

УДК 625.7:624.131.7+691.54(477.75)

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛИНИСТО-ИЗВЕСТКОВО-ЦЕМЕНТНОЙ СМЕСИ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА ОСНОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ (ПОЛУОСТРОВ КРЫМ)

Канд. техн. наук **А.Г. Алексеев**
(НИИОСП им. Н.М. Герсевича)

АО «НИЦ «Строительство»),

канд. геол.-минерал. наук **Д.М. Александрина**

(Московский государственный

университет имени М.В. Ломоносова),

инженер **Б.Е. Звездкин**

(АО «Конструкторско-технологическое
бюро бетона и железобетона»)

Контактная информация: adr-alekseev@yandex.ru;

aleksyutina@gmail.com;

zviozdkin@yandex.ru

В статье приведены результаты подбора оптимального состава грунтоцемента для использования в качестве основания автомобильной дороги на участке близ г. Феодосии. Добавление в местный глинистый грунт измельченного известняка-ракушечника также местного происхождения позволяет снизить пластичность грунта, а применение цемента – создать надежное основание автомобильной дороги.

Определение параметров грунтов, в том числе исследование гранулометрического состава и показателей пластичности проводилось по стандартным методикам. Выявлена линейная зависимость между показателями пластичности и количеством массовой доли глины в смеси. Лабораторные испытания показали, что добавление в глинистый грунт фракций крупнее пылеватых позволило снизить пластичность глины в несколько раз. Установлено, что прочность на сжатие смеси глины, ракушечника и цемента в пропорции 4,74:1,2:1 при твердении составила 6,7 МПа, что соответствует нормативным требованиям, предъявляемым к такому строительному материалу.

Ключевые слова: глинисто-известковая смесь, грунтоцемент, показатели пластичности, прочность на сжатие, полуостров Крым.

Введение

Строительство и реконструкция сети автомобильных дорог способствует развитию экономики, культуры, туристического бизнеса и

инфраструктуры отдаленных районов. В связи с обустройством полуострова Крым в настоящее время активно проводится модернизация дорожной сети. Выполнение качественного покрытия становится возможным лишь при устойчивом земляном полотне и основании. Строительство участка автомобильной дороги вблизи г. Феодосии (мыс Чауда) планируется выполнить из местных грунтов, но поскольку верхняя часть разреза представлена глинами, малопригодными для основания дороги, необходимо использовать смесь данного грунта и измельченного известняка (ракушечника) с дальнейшим укреплением вяжущими материалами.

Целью представленной в данной статье работы являлся подбор оптимального состава грунтоцемента (грунта, закрепленного путем его перемешивания с цементным раствором методом струйной цементации или глубинного перемешивания). В ходе экспериментальных исследований получено оптимальное число пластичности при добавлении минимального количества отсева дробления известняка – грунтоизвестняковая смесь (смесь грунта с отсевом известняка определенного состава, подготовленная для дальнейшего закрепления путем ее глубинного перемешивания с цементом) в соответствии с [1-3].

Природные особенности территории исследований

Участок проектируемой автомобильной дороги расположен вблизи п. Южное, в 30 км на восток от г. Феодосии (рис. 1). В целом полуостров Крым характеризуется несколькими ландшафтно-климатическими зонами со степным умеренно континентальным, горнолесным и субтропическим слабоконтинентальным климатом Южного берега [4]. По климатическому районированию для исследуемой территории характерен климат умеренно теплых степей с жарким и сухим летом [5], и по [6] относится к климатической зоне III Б. Анализ данных метеостанции, расположенной в Феодосии, показывает, что средняя зимняя температура воздуха редко опускается ниже 0 °С, лишь в отдельные дни достигая отрицательных значений [7]. Годовое количество осадков в среднем составляет 390 мм, наибольшее количество осадков выпадает в июне – до 20 % годового количества за день [5].

Территория исследований по тектоническим и орографическим особенностям относится к зоне сочленения Керченского полуострова и равнинного Крыма в пределах Юго-Западной равнины. В геологическом отношении с поверхности залегают нижне- и среднеплейстоценовые эолово-делювиальные отложения (vdQIII-IV), представленные лессовидными суглинками и глинами мощностью от 0,5 до 4 м [8]. Отложения

этого типа широко развиты на полуострове Крым как для области сочленения, так и для равнинной части Крыма севернее г. Симферополя. Под толщей четвертичных отложений повсеместно распространены майкопские отложения (N_1^{mk}), обнажающиеся в береговых обрывах Феодосийского залива [9] и представленные глинами, алевролитами и песками.



Рис. 1. Территория исследований на полуострове Крым

На исследуемой территории в результате инженерно-геологических изысканий было выделено три инженерно-геологических элемента, два из которых относятся к четвертичным отложениям, третий – к неогеновым. На север от изучаемой территории с поверхности залегают плиоценовые известняки-ракушечники, которые широко используются в строительных целях ввиду своей дешевизны и легкодоступности извлечения.

Лабораторные исследования грунтов

Основанием проектируемой автомобильной дороги является глинистый грунт, природный показатель пластичности которого составляет 20. В соответствии с табл. 11 [3], применение глинистого грунта с таким показателем пластичности не допускается. Согласно ГОСТ 23558-94 (п. 4.2.4), допускается применение глин с числом пластичности до 17 при условии улучшения зернового состава песком (природным или из отсевов дробления горных пород и шлака). В связи с этим специалистами НИИОСП им. Н.М. Герсевича проведены лабораторные испытания глины при добавлении минимального количества отсева дробления

известняка-ракушечника для получения оптимального числа пластичности по ГОСТ 8735-2014, ГОСТ 9758-96, ДСТУ БВ.2.7-27-95.

Методы и объект исследований

Объектом исследования являлись отсеvy от пиления известняка-ракушечника и глинистый грунт верхней части разреза, полученные непосредственно с места проектируемой дороги. Глубина отбора глинистого грунта составляла 1 м. Определение физических параметров грунтов, используемых в качестве основания дорожной одежды, включало исследования гранулометрического состава, показателей пластичности грунтов и грунтовых паст.

Исследование гранулометрического состава глинистого грунта и отсеvов от пиления известняка-ракушечника производилось общепринятыми ареометрическим и ситовым методами [10, 11]. Ареометрический метод использовался для определения содержания в грунте частиц диаметром менее 0,1 мм, ситовой анализ – крупнее 0,1 мм. При подготовке к определению гранулометрического состава глинистого грунта с целью диспергирования частиц выполняли кипячение суспензии с 25 % раствором аммиака в течение 3600 с.

Определение пределов пластичности осуществлялось по стандартным методикам [9], предполагающим удаление песчаных частиц размером более 1 мм. Исследование проводилось двумя-тремя циклами.

Результаты лабораторных исследований

Результаты лабораторных исследований характеристик глинистого грунта и крошки ракушечника представлены в **табл. 1**.

По классификации ГОСТ 33063-2014 [12], согласно числу пластичности, глинистый грунт является глиной легкой пылевой; гранулометрический состав измельченного известняка соответствует ракушечному песку средней крупности с преобладанием крупных песчаных частиц над другими фракциями.

При строительстве автомобильной дороги основным сдерживающим фактором использования местного глинистого грунта является изменение его физико-механических свойств в худшую сторону при увлажнении (чрезмерное водопоглощение, набухание, пластичность, а также зависящие от этих свойств прочностные показатели).

Прочностные характеристики грунтов зависят и определяются показателями пластичности, поэтому в ходе исследования была выполнена оценка влияния процентного содержания глинистого грунта на показатели пластичности полученной смеси (**рис. 2**).

Таблица 1

Гранулометрический состав отдельных грунтов

<i>Наименование грунта</i>	<i>Стратиграфический индекс</i>	<i>Число пластичности, Ip, %</i>	<i>Гигроскопическая влажность, %</i>	<i>Гранулометрический состав грунтов (% частиц, мм)</i>										
				<i>>10</i>	<i>10-5</i>	<i>5-2</i>	<i>2-1</i>	<i>1-0,5</i>	<i>0,5-0,25</i>	<i>0,25-0,1</i>	<i>0,1-0,05</i>	<i>0,05-0,01</i>	<i>0,01-0,002</i>	<i><0,002</i>
<i>Глина</i>	vdQIII-IV	20	3,2	0	0	0	0	0,2	0,2	0,5	3,6	28,2	19,0	48,3
<i>Известняк</i>	N ₁ ¹ mk	<1	0,3	0	0	0,3	6,8	27,3	17,1	16,3	12,1	6,5	9,0	4,6

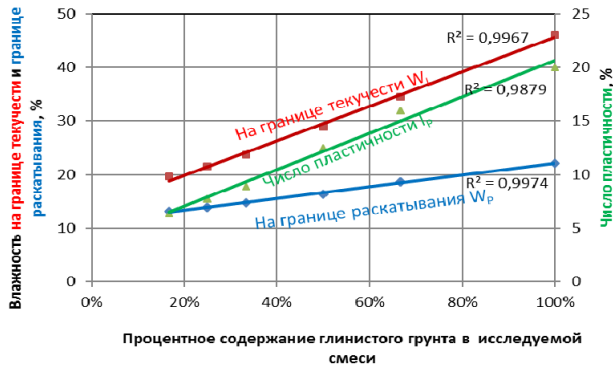


Рис. 2. Влияние содержания глинистого грунта (в % от общей массы смеси) на показатели пластичности исследуемой смеси

По обобщенным полученным результатам была выявлена линейная зависимость между показателями пластичности и количеством массовой доли глины в смеси. Из **рис. 2** видно, что наибольшее влияние содержание глины в смеси оказывает на число пластичности, а наименьшее – на влажность на границе раскатывания.

В связи с изложенным выше, авторами была оценена изменчивость гранулометрического состава полученной смеси и выявлено влияние этого состава на показатели пластичности. На **рис. 3** представлены зависимости показателей пластичности от суммарного содержания различных фракций в смеси (вычисленные расчетным путем).

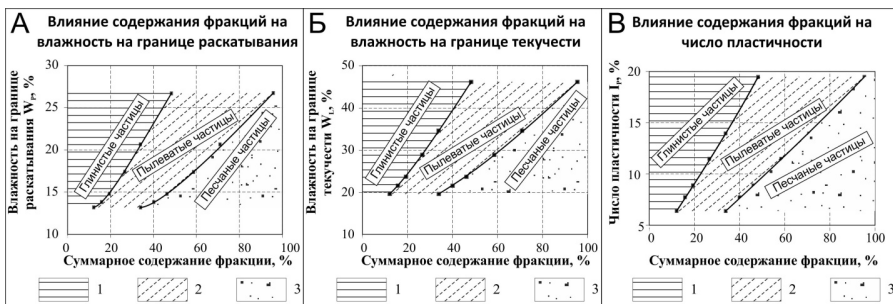


Рис. 3. Влияние суммарного содержания различных фракций на показатели пластичности грунтов:

- А – влажность на границе раскатывания;*
- Б – влажность на границе текучести; В – число пластичности;*
- 1 – суммарное содержание глинистой фракции;*
- 2 – суммарное содержание пылеватой фракции;*
- 3 – суммарное содержание песчаной фракции*

Из результатов испытаний следует, что при увеличении количества глинистых частиц от 12 до 48 % и пылевой фракции от 22 до 47 % влажность нижнего предела пластичности увеличивается в 2 раза (**рис. 3, А**), влажность верхнего предела пластичности увеличивается в 2,3 раза (**рис. 3, Б**). Из **рис. 3** видно, что большее влияние суммарного содержания глинистых и пылевых частиц на верхний и нижний пределы пластичности проявляется при преобладании данных фракций над песчаной. Наблюдается линейная зависимость числа пластичности от суммарного содержания пылевой и глинистой фракции, при этом число пластичности возрастает в 3 раза в исследуемом диапазоне (**рис. 3, В**).

Изучение показателей пластичности позволило рассчитать, а затем приготовить серию замесов с максимальным и минимальным количеством вяжущего. Ниже приведен состав, принятый при производстве работ на объекте строительства, со следующим соотношением компонентов, по массе расходных материалов: цемент – 13,5 кг (14,4 %), глина – 64 кг (68,5 %), смесь отсевов от пиления известняка-ракушечника – 16 кг (17,1 %), вода – 2,5 л.

Для приготовления смеси использовался портландцемент: ЦЕМ I 42,5Н (ГОСТ 31108-2003, производства ОАО «НОВОРОСЦЕМНТ»), со следующими характеристиками: истинная плотность – 3,1 г/см³; нормальная густота цементного теста – 25,2 %; начало схватывания через 2 ч 20 мин.; конец схватывания – 4 ч 05 мин. Из полученной смеси было приготовлено по шесть образцов, которые трамбовали на лабораторном компрессоре с механическим приводом до нагрузки уплотнения, равной 15 МПа. Хранение образцов производилось в ванне с гидравлическим затвором в течение 28 сут. [13-15].

Результаты испытания контрольных образцов по прочности на сжатие приведены в **табл. 2**. Полученные исследования показали, что смесь глины, ракушечника и цемента в пропорции 4,74:1,2:1 при твердении соответствует прочности на сжатие 6,7 МПа. Укрепленный грунт по прочности на сжатие соответствует марке М60. Данное значение соответствует нормативным требованиям [1, 2, 4], предъявляемым к прочности оснований автомобильных дорог. Таким образом, смесь данного состава может использоваться в качестве основания автомобильной дороги.

Таблица 2

Значения контрольных образцов смеси по прочности на сжатие

Маркировка	Возраст кубиков-образцов, сут.	Масса образца, гр.	Размеры, см	Сред. плотность бетона, г/дм ³	Прочность при сжатии, МПа	Сред. прочность при сжатии, МПа	Сред. прочность на растяжение при изгибе, МПа	Сред. прочность на осевое растяжение, МПа	Сред. прочность на растяжение при раскалывании, МПа
М60	28	1913	10x10x10	1918	6,8	6,7	0,804	0,469	0,536
		1920	10x10x10		6,5				
		1921	10x10x10		6,6				

Примечание: результаты прочности на растяжение при изгибе, осевое растяжение, растяжение при раскалывании получены с помощью масштабных коэффициентов (табл. Л.1 [14]).

ВЫВОДЫ

1. Использование малопригодных пластичных глинистых грунтов в качестве основания автомобильной дороги допускается при условии использовании добавок, снижающих их пластичность.
2. В результате исследований установлено, что при уменьшении количества глинистых частиц от 48 до 12 % и пылеватой фракции от 47 до 22 % влажность нижнего предела пластичности уменьшается в 2 раза, верхнего предела – в 2,3 раза. Значительное влияние суммарного содержания глинистых и пылеватых частиц на верхний и нижний пределы пластичности проявляется при преобладании глинистой фракции над песчаной. Наблюдается линейная зависимость числа пластичности от суммарного содержания пылеватой и глинистой фракций, число пластичности возрастает в 3 раза в исследуемом диапазоне.
3. Выявлено, что добавление в глинистый грунт фракций крупнее пылеватых позволит снизить пластичность глины в несколько раз. При добавлении в глинистый грунт измельченного известняка-ракушечника обеспечивается снижение пластичности грунта, а при применении цемента – создание надежного основания автомобильной дороги.
4. Согласно результатам выполненных исследований, можно рассчитать производственный состав смеси укрепленных грунтов на 1 м³: цемент – 270 кг, глина легкая, твердая – 1280 кг, смесь отсевов от пиления известняка-ракушечника – 320 кг, вода – 50 кг.
5. Установлено, что смесь цемента, ракушечника и глины в пропорции 1:1,2:4,74 при твердении соответствует нормативному значению прочности на сжатие 6,7 МПа, принятому для оснований автомобильных дорог. Исходя из этого, материал данного состава может использоваться в качестве основания автомобильной дороги.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 78.13330.2012. *Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85. – Введ. 2013-07-01. – Электрон. данные. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095529> (дата обращения 29-03-2018).*
2. СП 121.13330.2012. *Аэродромы. Актуализированная редакция СНиП 32-03-96. – Введ. 2013-01-01. – Электрон. данные. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095543> (дата обращения 29-03-2018).*

3. *Пособие по строительству покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов из грунтов укрепленных вяжущими материалами, к СНиП 3.06.03-85 и СНиП 3.06.06-88.* – М.: СоюзДорНИИ, 1990. – 46 с. – Электрон. данные. – URL: <http://stroytenders.ru/docs/1/2/115/document.pdf> (дата обращения 29-03-2018).
4. *Багрова Л.А. География Крыма / Л.А. Багрова, В.А. Боков, Н.В. Багров.* – Киев: Лыбидь, 2001. – 304 с.
5. *Бабков И.И. Климат: природа Крыма / И.И. Бабков.* – Симферополь: Крым, 1964. – 64 с.
6. *СП 131.13330.2012. Строительная климатология.* – Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* (с Изменением № 2). – Введ. 2013-01-01. – Электрон. данные. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (дата обращения: 08.05.18).
7. *Мировая погода.* – Электрон. данные. – URL: <http://en.tutienpo.net/climate/ws-339760.html> (дата обращения: 18.05.16).
8. *Карта четвертичных отложений: L-(36),(37). Государственная геологическая карта СССР (Симферополь) / ред. П.Н. Сторчак.* – 1:1 000 000 / М.: ФГУП «ВСЕГЕИ», 1983.
9. *Носовский М.Ф. Майкопские отложения зоны сочленения Равнинного Крыма и Керченского полуострова / М.Ф. Носовский // Геологический журнал.* – 1993. – № 6. – С. 88-96.
10. *ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава.* – Введ. 2015-07-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 22 с.
11. *Лабораторные работы по грунтоведению: учеб. пособие / Под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева.* – М.: Высшая школа, 2008. – 519 с.
12. *ГОСТ 33063-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Классификация типов местности и грунтов.* – Введ. 2015-12-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 54 с.
13. *ГОСТ 5180-2005. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.* – Введ. 2005-10-01. – М.: Стандартинформ, 2005. – 18 с.
14. *ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.* – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 35 с.
15. *ГОСТ 23558-94 с изменениями №№ 1, 2. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия.* – Введ. 1995-01-01. – М.: МНТКС, 2005. – 12 с.

LITERATURA

1. SP 78.13330.2012. *Avtomobil'nye dorogi. Aktualizirovannaja redakcija SNIp 3.06.03-85.* – Vved. 2013-07-01. – *Jelektron. dannye.* – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095529> (data obrashhenija 29-03-2018).
2. SP 121.13330.2012. *Ajerodromy. Aktualizirovannaja redakcija SNIp 32-03-96.* – Vved. 2013-01-01. – *Jelektron. dannye.* – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095543> (data obrashhenija 29-03-2018).
3. *Posobie po stroitel'stvu pokrytij i osnovanij avtomobil'nyh dorog i ajerodromov iz gruntov ukreplennyh vjzhushhimi materialami, k SNIp 3.06.03-85 i SNIp 3.06.06-88.* – M.: SojuzDorNII, 1990. – 46 s. – *Jelektron. dannye.* – URL: <http://stroytenders.ru/docs/1/2/115/document.pdf> (data obrashhenija 29-03-2018).
4. *Bagrova L.A. Geografija Kryma / L.A. Bagrova, V.A. Bokov, N.V. Bagrov.* – Kiev: Lybid', 2001. – 304 s.
5. *Babkov I.I. Klimat: priroda Kryma / I.I. Babkov.* – Simferopol': Krym, 1964. – 64 s.
6. SP 131.13330.2012. *Stroitel'naja klimatologija.* – Aktualizirovannaja redakcija SNIp 23-01-99* (s Izmenenijem # 2). – Vved. 2013-01-01. – *Jelektron. dannye.* – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546> (data obrashhenija: 08.05.18).
7. *Mirovaja pogoda.* – *Jelektron. dannye.* – URL: <http://en.tutiempo.net/climate/ws-339760.html> (data obrashhenija: 18.05.16).
8. *Karta chetvertichnyh otlozhenij: L-(36),(37). Gosudarstvennaja geologicheskaja karta SSSR (Simferopol') / red. P.N. Storchak.* – 1:1 000 000 / M.: FGUP «VSEGEI», 1983.
9. *Nosovskij M.F. Majkopskie otlozhenija zony sochlenenija Ravninnogo Kryma i Kerchenskogo poluoostrova / M.F. Nosovskij // Geologicheskij zhurnal.* – 1993. – # 6. – S. 88-96.
10. *GOST 12536-2014. Grunty. Metody laboratornogo opredelenija granulometricheskogo (zernovogo) i mikroagregatnogo sostava.* – Vved. 2015-07-01. – M.: Standartinform, 2015. – 22 s.
11. *Laboratornye raboty po gruntovedeniju: ucheb. posobie / Pod red. V.T. Trofimova, V.A. Koroleva.* – M.: Vysshaja shkola, 2008. – 519 s.
12. *GOST 33063-2014. Dorogi avtomobil'nye obshhego pol'zovanija. Klassifikacija tipov mestnosti i gruntov.* – Vved. 2015-12-01. – M.: Standartinform, 2016. – 54 s.
13. *GOST 5180-2005. Grunty. Metody laboratornogo opredelenija fizicheskikh harakteristik.* – Vved. 2005-10-01. – M.: Standartinform, 2005. – 18 s.
14. *GOST 10180-2012. Betony. Metody opredelenija prochnosti po kontrol'nym obrazcam.* – Vved. 2013-07-01. – M.: Standartinform, 2013. – 35 s.
15. *GOST 23558-94 s izmenenijami ## 1, 2. Smesi shhebenochno-gravijno-peschanye i grunty, obrabotannye neorganicheskim vjzhushhimi materialami, dlja dorozhnogo i ajerodromnogo stroitel'stva. Tehnicheskie uslovija.* – Vved. 1995-01-01. – M.: MNTKS, 2005. – 12 s.

**THE USE OF CEMENT-STABILIZED CLAY-LIMESTONE
MIXTURE AS ROAD BASE MATERIAL (CRIMEAN PENINSULA)**

Ph. D. (Tech.) A.G. Alekseev
(Research Institute of Bases
and Underground Structures (NIIOSP)
named after N. M. Gersevanov,
Research Center of Construction),
Ph. D. (Geol. & Miner.) D.M. Aleksyutina
(Lomonosov Moscow State University),
Engineer B.E. Zvezdkin
(JSC «Design – Technological
Bureau of Concrete
and Reinforced Concrete»)
Contact information: adr-alekseev@yandex.ru;
aleksyutina@gmail.com;
zviozdkin@yandex.ru

The paper discusses the results of optimal cement-stabilized soil composition design for use as road base material on road section near Feodosia city. The addition of local crushed shelly limestone in clay soil of also local nature would reduce soil plasticity, and the use of cement helps to construct a reliable road base.

The determination of soil parameters, including gradation and plasticity was carried out according to normative methods. A linear relationship between the plasticity indexes and the mass content of clay in the mixture is revealed. Laboratory tests showed that the addition of fractions larger than silt ones to the soil helped to reduce the plasticity of clay in several times. It was found that the compression strength of mixture of clay, limestone and cement in proportions of 4.74:1.2:1 was of the order of 6.7 MPa, which corresponded to the normative requirements for such construction material.

Key words: *clay-limestone mixture, cement-stabilized soil, plasticity indexes, compressive strength, Crimean Peninsula.*

Рецензент: канд. техн. наук А.П. Фомин (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 21.02.2018 г.