N., Potapova S.O., Khizhnyak S.V., Bochkov N.N. Ecological aspects of technogenic material application in road construction technologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. No. 315. P. 052019. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052019.
7. Nguyen H.-S., Adachi Y., Kizuki T., Maeba H., Inazumi S. (2020) Integration of information and communication technology (ICT) into cement deep mixing method. *International Journal of GEOMATE*. 2020. No. 19(74). P. 194–200. DOI: 10.21660/2020.74.9329.
8. Chudinov S. Improving the physical and mechanical properties of fortified soil for road construction in the forest zone. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. No. 817(1). P. 012007. DOI: 10.1088/1757-899X/817/1/012007.
9. Berdov G.I., Mashkin N.A. Perspective directions in improvement of technology and construction materials based on mineral binders. *News of Universities. Construction*. 2015. No. 4. P. 45-56. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_23762428\\_81096322.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23762428_81096322.pdf).
10. Polyntsev E., Kvitko A. Using foam polyurethane sealers for strengthening of soils of a road bed of transport constructions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. No. 832(1). P. 012029. DOI: 10.1088/1757-899X/832/1/012029.
11. Chong S.H. Development of constitutive model for simulation of cemented soil. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2019. No. 37(5). P. 4635–4641. DOI: 10.1007/s10706-019-00903-3.
12. Cai Y., Xu L.R., Liu W.Z., Shang Y., Su N., Feng D. Field test study on the dynamic response of the cement-improved expansive soil subgrade of a heavy-haul railway. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2020. No. 128. P. 105878. DOI: 10.1016/j.soildyn.2019.105878.
13. Pinto V.R., Ikuma K. Effects of soil surface chemistry on adsorption and activity of urease from a crude protein extract: implications for biocementation applications. *Catalysts*. 2022. No. 12(2). P. 230. DOI: 10.3390/catal12020230.
14. Vdovin E., Bulanov P., Stroganov V., Mavliev L. Physical and mechanical characteristics of modified soil cement with polycarboxylate superplasticizers. *Proceedings of STCCE*. 2022. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2023. No. 291. P. 125-133. DOI: 10.1007/978-3-031-14623-7\_10.
15. Huang G., Lin H., Li J., Liu J. Inducing hydrophobicity in saline soils: A comparison of hydrophobic agents and mechanisms. *Powder Technology*. 2023. No. 424. P. 118475. DOI: 10.1016/j.powtec.2023.118475.
16. Roshan K., Choobbasti A., Soleimani K., Fakhrabadi A. The effect of adding polypropylene fibers on the freeze-thaw cycle durability of lignosulfonate stabilised

- clayey sand. Cold Regions Science and Technology. 2021. No. 193(3). P. 103418. DOI: 10.1016/j.coldregions.2021.103418.
17. Khuziakhmetova K., Abdrakhmanova L., Nizamov R. Polymer mixtures based on polyvinyl chloride for the production of construction materials // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 169. – P. 14-21. – DOI 10.1007/978-3-030-80103-8\_2. – EDN TDMAAU.
  18. Al-Kheetan M.J., Rahman M.M., Chamberlain D.A. Moisture evaluation of concrete pavement treated with hydrophobic surface impregnants. International Journal of Pavement Engineering. 2020. Vol. 21. 14. P. 1746-1754. DOI: 10.1080/10298436.2019.1567917.
  19. Roshan K., Choobbasti A., Soleimani K., Fakhrabadi A. The effect of adding polypropylene fibers on the freeze-thaw cycle durability of lignosulfonate stabilised clayey sand. Cold Regions Science and Technology. 2021. No. 193(3). P. 103418. DOI: 10.1016/j.coldregions.2021.103418.
  20. Vdovin, E.; Bulanov, P.; Stroganov, V.; Morozov, V. Construction of road pavements using complex modified soil-cement. 2023. Construction of Unique Buildings and Structures. No. 109. P. 10927. DOI: 10.4123/CUBS.109.27
  21. Vdovin, E.; Bulanov, P.; Stroganov, V.; Morozov, V. Complex modification of soil-cement for road pavements. 2023. Construction of Unique Buildings and Structures. No. 109. P. 10928. DOI: 10.4123/CUBS.109.28
  22. Вдовин Е.А., Строганов В.Ф., Мавлиев Л.Ф. Гидрофобизация цементогрунтов для дорожных одежд: модификация, структура, технология и применение: Монография / Е.А. Вдовин, В.Ф. Строганов, Л.Ф. Мавлиев. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2023. – 204 с. [Vdovin E.A., Stroganov V.F., Mavliev L.F. Hydrophobization of soil-cement for road pavements: modification, structure, technology and application: Monograph / E.A. Vdovin, V.F. Stroganov, L.F. Mavliev. - Kazan: KSUAE publishing house, 2023. - 204 с.]

#### Информация об авторах

**Вдовин Евгений Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: vdovin007@mail.ru

**Буланов Павел Ефимович**, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: pavel.bulanov1991@yandex.ru

**Строганов Виктор Федорович**, доктор химических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: svf08@mail.ru

#### Information about the authors

**Evgeniy A. Vdovin**, candidate of Engineering Sciences, assistant professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: vdovin007@mail.ru

**Pavel E. Bulanov**, candidate of Engineering Sciences, assistant professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: pavel.bulanov1991@yandex.ru

**Viktor F. Stroganov**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: svf08@mail.ru