

**НЕОБХОДИМОСТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ПО ПОДБОРУ СОСТАВОВ ГРУНТОВ,
УКРЕПЛЕННЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИМ ВЯЖУЩИМ**

Канд. техн. наук, доцент **Н.А. Слободчикова**,
магистрант **К.В. Плюта**
(Иркутский национальный
исследовательский технический
университет)
Контактная информация: kv_plyuta@mail.ru;
8(904)1480883;
8(902)5771417

Статья касается применения в конструктивных слоях дорожной одежды грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими, что способствует снижению стоимости строительства автомобильных дорог. Отмечается необходимость совершенствования нормативной документации, регламентирующей применение укрепленных грунтов в Российской Федерации, и которая не содержит четких рекомендаций по применению укрепленных грунтов.

Ключевые слова: грунт, укрепленный грунт, дорожные одежды, неорганические вяжущие, автомобильные дороги.

Строительство автомобильных дорог сопряжено со значительными транспортными затратами на перевозку высокопрочных каменных материалов, так как количество месторождений горных пород, пригодных для производства этих материалов, на территории Российской Федерации ограничено. Использование в конструкциях автомобильных дорог грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими, взамен высокопрочных каменных материалов позволяет значительно снизить стоимость строительства, реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог [1, 2]. Для практического применения укрепленных грунтов необходимо наличие четких рекомендаций по подбору состава укрепленных грунтов и методов лабораторных испытаний. В разных странах методики подбора составов грунтов, укрепленных неорганическим вяжущим, и лабораторных испытаний имеют ряд отличий.

***Методика подбора составов укрепленных грунтов,
принятая в Российской Федерации***

В Российской Федерации применение грунтов, укрепленных не-

органическими вяжущими, регламентируется ГОСТ 23558-94 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия (с Изменениями № 1, 2)» [3]. Данным документом устанавливаются требования к грунтам, неорганическим вяжущим, а также грунтам, укрепленным неорганическим вяжущим.

Согласно п.4.5 ГОСТ 23558-94, при подборе состава устанавливают необходимое количество вяжущего, обеспечивающее получение обработанных материалов и укрепленных грунтов с заданными марками по прочности и морозостойкости. Определение прочности и морозостойкости выполняется на образцах, изготавливаемых методом прессования или с использованием прибора стандартного уплотнения СоюздорНИИ. При этом ГОСТ 23558-94 не содержит информацию о первоначальном ориентировочном количестве неорганического вяжущего. Поэтому количество составов укрепленного грунта с различным процентным содержанием вяжущего может быть неограниченным.

Согласно п.4.5 ГОСТ 23558-94, расход воды, при подборе состава, устанавливают из расчета получения максимальной плотности смеси при оптимальной влажности. В свою очередь, значение оптимальной влажности определяется в зависимости от максимальной плотности, что вероятно не совсем корректно, так как значение оптимальной влажности, полученное при стандартном уплотнении, может быть заниженным, из-за высокой водопотребности гидратации химических соединений неорганического вяжущего.

Так, например, при разработке неорганического вяжущего на основе фторгипса [4] установлено, что для гидратации вяжущего необходимо 73 % воды. Максимальная плотность грунта, укрепленного вяжущим на основе фторгипса, достигается уже при 20 % содержании воды, что, свою очередь, не может гарантировать достаточного ее количества для полной гидратации самого вяжущего.

В частности, негашеная известь требует для гашения 30-80 % воды от своего веса, и это значение может быть увеличено из-за потерь воды от испарения за счет высокой температуры гидратации.

Величина оптимальной влажности известково-грунтовой смеси может быть увеличена по формуле И. В. Егорова [5]:

$$W_{\text{см}}^{\circ} = W_{\text{гр}}^{\circ} + 2 + 0,2Д ,$$

где

$W_{\text{см}}^{\circ}$ – оптимальная влажность известково-грунтовой смеси;

$W_{\text{гр}}^{\circ}$ – оптимальная влажность грунта;

$Д$ – дозировка извести.

Кроме того, определение максимальной плотности и оптималь-

ной влажности методом стандартного уплотнения является очень продолжительным во времени. В процессе проведения испытания часть воды может химически связываться и, как следствие, значение оптимальной влажности может быть заниженным.

Определение прочности и морозостойкости в соответствии с требованиями ГОСТ 23558-94 является очень трудоемким процессом, так как требует изготовления большого количества образцов. Для определения прочности на сжатие в промежуточном возрасте – 7 и 28 сут., а также проектном – 90 сут., необходимо изготовление 18 образцов для одного подбора одного разрабатываемого состава. Для определения морозостойкости, при требуемой марке F50, необходимо минимум 36 образцов для одного подбора одного разрабатываемого состава.

Методики подбора составов укрепленных грунтов, принятые в странах Европы и США

Обобщая зарубежный опыт, можно сделать вывод, что в основе всех методик лежит ориентировочное значение количества вяжущего (табл. 1), которое корректируется путем определения качественных характеристик образцов укрепленных грунтов.

Таблица 1

Ориентировочное количество неорганического вяжущего в составе укрепленного грунта

<i>Тип неорганического вяжущего</i>	<i>Количество неорганического вяжущего от массы грунта, %</i>					
	<i>США, штат Индиана [6]</i>	<i>Страны Европы [7]</i>	<i>США, штат Вашингтон [8]</i>	<i>США, штат Иллинойс [9]</i>	<i>США [10]</i>	<i>Швеция [11]</i>
<i>Известь</i>	4-7	2-8			2-4	6-10
<i>Цемент</i>	4-6	5-20	5-9	3-5		
<i>Зола уноса</i>	10-16	8-20				

К качественным характеристикам относятся:

- мгновенный показатель несущей способности, *IBI* (англ. Immediate Bearing Index), который отражает набор прочности образцов грунта, укрепленного известью, в 90-минутном возрасте, %.
- калифорнийский показатель несущей способности, *CBR_{SP}* (англ. California bearing ratio) – набор прочности *CBR*, образцов, уплот-

ненных в соответствии с методом Проктора [1, 2], и подвергнутых водонасыщению в течение 4 сут.;

- отношение:

$$\frac{CBR_{SP}}{IBI} \geq 1,0;$$

- набухание, G_v , которое определяется после 168 ч выдерживания в воде при 40 °С;
- морозостойкость, UCS (англ. Unconfined compressive strength – предел прочности при одноосном сжатии), определяемая как прочность на сжатие после требуемого количества циклов замораживания-оттаивания, МПа.
- водостойкость, I , которая определяется как:

$$I = \frac{UCS_{(28+32i)}}{UCS_{(60)}} \geq 0,8,$$

где

$UCS_{(28 + 32i)}$ – прочность на сжатие цилиндрических образцов, которые после нормального твердения в возрасте 28 сут. были подвергнуты водонасыщению в течение 32 сут. (при 20 ± 2 °С);

$UCS_{(60)}$ – прочность на сжатие цилиндрических образцов нормального твердения в возрасте 60 сут.

Особый интерес представляет интерес методика *Eades&Grim*, изложенная в стандарте ASTM D6276 [6, 12, 13]. Данная методика предназначена для определения качественных характеристик грунтоизвестковой смеси, в соответствии с которой минимальное количество извести – это то значение, при котором pH грунтоизвестковой смеси будет соответствовать значению 12,40.

Качество грунтоизвестковой смеси оценивается следующими показателями:

- прочностью на сжатие образцов после 7 сут. твердения на воздухе при температуре 40 °С и 24-часового капиллярного замачивания;
- набуханием, G_v .

Продолжительность подбора составов укрепленных грунтов в соответствии с зарубежными методиками значительно меньше продолжительности подбора составов укрепленных грунтов в соответствии с методикой ГОСТ 23558-94, так как требует изготовления меньшего количества образцов.

ВЫВОДЫ

Учитывая изложенное выше, можно заключить следующее:

1. В нормативных документах РФ не содержится четких рекомендаций по подбору составов укрепленных грунтов.

2. Определение оптимального количества вяжущего при помощи методики стандартного уплотнения является трудоемким и продолжительным по времени методом.
3. Методики, принятые в странах Европы и США, позволяют определить минимальное количество вяжущего на основе рН и являются более предпочтительными, так как позволяют уменьшить трудоемкость работ при подборе состава.
4. Требуется совершенствование отечественных нормативных документов в области укрепления грунтов известью с учетом опыта других стран.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безрук В.М. Укрепленные грунты (Свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве) / В.М. Безрук, И.Л. Гурячков, Т.М. Луканина, Р.А. Агапова. – М.: Транспорт, 1982. – 231 с.
2. Рудых А.В. Обзор нормативной документации в области проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений на автомобильных дорогах / А.В. Рудых, К.Н. Пуценко // Молодежный вестник ИрГТУ. – 2015. – №2. – 6 с.
3. ГОСТ 23558-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия (с Изменениями № 1, 2). – М.: Стандартинформ, 2008. – 10 с.
4. Лофлер М. Получение неорганического вяжущего на основе отходов промышленного производства / М. Лофлер, К.В. Плюта., Н.А. Слободчикова // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость: научный журнал. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2017. – Т. 7. – № 2. – С. 62-67.
5. Подольский Вл.П. О возможности расширения ресурсной базы дорожного строительства за счет стабилизации и укрепления грунтов / В.П. Подольский, Нгуен Ван Лонг, Нгуен Дык Ши // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. – 2014. – № 1 (33). – С. 102-111.
6. Design Procedures for Soil Modification or Stabilization / Production Division. Office of Geotechnical Engineering. 120 South Shortridge Road Indianapolis, Indiana 46219. – January 2008. –13 P.
7. Методы стабилизации грунтов различными материалами [Электронный ресурс]. – URL: <https://theconstructor.org/geotechnical/soil-stabilization-methods-and-materials/9439/> (дата обращения: 14.12.2017).
8. Field Manual. No. 5-410 / Headquarters Department of the Army Washington, DC, 23. – December 1992. – Change 1, 4 June 1997. – 344 P.
9. Halsted G.E. Guide to Cement-Modified Soil (CMS) / G.E. Halsted, W.S. Adaska, W.T. McConnell / EB242 Portland Cement Association. – Skokie, Illinois, USA. – 2008. – 20 P.

10. *Lime-treated soil construction manual lime stabilization & lime modification / Published by National Lime Association. The Versatile Chimikal. – January 2004. – Bul. 326. – 41 P.*
11. *Makusa G.P. State of the Art Review Soil Stabilization Methods and Materials in Engineering Practice. Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering / Division of Mining and Geotechnical Engineering. Luleå University of Technology. Luleå, Sweden. – 2012. – 35 P.*
12. *ASTM (2000b) Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lb/ft). Designation D698 / Annual Book of ASTM Standards. – ASTM American Society for Testing and Materials. – West Conshohocken, PA, US.*
13. *ASTM (2006) Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization. Designation ASTM D6276 / Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA, US.*

L I T E R A T U R A

1. *Bezruk V.M. Ukreplennye grunty (Svoystva i primenenie v dorozhnom i ajerodromnom stroitel'stve) / V.M. Bezruk, I.L. Gurjachkov, T.M. Lukanina, R.A. Agapova. – M.: Transport, 1982. – 231 s.*
2. *Rudyh A.V. Obzor normativnoj dokumentacii v oblasti proektirovaniya, stroitel'stva i jekspluatacii inzhenernyh sooruzhenij na avtomobil'nyh dorogah / A.V. Rudyh, K.N. Pucenko // Molodezhnyj vestnik IrGTU. – 2015. – # 2. – 6 s.*
3. *GOST 23558-94. Smesi shhebenochnogravnopeschanye i grunty, obrabotannye neorganichesкими vjashushhimi materialami, dlja dorozhnogo i ajerodromnogo stroitel'stva. Tehnicheskie uslovija (s Izmenenijami # 1, 2). – M.: Standartinform, 2008. – 10 s.*
4. *Lofler M. Poluchenie neorganicheskogo vjashushhego na osnove othodov promyshlennogo proizvodstva / M. Lofler, K.V. Pljuta., N.A. Slobodchikova // Izvestija vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost': nauchnyj zhurnal. – Irkutsk: izd-vo IrGTU, 2017. – T. 7. – # 2. – S. 62-67.*
5. *Podol'skij V.P. O vozmozhnosti rasshirenija resursnoj bazy dorozhnogo stroitel'stva za schet stabilizacii i ukreplenija gruntov / V.P. Podol'skij, Nguen Van Long, Nguen Dyk Shi // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2014. – # 1 (33). – S. 102-111.*
6. *Design Procedures for Soil Modification or Stabilization / Production Division. Office of Geotechnical Engineering. 120 South Shortridge Road Indianapolis, Indiana 46219. – January 2008. – 13 P.*
7. *Metody stabilizacii gruntov razlichnymi materialami [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://theconstructor.org/geotechnical/soil-stabilization-methods-and-materials/9439/> (data obrashhenija: 14.12.2017).*
8. *Field Manual. No. 5-410 / Headquarters Department of the Army Washington, DC, 23. – December 1992. – Change 1, 4 June 1997. – 344 R.*

9. Halsted G.E. *Guide to Cement-Modified Soil (CMS)* / G.E. Halsted, W.S. Adaska, W.T. McConnell / EB242 Portland Cement Association. – Skokie, Illinois, USA. – 2008. – 20 P.
10. *Lime-treated soil construction manual lime stabilization & lime modification* / Published by National Lime Association. *The Versatile Chimikal*. – January 2004. – Bul. 326. – 41 P.
11. Makusa G.P. *State of the Art Review Soil Stabilization Methods and Materials in Engineering Practice*. Department of Civil, Environmental and Natural resources engineering / Division of Mining and Geotechnical Engineering. Luleå University of Technology. Luleå, Sweden. – 2012. – 35 P.
12. ASTM (2000b) *Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lb/ft)*. Designation D698 / *Annual Book of ASTM Standards*. – ASTM American Society for Testing and Materials. – West Conshohocken, PA, US.
13. ASTM (2006) *Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization*. Designation ASTM D6276 / *Annual Book of ASTM Standards*. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA, US.

.....

**NECESSITY FOR IMPROVING
REGULATORY BASE FOR SELECTING SOIL COMPOSITIONS
STABILIZED BY INORGANIC BINDERS**

*Ph. D. (Tech.) N.A. Slobodchikova,
Master's Degree Student K.V. Plyuta
(Irkutsk National Research Technical University)
Contact information: kv_plyuta@mail.ru;
8(904)1480883;
8(902)5771417*

The article deals with the using soils stabilized by inorganic binders at road pavement construction layers that contributes to reducing road construction costs. The necessity of improvement of normative documentation regulating the use of stabilized soils in the Russian Federation and that does not contain clearly defined recommendations on the use of stabilized soils is revealed.

Key words: *soil, stabilized soil, road pavements, inorganic binders, roads.*

Рецензент: д-р техн. наук, профессор А.В. Руденский (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 02.04.2018 г.