

УДК 691.333: 692.5

## ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОБЕТОНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА СМЕСИ

САВИЦКИЙ Н. В.<sup>1</sup>, *д.т.н, проф.*,  
 ЕЛИСЕЕВА М. А.<sup>2</sup>, *к.т.н.*,  
 КУЗЬМИН Г.И.<sup>3</sup>, *асп.*,  
 НОВИЧЕНКО Н.В.<sup>4</sup>, *соискатель*,  
 БАРДАХ А.Е.<sup>5</sup>, *соискатель*,  
 ЕВСЕЕВ Е.О.<sup>6</sup>, *асп.*

<sup>1</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2</sup> Кафедра реконструкции и управления в строительстве, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (096) 377 01 36, e-mail: [SMU.TGO@yandex.ua](mailto:SMU.TGO@yandex.ua), ORCID ID: 0000-0003-4474-3255

<sup>3</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (050) 867-30-32, e-mail: [kuzminhi@gmail.com](mailto:kuzminhi@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5073-7778

<sup>4</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [nad-novichenko@yandex.ua](mailto:nad-novichenko@yandex.ua) ORCID ID: 0000-0001-8383-2619

<sup>5</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина

<sup>6</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина

**Аннотация.** *Цель.* Подбор рационального состава грунтобетонных, для получения максимальной механической прочности. *Методика.* Для достижения поставленной цели определялись основные физические свойства глинистых грунтов в соответствии с ДСТУ Б В.2.1-17:2009 и проводились испытания прочности при сжатии грунтобетона различного состава и способа приготовления в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-224:2009 и ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Кроме того, определялась средняя плотность полученных образцов грунтобетона по методике ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Подбор состава осуществлялся путем различных сочетаний исходных материалов грунтобетонной смеси. За рациональный состав грунтобетона принят тот, образцы которого показывают самые высокие значения прочности при сжатии. *Результаты.* Установлено, что исследованный глинистый грунт имеет число пластичности в пределах 8,8-11,4 и относится к разновидности суглинков. Среди исследованных составов грунтобетона наиболее высокое значение плотности наблюдается у образцов, имеющих самое высокое содержание воды, а также у образцов, приготовленных по двухстадийной технологии: первоначальное перемешивание компонентов смеси в смесителе-активаторе и их последующая обработка в смесителе принудительного действия. Наиболее высокую раннюю прочность в 7-суточном возрасте ( $f_{7\text{сут}}=1,34$  МПа) имеют образцы грунтобетона с добавлением речного песка, смеси, которых приготавливались в смесителе принудительного действия. Грунтобетонные смеси, приготовленные по двухстадийной технологии по сравнению со смесями, перемешиваемыми лишь в смесителе принудительного действия, при одинаковом расходе воды имеют более высокую степень удобоукладываемости. Первые смеси являются пластичными, вторые – сверхжесткими, малосвязными. *Научная новизна.* Получили дальнейшее развитие представления о грунтобетоне и влиянии состава смесей на его прочностные показатели. *Практическая значимость.* Определены основные физические свойства применяемых глинистых грунтов и значения характеристик плотности и прочности при сжатии грунтобетона различного состава и способа приготовления. Намечены пути повышения прочности материала.

**Ключевые слова:** глинистые грунты; состав грунтобетона; средняя плотность грунтобетона; прочность грунтобетона

## МІЦНІСТЬ ГРУНТОБЕТОНІВ ЗАЛЕЖНО ВІД СКЛАДУ СУМІШІ

САВИЦЬКИЙ М. В.<sup>1</sup>, *д.т.н, проф.*,  
 ЄЛІСЄЄВА М. О.<sup>2</sup>, *к.т.н.*,  
 КУЗЬМІН Г.І.<sup>3</sup>, *асп.*,  
 НОВІЧЕНКО Н.В.<sup>4</sup>, *пошукувач*,  
 БАРДАХ О.Ю.<sup>5</sup>, *пошукувач*,  
 ЄВСЄЄВ Є.О.<sup>6</sup>, *асп.*

<sup>1</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2</sup> Кафедра реконструкції та управління в будівництві, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (096) 377 01 36, e-mail: [SMU.TGO@yandex.ua](mailto:SMU.TGO@yandex.ua), ORCID ID: 0000-0003-4474-3255

<sup>3</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (050) 867-30-32, e-mail: [kuzminhi@gmail.com](mailto:kuzminhi@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5073-7778

<sup>4</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [nad-novichenko@yandex.ua](mailto:nad-novichenko@yandex.ua) ORCID ID: 0000-0001-8383-2619

<sup>5</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна

<sup>6</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина

**Анотація. Мета.** Підбір раціонального складу ґрунтобетонів, для отримання максимальної механічної міцності. **Методика.** Для досягнення поставленої мети визначалися основні фізичні властивості глинистих ґрунтів відповідно до ДСТУ Б В.2.1-17: 2009 та проводилися випробування міцності при стисненні ґрунтобетонів різного складу і способу приготування відповідно до ДСТУ Б В.2.7-224: 2009 та ДСТУ Б В.2.7-214: 2009 Крім того, визначалася середня щільність отриманих зразків ґрунтобетонів за методикою ДСТУ Б В.2.7-170: 2008. Підбір складу здійснювався шляхом різних сполучень вихідних матеріалів ґрунтобетонних сумішей. За раціональний склад ґрунтобетонів прийнятий той, зразки якого показують найвищі значення міцності при стисненні. **Результати.** Встановлено, що досліджений глинистий ґрунт має число пластичності в межах 8,8-11,4 і відноситься до різновиду суглинків. Серед досліджених складів ґрунтобетонних найбільш високе значення густини спостерігається у зразків, що мають найвищий вміст води, а також у зразків, які приготовлені за двохстадійною технологією: початкове перемішування компонентів суміші в змішувачі-активаторі і їх подальша обробка в змішувачі примусової дії. Найбільш високу міцність в 7-добовому віці мають зразки ґрунтобетонів з додаванням річкового піску, суміші, яких готують у змішувачах примусової дії. Ґрунтобетонні суміші, які приготовлені за двохстадійною технологією в порівнянні із сумішами, що перемішуються лише в змішувачі примусової дії, при однаковій витраті води мають більш високу ступінь легкоукладальності Перші суміші є пластичними, другі - наджорсткими, малозв'язними. **Наукова новизна.** Отримали подальший розвиток уявлення про ґрунтобетон і вплив складу сумішей на його міцнісні показники. **Практична значимість.** Визначено основні фізичні властивості застосовуваних глинистих ґрунтів і значення характеристик густини і міцності при стисненні ґрунтобетону різного складу і способу приготування. Намічено шляхи підвищення міцності матеріалу.

**Ключові слова:** глинисті ґрунти; склад ґрунтобетону; середня густина ґрунтобетону; міцність ґрунтобетону

## STRENGTH OF SOIL-CONCRETE DEPENDING ON THE COMPOSITION MIXTURE

SAVYTSKYI M. V. <sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

YELISIEIEVA M. O. <sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*,

KUZMIN H. I. <sup>3</sup>, *P. G.*,

NOVICHENKO N.V. <sup>4</sup>, *applicant*,

BARDAH A.E. <sup>5</sup>, *applicant*,

EVSEEV E.O. <sup>6</sup>, *P. G.*,

<sup>1</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskiy Str., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2</sup> Department of Reconstruction and Management in Construction, State Higher Educational Establishment «Prydneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», Chernyshevskiy, St., 24-a, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49600, tel. +38 (096) 377 01 36, e-mail [SMU.TGO@yandex.ua](mailto:SMU.TGO@yandex.ua), ORCID ID: 0000-0003-4474-3255

<sup>3</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskiy Str., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (050) 867-30-32, e-mail: [kuzminhi@gmail.com](mailto:kuzminhi@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5073-7778

<sup>4</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskiy Str., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [nad-novichenko@yandex.ua](mailto:nad-novichenko@yandex.ua) ORCID ID: 0000-0001-8383-2619

<sup>5</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskiy Str., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine

<sup>6</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment «Pridneprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskiy Str., 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine

**Abstract. Purpose.** Selection of rational mix of soil-concretes, which will provide the necessary mechanical strength of the soil-concrete. **Methodology.** The basic physical properties of clay soils were defined in according to DSTU B.V. 2.1-17:2009 also compressive strength test of soil-concrete different compositions and methods of preparation were determined in according to DSTU B.V.2.7-224:2009 and DSTU B.V.2.7-214:2009. Mean density of soil-concrete samples were determined in according to DSTU B.V. 2.7-170:2008. Selection of composite was carried out by way of combination of initial materials of soil-concrete mixture. Sample which will show the highest value of compressive strength will be selected like a sample with rational soil-concrete composition. **Findings.** Was determined, that used clay soil was clay loam which had index of plasticity within the limits of 8,8-11,4. The biggest value of density was observed in samples which had the biggest water content and in samples which were created by two-stage technology: initial stirring of the mixture components and their subsequent processing in forced mixer. The biggest 7-day compressive strength had samples with addition of river sand, they mixtures were created by forced mixer. Soil-concrete mixtures which were created by two-stage technology had higher level of castability in comparison with mixtures which were created by one-stage technology with the same water content. The first mixtures were plastic, the second were ultra hard and lowly cohesive. **Originality.** We have got an idea about soil-concrete and influence of composition of mixtures on the strength properties. **Practical value.** The basic physical properties of the used clay soils and characteristics of density and compressive strength of soil-concrete cube samples with different compositions and methods of preparation were determined.

**Keywords:** clay soils; soil-concrete mix, average density of soil-concrete; strength of soil-concrete

### Введение

С каждым годом, все острее становится проблема снижения материалоемкости в строительной индустрии, уменьшения объема транспортных перевозок сырья и изделий на место строительства, повышения энергоэффективности и экологичности возводимых зданий, отвечающих требованиям комфорта жилых помещений. Строительство объектов различного назначения из местных грунтовых материалов позволяет решить вышеперечисленные вопросы. Так, в результате отрывки котлованов при устройстве фундаментов зданий скапливается значительное количество насыпей из грунтовых, преимущественно глинистых или песчаных материалов, возникает необходимость их вывоза за пределы места строительства, на другие территории. В то время как, эти материалы могут стать ценным сырьем для производства изделий, необходимых при возведении сооружаемых зданий.

Перспективным строительным материалом из грунтов является грунтобетон – безобжиговый водостойкий материал с небольшим количеством вяжущего вещества и при необходимости введения различных добавок. К достоинствам данного материала следует отнести экономию энергоресурсов во время их эксплуатации в зданиях и сооружениях. По данным [9], по теплотехническим свойствам глиносырцовый кирпич значительно превосходит бетон, автоклавный кирпич и даже обожженный глинистый (керамический) кирпич. Это позволяет уменьшить толщину возводимых из него стен зданий при обеспечении требуемого коэффициента термического сопротивления конструкции, что, в свою очередь, снижает материалоемкость строительного производства. Также, давно известно [9; 11], что в домах, построенных из грунтовых строительных материалов, устанавливается наиболее благоприятный для здоровья человека микроклимат, так как эти материалы способны регулировать влажность воздуха в помещении. К недостаткам строительных материалов, из грунтов следует

отнести неоднородность химического, минералогического и гранулометрического составов сырья, что требует проведения лабораторных исследований основных свойств используемого грунта и корректировки рецептурного состава в каждом отдельном случае. Также сдерживающим фактором повсеместного широкого использования этих материалов и изделий является их низкая водо- и морозостойкость, недостаточная механическая прочность, а, следовательно, не продолжительная долговечность.

Ученые по-разному решают вышеперечисленные проблемы. Так, в Индии [12] ученые рекомендуют вводить в состав грунтобетона волокнистые материалы. Для дорожного покрытия они предлагают грунтоцементоволокнистую смесь, состоящую из латеритного грунта, 3 % цемента и 0,6 % от массы грунта природного сельскохозяйственного отхода – кокосового волокна пальмы катеху. Исследователями выявлено, что этот состав смеси значительно увеличивает значение предела прочности при сжатии: с 288 кПа без добавки волокна до 502 кПа с 0,6 % волокна на 3 сутки твердения и с 386 кПа до 600 кПа соответственно на 28 суток твердения). В работах [13; 14] вопрос повышения прочности грунтобетона решают путем применения методов интенсивного силового уплотнения их смесей. Так, в [14] благодаря динамическому уплотнению грунтобетонной смеси, содержащей 5 % цемента от массы грунта, 6-10 % воды от массы твердых материалов из нее удалось получить грунтобетон с 7-дневной прочностью при сжатии в 3-5 МПа. Величина ударной силы составляла 30 кН, что является эквивалентным 400 кН гидравлического пресса. При этом применяемый грунт должен содержать 60 % песчаных частиц и 15 % глинистых. Авторами установлены оптимальные режимы работы ударной установки: приемлемые параметры ударной массы, высоты падения и количества необходимых ударов.

### Цель

Подбор рационального состава грунтобетонов, который бы обеспечивал получение требуемой механической прочности грунтобетона.

### Методика

Для достижения поставленной цели определялись основные физические свойства глинистых грунтов в соответствии с ДСТУ Б В.2.1-17:2009 в лаборатории кафедры оснований и фундаментов ГВУЗ ПГАСиА и проводились испытания образцов-кубов грунтобетона различного состава и способа приготовления на предел прочности при сжатии в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-224:2009 и ДСТУ Б В.2.7-214:2009 в лаборатории кафедры железобетонных и каменных конструкций ГВУЗ ПГАСиА. Кроме того, определялась средняя плотность полученных образцов грунтобетона по методике ДСТУ Б В.2.7-170:2008.

Подбор состава осуществлялся путем различных сочетаний (в весовом выражении) исходных материалов грунтобетонной смеси. За рациональный состав грунтобетона принят тот, образцы которого показывают самые высокие значения прочности при сжатии. Методика приготовления образцов грунтобетона подробно рассмотрена в основной части работы.

### Результаты

На начальном этапе исследований был поставлен вопрос определения рациональных составов грунтобетонов с позиции их прочностных характеристик.

В качестве сырьевых компонентов для приготовления грунтобетонной смеси использовались следующие материалы:

- глинистый грунт, отобранный с глубины 2-3 м в с. Новоалександровка Днепропетровской области;
- портландцемент М-400 производства Криворожского цементного завода ПАО «ХайдельбергЦемент Украина»;
- песок днепропетровский, очищенный от ракушек и прочих загрязняющих примесей;
- вода техническая.

Для глинистых грунтов, применяемых в качестве сырья при производстве строительных материалов, изделий и конструкций одним из основных показателей их качества является число пластичности. Оно характеризуется способностью глинистого грунта во влажном состоянии под действием внешних сил формоваться без образования трещин и разрывов и сохранять приобретенную форму после снятия этих сил. Исследования ряда авторов [1; 2; 10], показывают, что чем ниже число пластичности грунта, тем выше прочность получаемого из него грунтобетона. С повышением числа этого показателя требуется повышать расход цемента и тем неоднороднее получается приготавливаемая грунтобетонная смесь.

В соответствии с ДСТУ Б В.2.1-17:2009 [4] были проведены исследования основных физических свойств грунтов, результаты которых сведены в табл. 1 и представлены на рис. 1.

Таблица 1

### Основные физические свойства исследуемых глинистых грунтов / The basic physical properties of investigated clay soils

№ п/п	Название характеристики	Единицы измерения	Номер пробы отобранного грунта	
			1	2
1	Естественная влажность	%	9,95	10
2	Влажность на границе текучести	%	29,78	29,6
3	Влажность на границе раскатывания	%	18,38	20,77
4	Число пластичности	–	11,4	8,8
5	Показатель текучести	–	-0,79	-1,22
6	Консистенция	–	твердая	твердая

Согласно ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95) [5] глинистые грунты с числом пластичности, находящимся в пределах  $I_p=7-17$  относятся к разновидности суглинков. Анализ литературных источников [1; 3; 10] показывает, что данный вид грунтов благоприятнее всего укреплять цементами в количестве 8-14 % при оптимальной влажности к массе цементогрунта 14-20 % в зависимости от необходимой прочности грунтобетона.

Изначально при приготовлении грунтобетонных смесей, ввиду наличия крупных глинистых комков, было решено просеивать грунт через сито с диаметром отверстий ячеек 5 мм и доизмельчать катками вручную (в табл. 2 состав № 1). Затем из-за высокого расхода воды и получения неудовлетворительных технологических свойств приготовленной смеси (ее высокой жесткости) пробы грунта просеивались только через сито с диаметром отверстий 10 мм. За оптимальное содержание цемента было принято 10 % от массы грунта.

Все сухие компоненты смеси загружались в смеситель принудительного действия и перемешивались в течение 1 мин, затем постепенно в течении 45 с добавлялось необходимое количество воды затворения и смесь обрабатывалась на протяжении 3-4 мин. Общая продолжительность перемешивания всех компонентов грунтобетонной смеси в данной установке составляла 4-5 мин.



*Рис. 1. Определение влажности глинистого грунта на границе текучести при помощи балансного конуса / Determination clay soil moisture on the border of liquid limit by means of balancing cone*

Кроме того, грунтобетонная смесь приготавливалась в высокоскоростном смесителе-активаторе роторного типа следующим образом (в табл. 2, состав № 2): глинистый грунт и цемент послойно в два приема загружались в емкость аппарата, включалась установка и постепенно в течение 20 с добавлялось 25 % воды от рассчитанного количества воды затворения. Всего время обработки смеси составляло 25-35 с. Далее смесь выгружалась в подготовленную емкость смесителя принудительного действия, где она домешивалась с оставшимся количеством воды затворения в течение 3 мин. Активированная грунтобетонная смесь разогревалась до температуры 40-43 °С. Это происходит вследствие действия больших скоростей обработки и за счет трения материалов различного размера и плотности. Скорость вращения ротора смесителя-активатора составляла 12 м/с.

Условия уплотнения и твердения образцов в обоих случаях приготовления смеси были аналогичными. Из смесей изготавливались образцы – кубы размером 7,07×7,07×7,07 см для определения прочности бетона при сжатии. Формы кубы заполнялись, приготовленной бетонной смесью, в два слоя одинаковой высоты. Каждый слой штыковался металлическим стержнем 6-10 раз. Затем заполненные с избытком грунтобетонной смесью формы устанавливались на стандартную лабораторную виброплощадку и уплотнялись с пригрузом в продолжение 25-30 с. После виброуплотнения бетонной смеси в форме ее избыток срезался кельмой вровень с верхними краями формы, а поверхность смеси заглаживалась.

Твердение образцов осуществлялось в нормальных условиях (естественное твердение). В течение трех-пяти суток образцы выдерживались в формах, затем распалубливались и помещались в камеру нормального твердения на оставшиеся сроки твердения, где обеспечивались следующие условия: температура (20 ± 3) °С и относительная влажность воздуха не менее 95 %. Поскольку действующих нормативных документов по контролю прочности и

проведению испытаний образцов грунтобетонов нет, то за основу были взяты требования ДСТУ Б В.2.7-224:2009 и ДСТУ Б В.2.7-214:2009 [7; 8].

Через 28 суток, а для некоторых составов грунтобетона и через 7 суток естественного твердения образцы извлекались из камеры нормального твердения и в течение 4 часов испытывались на прочность при сжатии на гидравлическом прессе марки УММ-20 (рис. 2). Кроме того, определялась средняя плотность образцов грунтобетона по методике, описанной в ДСТУ Б В.2.7-170:2008 [6].



*Рис. 2. Испытание образца грунтобетона на прочность при сжатии на гидравлическом прессе УММ-20 / Compressive strength test of soil-concrete sample by means of hydraulic press*

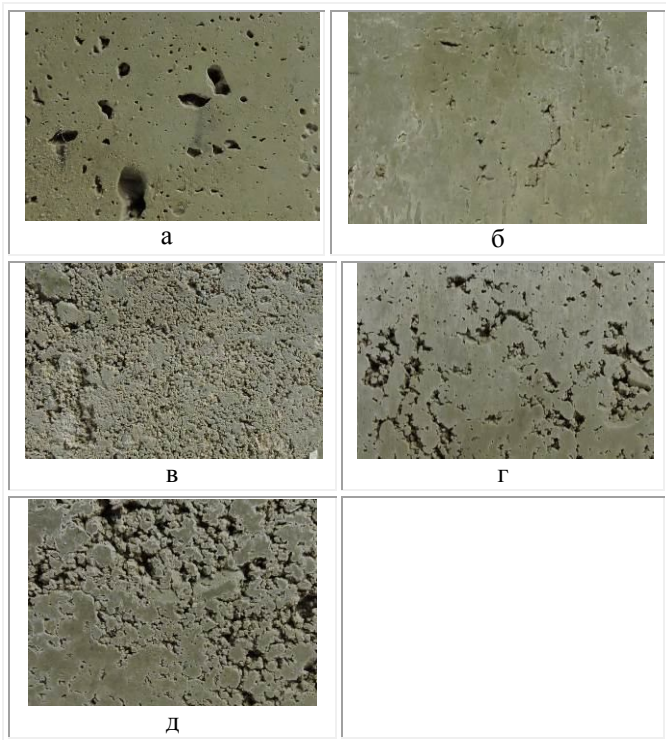
Результаты проведенных исследований представлены в табл. 2 и на рис. 3.

Как видно из рис. 3, на поверхности образцов грунтобетонов имеются отдельные раковины и каверны, что может свидетельствовать о недостаточном уплотнении смеси. Следовательно, в дальнейшем рекомендуется увеличить время виброобработки или изменить способ уплотнения на другой. Наиболее высокое значение плотности грунтобетона наблюдается у образцов, имеющих самое высокое содержание воды, а также у образцов, приготовленных по двухстадийной технологии: первоначальное перемешивание компонентов смеси в смесителе-активаторе и их последующая обработка в смесителе принудительного действия. Это вызвано доизмельчением глинистого грунта и более плотной упаковкой твердой фазы активированной смеси. В начальные сроки твердения плотность грунтобетона выше, а с течением времени она понижается (табл.2, состав № 2). Это связано, в первую очередь, с уменьшением первоначальной влажности грунтобетона в процессе его твердения и гидратации



вяжущего. К 28 суткам плотность грунтобетона приобретает стабильность и в дальнейшем практически не изменяется.

Наиболее высокую раннюю прочность в 7-суточном возрасте ( $f_{7 \text{ сут}}=1,34$  МПа) имеют образцы грунтобетона с добавлением речного песка, смеси, которых приготавливались в смесителе принудительного действия. Так, ранняя прочность образцов грунтобетона состава № 5 на 17,5 % выше по сравнению с образцами материала из состава № 3 и на 7,2 % состава № 2 (табл.2). Это может свидетельствовать о более благоприятном прохождении процесса гидратации цемента при его взаимодействии с песком и получении состава новообразований грунтобетона, способствующего повышению прочности материала, а также об увеличении адгезии компонентов смеси между собой ввиду шероховатости зерен песка.



*Рис. 3. Макроструктура поверхности образцов грунтобетонных различного состава после твердения в естественных условиях:*

*а) состав №1; б) состав № 2; в) состав № 3; г) состав № 4; д) состав №5 / Macrostructure of soil-concrete samples surface with different mixes after curing in natural conditions:*

*a) mix №1; b) mix №2; c) mix №3; d) mix №4; e) mix №5*

Грунтобетонные смеси, приготовленные по двухстадийной технологии по сравнению со смесями, перемешиваемыми лишь в смесителе принудительного действия, при одинаковом расходе воды имеют более высокую степень

удобоукладываемости. Первые смеси являются пластичными, вторые – сверхжесткими, малосвязными. Объяснением этого может быть то, что в активаторе сухие компоненты смеси доизмельчаются, характеризуются более высокой дисперсностью, вследствие чего приобретают пластифицирующий эффект.

Для образцов грунтобетона состава № 2 (двухстадийная технология перемешивания) устанавливалась характеристика их водостойкости, при помощи определения коэффициента размягчения материала. Для этого образцы грунтобетона водонасыщались в ванне с водой до приобретения ими постоянной массы. Рассчитанный коэффициент размягчения  $K_p$  составляет 0,77. Следовательно, данный материал не следует использовать в местах с повышенной влажностью для которых рекомендуемый  $K_p > 0,8$ . Исследования физико-механических свойств грунтобетонных составов еще продолжают и будут отображены в последующих работах.

#### Научная новизна и практическая значимость

Получили дальнейшее развитие представления о грунтобетоне и влиянии состава смесей на его прочностные показатели.

Практическая значимость. Определены основные физические свойства применяемых глинистых грунтов и значения характеристик плотности и прочности при сжатии образцов-кубов грунтобетона различного состава и способа приготовления. Намечены пути повышения прочности материала.

#### Выводы

1. Установлено, что применяемый глинистый грунт имеет число пластичности в пределах 8,8-11,4 и относится к разновидности суглинков.

2. Среди исследованных составов грунтобетона наиболее высокое значение плотности наблюдается у образцов, имеющих самое высокое содержание воды, а также у образцов, приготовленных по двухстадийной технологии: первоначальное перемешивание компонентов смеси в смесителе-активаторе и их последующая обработка в смесителе принудительного действия.

3. Наиболее высокую раннюю прочность в 7-суточном возрасте ( $f_{7 \text{ сут}}=1,34$  МПа) имеют образцы грунтобетона с добавлением речного песка, смеси, которых приготавливались в смесителе принудительного действия.

4. Более высокую степень удобоукладываемости при одинаковом расходе воды имеют грунтобетонные смеси, приготовленные по двухстадийной технологии, чем смеси, перемешиваемые лишь в смесителе принудительного действия.

Таблица 2

**Составы и основные физико-механические свойства грунтобетонов / Concrete mix and basic physical and mechanical properties of soil-concretes**

№ состава	Содержание исходных компонентов в грунтобетонной смеси, масс. %				Консистенция грунтобетонной смеси	Прочность образцов-кубов грунтобетона при сжатии, МПа в возрасте		Средняя плотность образцов грунтобетона, кг/м <sup>3</sup> в возрасте	
	глинистый грунт	цемент	песок	вода		7 суток	28 суток	7 суток	28 суток
1	70	10	–	20	жесткая	–	2,78	–	1915,7
2	76	10	–	14	пластичная	1,25	2,4	1908,3	1877
3	76	10	–	14	сверхжесткая	1,14	–	1687,7	–
4	72	10	–	18	жесткая	–	–	–	–
5	57	10	15	18	жесткая	1,34	–	1762,7	–

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ/ REFERENCES**

1. Гришина, В. А. Грунтобетон с микроармирующими минеральными и органическими добавками для строительства сельских дорог и сооружений: дис. ... кандидата техн. наук : 05.23.05/ Гришина Виктория Александровна. – Новосибирск, 2010. – 193 с.

Grishina V. A. Soil-concrete with micro reinforcing mineral and organic additions for construction of rural roads and structure: dis. ... candidate of tech. sciences : 05.23.05/ Grishina Viktoriya Aleksandrovna. – Novosibirsk, 2010. – 193 p.

2. Засорин, М. С. Исследование влияния физико-механических свойств глинистых грунтов на прочностные свойства грунтобетонов / М. С. Засорин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – Вып. 5. – С. 245-253.

Zasorin M.S. Issledovaniye vliyaniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv glinistykh gruntov na prochnostnyye svoystva gruntobetonov [Research of influence of the physical-mechanical properties of the clay soils on the strength properties of the soil-concretes]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten* [Mining informational and analytical bulletin], 2011, issue 5, pp. 245-253.

3. Галузеві будівельні норми України ГБН В. 2.3. – 37641918-554:2013. Автомобільні дороги. Шари дорожнього одягу з кам'яних матеріалів, відходів промисловості і ґрунтів, укріплених цементом. Проектування та будівництво. – На заміну ВБН В.2.3-218-002-95 ; надано чинності 2013-11-01. – Київ : Державне агентство автомобільних доріг України (Укравтодор), 2013. – 43 с.

*HBN V. 2.3. – 37641918 – 554:2013. Avtomobilni dorohy. Shary dorozhnoho odiahu z kamianykh materialiv, vidkhodiv*

*promyslovosti i gruntiv, ukriplenykh tsementom. Proektuvannia ta budivnytstvo.* [Sectoral construction standards 2.3. – 37641918–554–2013. Motor roads. Road pavement layers of stone materials, industrial waste and soils reinforced with cement. Designing and construction]. Kyiv, Derzhavne ahentstvo avtomobilnykh dorih Ukrainy (Ukravtodor) Publ., 2013. 43 p.

4. Державний стандарт України ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. – Зі скасуванням ГОСТ 5180-84 ; надано чинності 2009-12-22. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 32 с.

*DSTU B.V. 2.1-17:2009. Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia fizychnykh vlastyvostei.* [State Standard 2.1-17-2009. Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Laboratory methods for determination of physical characteristics]. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2010. 32 p.

5. Державний стандарт України ДСТУ Б В. 2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95). Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація. – На заміну ГОСТ 25100-82 ; надано чинності 1996-11-01. – Київ : Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 47 с.

*DSTU B.V. 2.1-2-96 (HOST 25100-95). Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Klasyfikatsiia.* [State Standard 2.1-2-96. Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Classification]. Kyiv, Derzhavnyi komitet Ukrainy u spravakh mistobuduvannia i arkhitektury Publ., 1997. 47 p.

6. Державний стандарт України ДСТУ Б В. 2.7-170:2008. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. – Зі скасуванням ГОСТ 12730.1-78 ; надано чинності 2009-07-01. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 38 с.

*DSTU B.V. 2.7-170:2008. Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia serednoi hustyny, volohosti, vodopohlynannia, porystosti i vodonepronyknosti.* [State Standard 2.7-170-2008. Building materials. Concretes. Methods of determination of middle density, moisture content, water absorptions porosity and watertightness]. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2008. 38 p.

7. Державний стандарт України ДСТУ Б В. 2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками - Зі скасуванням ГОСТ 10180-90 ; надано чинності 2009-12-22. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 43 с.

*DSTU B.V. 2.7-214:2009. Budivelni materialy. Betony. Metody vyznachennia mitsnosti za kontrolnymy zrazkamy.* [State Standard 2.7-214-2009. Building materials. Concretes. Methods for strength determination using reference specimens]. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2010. 43 p.

8. Державний стандарт України ДСТУ Б В. 2.7-224:2009. Будівельні матеріали. Бетони правила контролю міцності. - Зі скасуванням ГОСТ 18105-86 ; надано чинності 2009-12-22. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 23 с.

*DSTU B.V. 2.7-224:2009. Budivelni materialy. Betony pravyla kontroliu mitsnosti.* [State Standard 2.7-224-2009. Building materials. Concretes. Rules for the strength control]. Kyiv, Minrehionbud Ukrainy Publ., 2010. 23 p.

9. Минке, Г. Глинобетон и его применение / Г. Минке. – Калининград: Янтарный сказ, 2004. – 232 с.

Minke G. Glinobeton i yego primeneniye [The clay-containing concrete and its application]. Kaliningrad, Yantarnyy skaz Publ., 2004. 232 p.

10. Укрепленные грунты. (Свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве) / В. М. Безрук, И. Л. Гурячков, Т. М. Луканина, Р. А. Агапова. – Москва : Транспорт, 1982. – 231 с.

Bezruk V.M., Guryachkov I.L., Lukanina T.M., Agapova R.A. *Ukreplennyye grunty. (Svoystva i primeneniye v dorozhnom i aerodromnom stroitelstve)* [Stabilized soils. (Properties and application in the road and airfield construction)]. – Moscow, Transport Publ., 1982. 231 p.

11. Berge, B. The ecology of building materials / B. Berge: translated by C. Butters and F. Henley. – Second edition. – Oxford: Architectural Press Publ., 2009. – 427 p.

Berge B. The ecology of building materials. Translated by C. Butters and F. Henley. – Second edition. – Oxford: Architectural Press Publ., 2009. – 427 p.

12. Lekha, B.M. [Evaluation of lateritic soil stabilized with Arecanut coir for low volume pavements](#) / B.M. Lekha, S. Goutham, A.U.R. Shankar // Transportation Geotechnics. – 2015. – N. 2. – Access Mode : DOI : [10.1016/j.trgeo.2014.09.001](#).

Lekha B.M., Goutham S., Shankar A.U.R. [Evaluation of lateritic soil stabilized with Arecanut coir for low volume pavements](#). *Transportation Geotechnics*, 2015, no. 2. doi: [10.1016/j.trgeo.2014.09.001](#).

13. Montgomery, D.E. Dynamically-compacted cement stabilized soil blocks for low-cost walling: thesis Ph. D. / David Edward Montgomery. – University of Warwick, School of Engineering, 2002.– 280 p.

14. Venkatarama Reddy B.V. Pressed soil-cement block: an alternative building material for masonry / B.V. Venkatarama Reddy // Sustainable construction. – Florida, 1994. – November. – P. 425-433.

*Статья рекомендована к публикации д-ром. техн. наук, проф. Н. А. Сторожуком (Украина);*

*Статья поступила в редколлегию 11.08.2015*