

УДК 691.333

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО ГРУНТОБЕТОНОВ

САВИЦКИЙ Н. В.¹, *д.т.н, проф.*,
 ЕЛИСЕЕВА М. А.², *к.т.н.*
 НОВИЧЕНКО Н.В.³, *соискатель*
 БАРДАХ Е.А.⁴, *соискатель*

¹ 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, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

² 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, ORCID ID: 0000-0003-4474-3255

³ 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, ORCID ID: 0000-0001-8383-2619

⁴ 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

Аннотация. Постановка проблемы. Строительство экологических домов при минимальных затратах материальных и трудовых ресурсов на основе концепции устойчивого развития стало приоритетным направлением во многих странах мира, включая Германию, США и Россию [11, 12, 18]. Здания, построенные из грунтобетонных материалов, являются энергоэффективными, экологически чистыми, более экономичными, чем из традиционно применяемых железобетонных конструкций. Состояние дорожных покрытий в нашей стране также требует безотлагательной реконструкции и устройства дорожных одежд из повсеместно распространенного дешевого сырья, в качестве которого могут выступать укрепленные вяжущими грунтами. Однако широкому распространению материала препятствует сложившийся у производителей стереотип, что грунтоносодержащие материалы безобжигового типа являются недолговечными, с низкой водо- и морозостойкостью, недостаточной механической прочностью, высокой трудозатратностью при ведении строительных работ. Для исключения данной проблемы необходим комплексный подход, учитывающий многообразие основных факторов от которых зависит качество грунтобетонных, грамотное управление которыми позволит исключить вышеперечисленные недостатки материала. **Анализ публикаций.** В последнее время все более возрастает интерес к грунтобетонам различного назначения. Но как показывает анализ публикаций, большинство исследователей решает вопрос улучшения качества грунтобетонных не в комплексном виде, а в контексте конкретного одного или нескольких факторов, рассматриваемых ими. Среди работ ближнего зарубежья можно выделить [1, 5, 7-10, 14, 15, 17], дальнего зарубежья [11, 18-21]. **Цель.** В статье рассмотрены различные факторы, наиболее существенно влияющие на качество грунтобетонных, при грамотном управлении которыми возможно получить эффективный конкурентоспособный материал с широкой областью применения. **Вывод.** Основные факторы, влияющие на эксплуатационные свойства грунтобетонных и их качество, условно можно разделить на две группы: технологические и химические, физико-химические. К первой относятся: влажность грунтобетонной смеси, концентрация в ней вяжущего вещества, степень однородности и уплотнения грунтобетонной смеси, продолжительность твердения уплотненного материала и температурно-влажностные условия окружающей среды; ко второй – минеральный и гранулометрический составы грунтов, их органические составляющие, реакция среды. При комплексном подходе к вопросу, учитывающем специфику глинистых грунтов можно получать качественные конкурентоспособные материалы на их основе – грунтобетоны.

Ключевые слова: грунтобетоны; глинистые грунты; упрочнение грунтов; технологические факторы; химические, физико-химические факторы; цемент; известь; фосфорсодержащие вещества; фторсодержащие вещества

ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ ГРУНТОБЕТОНІВ

САВИЦЬКИЙ М. В.¹, *д.т.н, проф.*,
 ЄЛІСЄЄВА М. О.², *к.т.н.*
 НОВІЧЕНКО Н.В.³, *пошукувач*
 БАРДАХ О.Ю.⁴, *пошукувач*

¹ 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, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

² 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, ел. пошта SMU.TGO@yandex.ua, ORCID ID 0000-0003-4474-3255

³ 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, ORCID ID: 0000-0001-8383-2619

⁴ 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

Анотація. Постановка проблеми. Будівництво екологічних будинків при мінімальних витратах матеріальних і трудових ресурсів на основі концепції стійкого розвитку стало пріоритетним напрямком у багатьох країнах світу, включаючи Німеччину, США та Росію [11, 12, 18]. Будинки, які побудовані із ґрунтобетонних матеріалів, є енергоефективними, екологічно чистими, більш економічними, ніж із традиційно застосовуваних залізобетонних конструкцій. Стан дорожніх покриттів нашої країни також потребує невідкладної реконструкції та влаштування дорожніх одягів з повсюдно поширеної дешевої сировини, в якості якої можуть виступати укріплені в'язучими ґрунти. Однак широкому розповсюдженню матеріалу перешкоджає сформований у виробників стереотип, що ґрунтовмісні матеріали безвипалювального типу є недовговічними, з низькою водо- і морозостійкістю, недостатньою механічною міцністю, високою трудовитратністю при веденні будівельних робіт. Для виключення даної проблеми необхідно застосувати комплексний підхід, який враховує різноманіття основних факторів від яких залежить якість ґрунтобетонів, грамотне керування якими дозволить виключити вищепераховані недоліки матеріалу. **Аналіз публікацій.** Останнім часом усе більше зростає інтерес до ґрунтобетонів різного призначення. Але як показує аналіз публікацій, більшість дослідників вирішує питання поліпшення якості ґрунтобетонів не в комплексному виді, а в контексті конкретного одного або декількох факторів, розглянутих ними. Серед робіт ближнього зарубіжжя можна виділити [1, 5, 7-10, 14, 15, 17], далекого зарубіжжя [11, 18-21]. **Мета.** У статті розглянуті різні фактори, які найбільш істотно впливають на якість ґрунтобетонів, при грамотному керуванні якими можливо одержати ефективний конкурентоздатний матеріал із широкою областю застосування. **Висновок.** Основні фактори, що впливають на експлуатаційні властивості ґрунтобетонів та їх якість, умовно можна розділити на дві групи: технологічні та хімічні, фізико-хімічні. До першої відносяться: вологість ґрунтобетонної суміші, концентрація в ній в'язучої речовини, ступінь однорідності та ущільнення ґрунтобетонної суміші, тривалість твердіння ущільненого матеріалу та вологотемпературні умови навколишнього середовища; до другої – мінеральний і гранулометричний склад ґрунтів, їх органічна складова, реакція середовища. При комплексному підході до питання, яке враховує специфіку глинистих ґрунтів можна одержувати якісні конкурентоздатні матеріали на їх основі – ґрунтобетони.

Ключові слова: ґрунтобетони; глинисті ґрунти; зміцнення ґрунтів; технологічні фактори; хімічні, фізико-хімічні фактори; цемент; вапно; фосфоромісні речовини; фторомісні речовини

THE FACTORS INFLUENCING ON THE SOIL-CONCRETES QUALITY

SAVYTSKYI M. V. ¹, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

YELISIEIEVA M. O. ², *Cand. Sc. (Tech.)*

NOVYCHENKO N.V. ³, *applicant*

BARDACH O.E. ⁴, *applicant*

¹ 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, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

² 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, ORCID 0000-0003-4474-3255

³ 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 тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: nad-novichenko@yandex.ua, ORCID ID0000-0001-8383-2619,

⁴ 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 тел. +38 (0562) 47-02-98

Abstract. Problem formulation. Construction of ecological houses at the lowest cost of material and labor resources, based on the concept of sustainable development has become a priority in many countries, including Germany, the US and Russia [11, 12, 18]. Buildings constructed from soil-concrete materials, are energy efficient, environmentally friendly, more economical than traditionally used concrete. Pavement in our country also needs urgent renovation and equipment of road pavements ubiquitous cheap raw materials, as which can act reinforced cementitious soils. However, the wide dissemination of the material prevents manufacturers have formed a stereotype that soil containing materials are chemically bonded type of short-lived, low water and frost resistance, insufficient mechanical strength, high labor-intensive during construction. For exceptions to this problem requires a comprehensive approach that takes into account the diversity of the main factors that affect the quality of the soil-concrete, competent management which will eliminate the above disadvantages of the material. **Analysis of publications.** In recent years, there is a growing interest in the soil-concrete for various purposes. But as the analysis of publications, most researchers solve the problem of improving the

quality of soil-not as a complex, and in the context of a particular one or more of the factors considered by them. Among the works of the near abroad can be identified [1, 5, 7-10, 14, 15, 17] and other foreign countries [11, 18-21]. **Aim.** The article discusses various factors, the most significant effect on the quality of soil-concrete, with proper management that is possible to obtain an effective competitive material with a wide range of applications. **Conclusion.** The main factors affecting the performance characteristics of soil-and their quality can be divided into two groups: the technological and chemical, physical and chemical. The first group includes: soil-moisture mixture, the concentration of the binder in it, the degree of homogeneity and compaction soil-concrete mixture, the duration of curing the compacted material and the temperature and humidity conditions of the environment; second - mineral and granulometric composition of the soil, their organic components, the reaction medium. An integrated approach to the issue that takes into account the specifics of clay soils can obtain high quality competitive materials based on them - soil-concrete.

Keywords: soil-concretes; clay soils; soils stabilization; technological factors; chemical, physicochemical agents; cement; lime; phosphor-containing substances; fluorine-containing substances

Постановка проблемы.

Строительство экологических домов при минимальных затратах материальных и трудовых ресурсов на основе концепции устойчивого развития стало приоритетным направлением во многих странах мира, включая Германию, США и Россию [11, 12, 18]. Здания, построенные из грунтобетонных материалов, являются энергоэффективными, экологически чистыми, более экономичными, чем из традиционно применяемых железобетонных конструкций. Состояние дорожных покрытий в нашей стране также требует безотлагательной реконструкции и устройства дорожных одежд из повсеместно распространенного дешевого сырья, в качестве которого могут выступать укрепленные вяжущими грунты. В отличие от устраиваемых щебеночно-песчаных оснований они имеют низкую шероховатость поверхности, высокую ровность дорожного покрытия, меньшую толщину слоев основания. Однако широкому распространению материала препятствует сложившийся у производителей стереотип, что грунтосодержащие материалы безобжигового типа являются недолговечными, с низкой водо- и морозостойкостью, недостаточной механической прочностью, высокой трудозатратностью при ведении строительных работ. Для исключения данной проблемы необходим комплексный подход, учитывающий многообразие основных факторов от которых зависит качество грунтобетонов, грамотное управление которыми позволяет исключить вышеперечисленные недостатки материала.

Анализ публикаций.

В последнее время все более возрастает интерес к грунтобетонам различного назначения. Но как показывает анализ публикаций, большинство исследователей решает вопрос улучшения качества грунтобетонов не в комплексном виде, а в контексте конкретного одного или нескольких факторов, рассматриваемых ими. Среди работ ближнего зарубежья можно выделить [1, 5, 7-10, 14, 15, 17], дальнего зарубежья [11, 18-21].

Цель работы.

В статье рассмотрены различные факторы, наиболее существенно влияющие на качество

грунтобетонов, при грамотном управлении которыми возможно получить эффективный конкурентоспособный материал с широкой областью применения.

Изложение основного материала.

Вяжущие материалы при их введении в грунт активно вступают в химическое и физико-химическое взаимодействие с тонкодисперсной его составляющей, вследствие чего изменяются первоначальные свойства грунта и он приобретает новые качества: водо- и морозостойкость, повышенные значения прочности и деформативности и пр. [15, 17]. Полученный материал принято называть грунтобетоном. Полнота прохождения химических реакций между грунтом и вяжущим, и, следовательно, значения вышеперечисленных показателей полученных грунтобетонов зависят от ряда факторов, грамотное управление которыми позволяет получить качественный и конкурентоспособный материал при минимальных материальных затратах. Условно, эти факторы можно разделить на две группы: технологические и химические, физико-химические. Первые связаны с осуществляемыми технологическими операциями при изготовлении грунтобетонов, вторые с первоначальными свойствами используемых грунтов. Среди технологических факторов, оказывающих наибольшее влияние на качество грунтобетонов, следует выделить следующие: влажность грунтобетонной смеси, концентрация в ней вяжущего вещества, степень однородности и уплотнения грунтобетонной смеси, продолжительность твердения уплотненного материала и температурно-влажностные условия окружающей среды [8, 9, 14, 15].

Как известно [3, 4], при недостаточном количестве воды в смеси гидратация вяжущих веществ с образованием минералов, отвечающих за прочностные свойства материала, происходит не в полной мере. Тогда в затвердевшем материале имеется высокое количество непрореагировавших зерен вяжущего, выполняющих роль инертного заполнителя. При содержании воды свыше нормы, необходимой для прохождения химической реакции вяжущего вещества, в материале формируется высокое количество пор, а при его высушивании развиваются усадочные деформации. В обоих

случаях изготовленный грунтбетон будет характеризоваться низкой прочностью, высокой водопроницаемостью и плохой морозостойкостью. Кроме того, от влажности грунтбетонной смеси зависит ее удобообрабатываемость при формировании, степень уплотнения материала. При низкой влажности смеси она получается жесткой и при использовании традиционных способов формирования происходит ее недоуплотнение, вследствие чего изготовленный из нее материал приобретает рыхлую, пористую структуру и неудовлетворительные показатели эксплуатационных свойств грунтбетона. Назначение влажности грунтбетонной смеси производится на основании результатов лабораторных исследований в каждом конкретном случае. Ее значение, в первую очередь, зависит от вида и влажности используемого грунта, вида и количества вяжущего вещества, применяемого способа уплотнения. При использовании цемента в наиболее общем случае рекомендуются значения оптимальной влажности, приведенной в табл. 1, согласно [5].

До определенного предела повышение концентрации вяжущего вещества в смеси с грунтом является благоприятным. Свыше него происходит стремительный рост усадочных деформаций и образование трещин в грунтбетоне. С экономической точки зрения также рекомендуется снижение расхода наиболее дорогостоящего компонента грунтбетонной смеси – вяжущего вещества.

Таблица 1

Рекомендуемые составы грунтбетона при использовании в качестве вяжущего портландцемента [5]
Recommended composition soil-concrete using Portland cement as a binder [5]

№	Наименование грунта	Норма портланд-цемента по массе, %	Оптимальная влажность к массе цементогрунта, %
1	Супесчаные и гравелистые грунты оптимального состава	6-8	7-12
2	Супесчаные грунты	8-10	9-15
3	Суглинистые и пылеватые грунты	1-14	14-20
4	Тяжелосуглинистые, глинистые грунты и черноземы	12-15	18-24

Степень однородности смеси зависит от режима перемешивания ее компонентов, технологических характеристик используемых аппаратов. При этом, чем дисперснее сырье, тем сложнее получить гомогенную (однородную) структуру грунтбетонной смеси из-за образования флоккул – рыхлых комков-агрегатов с оболочкой из цемента и ядром из грунта. Это вызывает анизотропию (неодинаковость) свойств получаемого материала и ниже его качество [16].

Степень уплотнения смеси существенно влияет на процессы структурообразования в материале или изделии, его пористость, водо- и морозостойкость, механическую прочность, и, в конечном счете, на его долговечность. При максимальном уплотнении смеси из ее объема вытесняется избыточный воздух, водяные пары, снижается толщина водяных пленок, перераспределяется жидкая фаза и твердые частицы друг относительно друга, в результате чего формируется более плотная упаковка частиц, возрастает количество и площадь контактов между вяжущим и грунтом. Это способствует уменьшению пустотности материала, взаимодействию новообразований вяжущего с поверхностью грунтовых частиц и формированию прочной кристаллизационной структуры [7]. Выбор способа уплотнения грунтбетонной смеси зависит от ее удобоукладываемости, на показатели которой, главным образом, влияют число пластичности глинистых грунтов и влажность смеси, а также вида изготавливаемой продукции. Имеются соответствующие корреляционные уравнения между параметрами уплотнения смеси и предела пластичности глинистых грунтов, представленные в работе [19].

Как известно [3, 15], твердения вяжущих материалов и бетонов на их основе происходит длительный период от нескольких лет до всего срока эксплуатации материала или изделия. Однако наиболее интенсивный набор прочности наблюдается в первые 3-14 суток твердения в зависимости от используемых вяжущих веществ, грунтов, их концентрации в смеси и прочих факторов. Для сокращения продолжительности твердения грунтбетонных и набора их прочности в первые дни в смеси вводят различные химические добавки – ускорители твердения (CaCl_2 , Na_2SO_4 , NaOH и пр.), вместо обычных вяжущих применяют быстротвердеющие высокоактивные, снижают формовочную влажность смеси, используют электропрогрев сырьевых материалов до определенной температуры и пр.

Наиболее благоприятными для грунтбетонных являются следующие температурно-влажностные условия окружающей среды: в первые 2-3 суток твердения, когда происходит интенсивное высыхание материала температура воздуха $t_b=20$ °С, относительная влажность воздуха $W \leq 60$ %; на 10-15 сутки твердения, когда завершается этап высыхания материала медленно и равномерно – $t_b=20$ °С,

относительная влажность воздуха $W \leq 70\%$; на 15-30 сутки твердения при отсутствии испарений влаги из материала – $t_b = 10-20\text{ }^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха $W = 100\%$. Периодическое увлажнение грунтобетона при указанных температурно-влажностных условиях первого и второго режима твердения материала благоприятствует повышению его механической прочности, однако продолжительность формирования структуры материала также увеличивается [9]. Как и при твердении обычных бетонов, грунтобетоны следует защищать от преждевременного высыхания в жаркую погоду путем покрытия их поверхности различными пленкообразующими материалами или укрытия слоем песка [3, 15].

Главными химическими, физико-химическими факторами, влияющими на качество грунтобетонов являются: минеральный и гранулометрический составы грунтов, их органические составляющие, реакция среды [8-10, 14, 15, 17, 21]. Глинистые грунты характеризуются полиминеральностью состава, в который входят, главным образом, обломочные (песчаные и пылеватые) частицы и тонкодисперсные вещества глинистых минералов. Однако наибольшее влияние на реакцию способность и физико-механические свойства грунтов (пластичность, гидрофильность, способность к набуханию), а также вид используемого для их упрочнения вяжущего имеет минеральный состав их тонкодисперсной части – глинистых минералов [9, 13, 17]. Основными минералами глин являются каолинит, монтмориллонит, гидрослюды, реже встречаются полевые шпаты и хлориты. При этом характер взаимодействия грунтов с вяжущими и прочность получаемого материала зависит как от вида преобладающего минерала, так и от его количественного соотношения в составе грунтов [9]. Среди глинистых минералов наиболее предпочтительно преобладание каолинита, поскольку это достаточно стойкий двухслойный минерал, имеющий жесткую кристаллическую решетку и характеризующийся низкой степенью набухания при увлажнении водой, а также невысокой ионно-обменной способностью. Катионный обмен осуществляется лишь по внешним граням кристаллов, в межпакетном пространстве он не происходит [6, 11, 17, 21]. Наименее благоприятным является монтмориллонит, так как он обладает высокой поглотительной способностью, высокой дисперсностью (его размеры, как правило, находятся в пределах до 1 мкм), очень высокой пластичностью и может в 10-20 раз увеличивать свой объем при увлажнении. Кристаллическая решетка монтмориллонита может увеличиваться вследствие раздвижки слоев при их смачивании водой. Катионный обмен осуществляется и по внешним граням кристаллов, и в межпакетном пространстве кристаллических решеток, что снижает щелочность среды и вызывает медленное протекание процесса гидратации минералов вяжущего вещества [11, 17].

При содержании монтмориллонита в глинистой фракции более 50 % в общей массе грунта, в него добавляют легкорастворимые соли, поверхностно-активные вещества, кремнийорганические соединения и др. Они адсорбируются поверхностью частичек грунта и образуют защитные пленки, препятствующие набуханию монтмориллонитовых глинистых фракций при их увлажнении [15].

Гидрослюды имеют переменные химический состав и свойства. По прочности, устойчивости и катионному обмену они занимают промежуточное положение между каолинитом и монтмориллонитом [17]. К ним относятся следующие минералы: иллит, вермикулит, глауконит [21].

При использовании в качестве укрепляющих грунты таких веществ, как фосфатные вяжущие (H_3PO_4) и фторсодержащие компоненты (H_2SiF_6) предпочтительными являются гидрослюды и хлоритовые глины, а затем каолиновые. При введении в грунт кальцийсодержащих вяжущих (цемент, известь), наоборот, каолиновые глины, а потом гидрослюды [9, 13].

По типу имеющихся примесей в глинистых породах их разделяют на карбонатные, загипсованные, с растительными остатками (с содержанием 5-10 %) и др. разновидности. Степень карбонатности грунтов, в первую очередь, влияет на значение их прочности, так как высокодисперсные карбонаты образуют прочные слаборастворимые кристаллизационные связи между частицами глинистых грунтов [6]. При использовании щелочных реагентов (цемента, извести) высокое их содержание положительно сказывается на протекании химических реакций между компонентами грунтобетонной смеси и получению прочных грунтобетонов; при введении кислотных реагентов (фосфор- и фторсодержащие вещества), наоборот, имеет отрицательное влияние и требует дополнительного добавления в смесь соляной кислоты (HCl), способствующей быстрому растворению карбонатов [9, 13].

Наличие легкорастворимых солей, какими являются гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и др. соединения типа NaCl , Na_2SO_4 , CaCl_2 , MgSO_4 , MgCl_2 , NaNO_3 и Na_2CO_3 в составе грунтов нежелательно [6, 15]. Поскольку они оказывают негативное воздействие на дисперсность грунта, значение водородного показателя среды, емкость обмена и состав поглощенных катионов и другие его физические свойства. Для их нейтрализации в грунты вводятся добавки, вступающие с ними в химическое взаимодействие и образующие водонерастворимые соединения [15].

Органические составляющие грунтов, представленные растительными веществами и гумусом, являются нежелательными в их составе и должны быть извлечены, особенно при упрочнении грунтов щелочными реагентами, так как они устанавливают кислую среду ($\text{pH} < 6$) [11, 17].

Реакция среды грунтов – важный показатель их химических свойств, определяющий механизм протекания химических реакций между вяжущим веществом и грунтом, выбор эффективного реагента для конкретного вида грунта, формирование структуры и прочностных свойств грунтобетон. Благоприятными условиями при введении в грунт цемента или извести является наличие щелочной среды при значении водородного показателя выше 6 ($pH > 6$); при добавлении фосфор- и фторсодержащих веществ, карбамидных, фурфуроланилиновых смол – наличие кислой среды с $pH < 6$ [9, 15]. Это связано с тем, что кислые реагенты нейтрализуются в щелочной среде, и, наоборот, щелочные реагенты – в кислой среде [9]. Изменять значение pH среды можно путем введения различных соединений: $Ca(OH)_2$, $NaOH$, Na_2CO_3 или HCl , H_2SO_4 и др., способствующих нейтрализации кислотности или щелочности грунтов [15].

Гранулометрический состав грунтов непосредственно связан с их минеральным составом и зависит от вида грунтов. Так, супеси образуют глинисто-пылеватую-песчаную систему, содержащую обычно 3-10 % глинистых частиц; глины – песчано-глинисто-пылеватую или песчано-пылеватую-глинистую систему с содержанием этих же частиц около 30-60 % и выше [6]. При этом, если в глинистой фракции преобладают минералы, благоприятствующие химическому взаимодействию грунтов и выбранного вяжущего вещества, то прочность получаемых материалов возрастает и, наоборот, при преобладании в составе глинистых частиц грунтов нежелательных минералов прочность

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вдовин Е. А., Мавлиев Л. Ф. Исследование долговечности модифицированного цементогрунта дорожного назначения // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. - № 11. – С. 76-79.
2. 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.
3. Глущенко В. М. Будівельне матеріалознавство (Строительное материаловедение). Курс лекцій і практикум. – Д : ПДАБА, 2014. – 552 с.
4. Головки С. И., Обоснование эффективности пластифицирующих добавок для закрепления грунтов высоконапорной цементацией / Н. Е. Шехоркина, К. О. Михалева // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Д. : ГВУЗ ПГАСА, 2013. – Вып. 69. – С. 143-147.
5. Гришина В. А. Грунтобетон с микроармирующими минеральными и

материалов снижается [9]. Поскольку высокая дисперсность грунтов негативно сказывается на их пластичности, воздушной и огневой усадки, то действующие в Украине нормы по устройству слоев дорожных одежд автомобильных дорог [2] и др. источники [1, 15] рекомендуют оптимизировать их состав и уменьшать степень дисперсности путем введения различных гранулометрических добавок: золы-уноса, золошлаковых смесей, песка, отходов камнедробления или легких суглинков.

Вывод

Таким образом, основные факторы, влияющие на эксплуатационные свойства грунтобетон и их качество, условно можно разделить на две группы: технологические и химические, физико-химические. К первой относятся: влажность грунтобетонной смеси, концентрация в ней вяжущего вещества, степень однородности и уплотнения грунтобетонной смеси, продолжительность твердения уплотненного материала и температурно-влажностные условия окружающей среды; ко второй – минеральный и гранулометрический составы грунтов, их органические составляющие, реакция среды. При комплексном подходе к вопросу, учитывающем специфику глинистых грунтов можно получать качественные конкурентоспособные материалы на их основе – грунтобетоны.

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

6. Грунтоведение : учеб. для студ. ВУЗов / [В. Т. Трофимов, В. А. Королев, Е. А. Вознесенский, Г. А. Голодковская, Ю. К. Васильчук, Р. С. Зиангиров] ; под ред. В. Т. Трофимова. – [6-е изд., переработ. и доп.]. – М. : Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.

7. Жигайлов А. А., Влияние степени уплотнения на основные характеристики цементогрунта с полимерной добавкой / С. А. Куюков, А. Н. Шуваев // Научно-технический вестник Поволжья : сбор. науч. ст. – Казань, 2011. – Вып. 5. – С. 131-134.

8. Кнатько В. М. Теоретическое обоснование стадийности и взаимосвязи технологических, химических и физико-химических процессов, происходящих в системах химические реагенты – дисперсные грунты при их укреплении в результате синтеза неорганических вяжущих веществ // Грунтоведение. – Санкт-Петербург : Изд-во «Центр генетического грунтоведения», 2014. – № 1. – С. 76-82.

9. Кнатько В. М. Укрепление дисперсных грунтов путем синтеза неорганических вяжущих. –

Ленинград : Изд-во Ленинградского университета, 1989. – 272 с.

10. Кочерга В. Г., Применение гидрофобизированных цементогрунтов в нижних слоях дорожной одежды / В. В. Зырянов, А. В. Ланко // Инженерный вестник Дона. – Ростов-на-Дону, 2012. – Вып. 2, том 20. – С. 650-652.

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

12. Петрова З. К. Энергоэффективные технологии в малоэтажном строительстве // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. - № 7. – С. 70-75.

13. Самедов А. М., Демессие М. К. Свойства слабых горных пород и классификация их по укреплению // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : материалы 7-ой межд. конф. (27.10-28.10.2011). – Тула :ТулГУ, 2011. – Т. 1. – С. 184-192.

14. Тимиров Э. В., Новоселов О. Г. Укрепление грунтов и искусственное улучшение их свойств при устройстве дорожной одежды // Инновационное развитие современной науки : сбор. ст. Межд. науч.-практ. конф. 31 января 2014 г. – Уфа : РИЦ БашГУ, 2014. – Ч. 9. – С. 278-282.

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

16. Чистов Ю. Д., Хвастин М. А. Научно-технические основы производства и применения песчаных бетонов плотной и ячеистой структуры // Прораб. – 2006. – № 4. – С. 40-42.

17. Щеглов А. Ф. Грунтобетоны на основе глинистых пород КМА для дорожного строительства: дис. ... кандидата техн. наук : 05.23.05 / Щеглов Александр Федорович. – Белгород, 2003. – 229 с.

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

19. Correlation of compaction characteristics of natural soils with modified plastic limit / H. B. Nagaraj, B. Reesha, M. V. Sravan, M. R. Suresh // Transportation Geotechnics. – 2015. – N. 2. – pp. 65-77. – Access Mode : DOI : [10.1016/j.trgeo.2014.09.002](https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2014.09.002).

20. Fauzi A., Utilization Waste Material as Stabilizer on Kuantan Clayey Soil Stabilization / W. Rahman, Z. Jauhari // Procedia Engineering. – 2013. – Volume 53. – pp. 42–47. – Access Mode : DOI : [10.1016/j.proeng.2013.02.007](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.007).

21. Reddi L. N., Soil materials for earth construction: properties, classification and suitability testing / A. K. Jain, H.-B. Yun // Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications. – Woodhead Publ. – 2012. – pp. 155–171.

REFERENCES

1. Vdovin Ye.A., Mavliyev L.F. The durability analysis of modified soil cement for road purpose //

Industrial and Civil Engineering. – 2014. – № 11. – P. 76-79.

2. 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. – By way of amendment VBN V. 2.3-218-002-95 ; validating 2013-11-01. – Kyiv : State Agency of Ukraine roads (Ukravtodor)Publ., 2013. – 43 p.

3. Glushchenko V. M. Building material science. Course and practical work. – D.: PSACEA, 2014. – 552 p.

4. Golovko S. I., Foundation of efficiency of plasticize admixtures for soils solidification by high-pressure cementation / N. Ye. Shekhorkina, K. O. Mikhaleva // Construction, materials, mechanical engineering : coll. of scien. pub. – D.: PSACEA, 2013. – Issue 69. – P. 143-147.

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

6. Soil science: textbook for students of higher establishments / [V. T. Trofimov, V. A. Korolev, Ye. A. Voznesenskiy, G. A. Golodkovskaya, Yu. K. Vasilchuk, R. S. Ziangirov]: edited by V. T. Trofimov. – [6th Publ., rework and added]. – M. : MGU Publ., 2005. – 1024 p.

7. Zhigaylov A. A., The degree of compaction effect on key features of soil cement with polymeric addition] / S. A. Kuyukov, A. N. Shuvayev // Scientific-technical bulletin of Volga : coll. of scien. pub. – Kazan, 2011. – № 5. – P. 131-134.

8. Knatko V. M. Theoretical justification of staging and interconnection of technological, chemical, physical-chemical processes derivative systems chemical agents-disperse soils by theirs stabilization in the issue synthesis of inorganic binding matter // Soil science. – St. Petersburg : "Center of Genetic Soil" Publ., 2014. – № 1. – P. 76-82.

9. Knatko V. M. Disperse soils stabilization by synthesis of inorganic matter. – Leningrad : Leningrad University Publ., 1989. – 272 p.

10. Kocherga V. G., Hydrophobization soil cement application in bottom layers of the road pavement / V. V. Zyryanov, A. V. Lanko // Engineering bulletin of the Don. – Rostov-on-Don, 2012. – № 2, vol. 20. – P. 650-652.

11. Minke G. The clay-containing concrete and its use. – Kaliningrad: Yantarnyy skaz Publ., 2004. – 232 p.

12. Petrova Z. K. Energy efficient technologies in low-rise construction // Industrial and Civil Engineering. – 2014. – № 7. – P. 70-75.

13. Samedov A. M., Demessiye M. K. The properties of weak rocks and classification theirs by stabilization // Socio-economic and environmental problems of the mining, engineering and energy: materials of the 7th Int. Conf. (27.10-28.10.2011). – Tula : TulGU, 2011. – Vol. 1. – P. 184-192.

14. Timirov E. V., Novoselov O.G. Soils stabilization and man-made improvement theirs of properties by engineering road pavement // Innovative advancement of modern science: coll. of articles Int. theoretical and practical Conf. 31 january 2014. – Ufa :RITS BashGU, 2014. – Part 9. – P. 278-282.
15. Soils stabilization. (The properties and application in road and airfield building) / [Bezruk V. M., Guryachkov I. L., Lukanina T. M., Agapova R. A.]. – M. : Transport, 1982. – 231 p.
16. Chistov Yu. D., Khvastin M. A. Scientific and technical basis of production and application of fine-concretes with compact and cellular structure // Foremaster. – 2006. – № 4. – P. 40-42.
17. Shcheglov A. F. Soil-concretes on basis of clay rocks of KMA for road building : dis. ... candidate of tech. sciences : 05.23.05/ Shcheglov Aleksandr Fedorovich. – Belgorod, 2003. – 229 p.
18. Berge B. The ecology of building materials / Translated by C. Butters and F. Henley. – Second edition. – Oxford: Architectural Press Publ., 2009. – 427 p.
19. Correlation of compaction characteristics of natural soils with modified plastic limit / H. B. Nagaraj, B. Reesha, M. V. Sravan, M. R. Suresh // Transportation Geotechnics. – 2015. – N. 2. – pp. 65-77. – Access Mode : DOI : [10.1016/j.trgeo.2014.09.002](https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2014.09.002).
20. Fauzi A., Utilization Waste Material as Stabilizer on Kuantan Clayey Soil Stabilization / W. Rahman, Z. Jauhari // Procedia Engineering. – 2013. – Volume 53. – pp. 42–47. – Access Mode : DOI : [10.1016/j.proeng.2013.02.007](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.007).
21. Reddi L. N., Soil materials for earth construction: properties, classification and suitability testing / A. K. Jain, H.-B. Yun // Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications. – Woodhead Publ. – 2012. – pp. 155–171

Статья поступила в редколлегию 26.04.2015