УДК 624.138.23

НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА ГРУНТОБЛОКІВ

САВИЦЬКИЙ М. В.[1*], *д. т. н, проф.*,
СТОРОЖУК Н. А.[2*], *д. т. н, проф.*
[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) 46-94-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003
[2*] Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів і конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-07, e-mail: storozhukpsacea@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3132-8864

Анотація. ***Постановка проблеми.*** Наразі завдання ефективного використання різних видів ґрунтів, властивості яких поліпшені в'яжучими матеріалами і іншими хімічними реагентами для влаштування дорожнього й аеродромного одягу, практично виконане. Проте під час використання місцевих грунтів для виробництва ґрунтоблоків виникає багато питань, що стосуються технології їх виготовлення, відсутнє теоретичне обгрунтування отримання ґрунтоблоків високої якості як стінового матеріалу. Слід передбачити, що міцність та інші властивості ґрунтоблоків залежать від таких чинників як гранулометричний і мінералогічний склади ґрунту, кількість, вид і активність в'яжучого, що додається, формувальна вологість суміші, ступінь попереднього подрібнення ґрунту і якість перемішування компонентів, спосіб і режим ущільнення суміші, режим і термін тверднення виробів. Частковому вирішенню згаданих проблем присвячена ця стаття. Особливо слід відзначити праці Н. А. Попова, Б. Г. Скрамтаєва, Н. І. Хігеровича, що стосуються технології виготовлення із використання стінових матеріалів з цементно-ґрунтової суміші. У цих працях роботах містяться рекомендації щодо вибору ґрунтів для ґрунтоблоків, технологій виготовлення з них виробів. Проте, на нашу думку, в них недостатньо обґрунтовано склади цементно-ґрунтової суміші, режими формування, що забезпечують отримання виробів високої міцності з допустимою щільністю як стінових матеріалів. ***Мета статті.*** Розробити науково-технічні основи виготовлення виробів високої якості з використанням цементу і місцевих ґрунтів. Виконати відповідні експериментальні дослідження щодо оптимізації цементно-ґрунтової суміші (ґрунтобетону), витрат води, режиму формування ґрунтоблоків. ***Висновок.*** Розроблено науково-технічні основи виробництва ґрунтоблоків високої якості з використанням цементу і місцевих ґрунтів. Визначено раціональний склад цементно-ґрунтової суміші, витративоди, величину пресувального тиску, за яких забезпечується достатня міцність ґрунтобетону з необхідною щільністю як стінового матеріалу.

Ключові слова: *цементно-ґрунтова суміш, ґрунтоблоки, склад, колоїди, коагуляція, золь, міцела, іон, катіон, водовміст, міцність.*

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА ГРУНТОБЛОКОВ

САВИЦКИЙ Н. В.[1*], *д. т. н, проф.*,
СТОРОЖУК Н. А.[2*], *д. т. н, проф.*
[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) 46-94-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003
[2*] Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-07, e-mail: storozhukpsacea@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3132-8864

Аннотация. ***Постановка проблемы.*** В настоящее время задача эффективного использования различных видов грунтов, свойства которых улучшены вяжущими материалами и другими химическими реагентами для устройства дорожных и аэродромных одежд, практически решена. Однако при использовании местных грунтов для производства грунтоблоков возникает много вопросов, касающихся технологии их изготовления, отсутствует теоретическое обоснование получения грунтоблоков высокого качества как стенового материала. Следует предположить, что прочность и другие свойства грунтоблоков зависят от таких факторов как гранулометрический и минералогический составы грунта, количество, состав и активность добавляемого вяжущего, формовочная влажность смеси, степень предварительного измельчения грунта и качество перемешивания компонентов, способ и режим уплотнения смеси, режим и срок твердения изделий. Частичному решению перечисленных проблемных вопросов посвящена настящая работа. Особо следует отметить работы Н. А. Попова, Б. Г. Скрамтаева, Н. И. Хигеровича, касающиеся технологии изготовления и применения стеновых материалов из цементно-грунтовой смеси. В этих работах содержатся рекомендации по выбору грунтов для грунтоблоков, технологиях производства из них изделий. Однако, по нашему мнению, в

перечисленных работах недостаточно обоснованы составы цементно-грунтовой смеси, режимы формования, обеспечивающие получение изделий высокой прочности при допустимой плотности как стеновых материалов. ***Цель статьи.*** Разработать научно-технические основы производства изделий высокого качества при использовании цемента и местных грунтов. Выполнить соответствующие экспериментальные исследования по оптимизации цементно-грунтовой смеси (грунтобетона), расхода воды, режима формования грунтоблоков. ***Вывод.*** Разработаны научно-технические основы производства грунтоблоков высокого качества при использовании цемента и местных грунтов. Определены рациональный состав цементногрунтовой смеси, расход воды, величина прессующего давления, при которых обеспечивается достаточная прочность грунтобетона при необходимой плотности как стенового материала.

Ключевые слова: *цементно-грунтовая смесь, грунтоблоки, состав, коллоиды, коагуляция, золь, мицелла, ион, катион, водосодержание, прочность.*

SCIENTIFIC AND TECHNICAL BASES OF PRODUCTION OF SOIL-BLOCKS

SAVYTSKYI N. V.[1*], *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
STOROZHUK N. A.[2*], *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*
[1*] Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str, Dnepropetrovsk 49600, Ukraine, тел.+38 (0562) 46-94-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003
[2*] Department of technology of building Materials, Products and Constructions, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernyshevskogo str, Dnepropetrovsk 49600, Ukraine, тел.+38 (0562) 46-94-98, e-mail: storozhukpsacea@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3132-8864

Summary. Problem statement. Currently, the problem of efficient use of different types of soils whose properties are improved by cementitious materials and other chemicals for the arrangements of road and airfield carpets, is practically solved. However, when using local soil for the soil blocks production, there are many outstanding questions concerning the technology of their production, there is no theoretical justification of high quality soil blocks production as the wall material. It must be assumed that the strength and other properties of soil blocks depend on such factors as the soil grading and mineral composition, quantity, composition and activity of added binder, molding humidity of mixture, degree of the soil preliminary grinding and the quality of components mixing, method and compacting mode, the mode and period of hardening products. Various additives may have also significant influence. Depending on the combination of these factors, the properties of soil blocks may vary within wide limits. This work is devoted to a partial solution of these problematic issues. Particularly large amount of work using soil cement as a base or road surface is done in the United States. The annual volume of work using this material reaches 80 million m^2. Soil cement is used in England, France, Poland, Germany, Romania, Hungary, Czech Republic. Here the main idea of using different methods to strengthen the soil is the use of local soils as a source of cheap raw materials, as a result of providing the appropriate processing to obtain high-grade substitutes of stone materials [3]. Particular emphasis needs to be placed on the work of Popov N. A., Skramtaev B. G., Higerovich N. I. regarding manufacturing techniques and the use of wall materials from soil-cement mixture [10; 11; 14]. These works contain recommendations on the choice of soil for soul blocks, production technology of these products. In the paper [6: 8], there are given existing experience of the construction of buildings of soil blocks made of cement-soil mixture, equipment for the production of such products, some of their properties are investigated. However, in our opinion, the composition of cement-soil mixture, forming modes, providing production of high strength products with allowable density of wall materials is insufficiently substantiated in these papers. Objective. Develop scientific and technical bases for the production of high-quality products using local cement and soil. Run the appropriate experimental studies to optimize the cement-soil mixture (soil-concrete), water consumption, soil blocks forming mode. Conclusions. Scientific and technical bases for the production of high quality blocks of soil using cement and local soils are developed. It was established that for any method of manufacture of such products there should be the principle of active influence on the change of colloid-chemical properties of the used soil that determines the nature and kinetics of the interaction of soil with cementitious materials and, consequently, the quality of the soil blocks. It was defined a rational part of the cement-soil mixture, water consumption, amount of pressure, which provide sufficient strength of soil-concrete at the required density as a wall material.

Key words. *Cement-soil mixture, soil blocks, composition, colloids, coagulation, colloidal sol, micella, ion, cation, water content, strength.*

Постановка проблемы. В настоящее время задача эффективного использования различных видов грунтов, свойства которых улучшены вяжущими материалами и другими химическими реагентами для устройства дорожных и аэродромных одежд, практически решена. Однако при использовании местных грунтов для производства грунтоблоков возникает много вопросов, касающихся технологии их изготовления, отсутствует теоретическое обоснование получения грунтоблоков высокого качества как стенового материала. Следует предположить, что прочность и другие свойства грунтоблоков зависят от таких факторов, как гранулометрический и минералогический составы грунта, количество, состав и активность добавляемого вяжущего, формовочная влажность смеси, степень предварительного измельчения грунта и качество перемешивания компонентов, способ и режим уплотнения смеси, режим и срок твердения изделий. Существенное влияние могут оказывать также различные добавки. В зависимости от сочетания этих факторов свойства грунтоблоков могут изменяться в широких пределах. Частичному решению перечисленных проблемных вопросов посвящена настящая работа.

Анализ публикаций. В настоящее время в дорожном строительстве имеется большой практический опыт повышения свойств грунтов за счет добавок минеральных или органических вяжущих. Если используют цемент, полученный новый материал называют цементогрунтом или грунтобетоном. Технологию получения цементогрунта (грунтобетона) называют укреплением грунтов.

Работы акад. К. К. Гедройца, акад. Д. Н. Прянишникова, акад. П. А. Ребиндера, а также Н. И. Горбунова, А. В. Думанского, И. Н. Антипова-Каратаева позволили сформулировать основной принцип укрепления грунтов: для любого метода укрепления грунтов должен быть принцип активного воздействия на изменение коллоидно-химических свойств укрепляемого грунта, которые определяют характер и кинетику взаимодействия грунта с вносимыми в него вяжущими материалами [1; 2; 8; 12].

Результаты многолетних исследований, а также опыт проектирования и строительства свидетельствуют о том, что денежные затраты и потребность в перевозках материалов могут быть значительно снижены, если для устройства дорожных и аэродромных одежд вместо традиционных материалов применять местные грунты, укрепленные различными вяжущими материалами.

Особенно большой объем работ с применением цементогрунта в качестве основания или покрытия дорог выполняется в США. Ежегодный объем работ с применением этого материала достигает 80 млн м^2. Цементогрунт применяют и в Англии, Франции, Польше, Германии, Румынии, Венгрии, Чехии. Здесь главная идея в применении различных методов укрепления грунтов – это широкое использование местных грунтов как исходного дешевого сырья, обеспечивающего в результате соответствующей технологической обработки получение полноценных заменителей каменных материалов [3].

Как нам известно, первые публикации, касающиеся технологии изготовления и применения стеновых материалов из цементно-грунтовой смеси, следует отнести к 30-40 гг. прошлого века. Особо следует отметить работы Б. Г. Скрамтаева, Н. И. Хигеровича, Н. А. Попова [10; 11; 14], в которых содержатся рекомендации по выбору грунтов для грунтоблоков, технологий производства из них изделий.

В работах [6; 8] приведены имеющийся опыт строительства зданий из грунтоблоков, изготовленных из цементно-грунтовой смеси, оборудование для производства таких изделий, исследованы некоторые их свойства.

Однако, по нашему мнению, в перечисленных работах недостаточно обоснованы составы цементно-грунтовой смеси, режимы формования, обеспечивающие получение изделий высокой прочности при допустимой плотности как стеновых материалов.

Цель статьи. Разработать научно-технические основы производства изделий

высокого качества при использовании цемента и местных грунтов. Выполнить соответствующие экспериментальные исследования по оптимизации цементно-грунтовой смеси (грунтобетона), расхода воды, режима формования грунтоблоков.

Изложение материала. По зерновому составу грунт представляет собой полидисперсную систему. В нем содержатся частицы самых различных размеров: от песчаных зерен диаметром 1…2 мм до мельчайших глинистых частиц, наиболее мелкие из которых имеют диаметр менее 0,1 мк и по своим свойствам являются коллоидными частицами. В инженерной геологии применяют для удобства условное деление частиц грунта на три фракции: песок – частицы размером 2…0,05 мм, пылеватые частицы – размером 0,05…0,005 мм и глинистые частицы – размером менее 0,005 мм.

Песчаные и пылеватые частицы состоят главным образом из кварца; в небольших количествах в них присутствуют также полевой шпат и слюда. Глинистые частицы в грунтах представлены минералами группы каолинита, гидрослюд, монтмориллонита; присутствуют иногда небольшие включения биотита, анортита, ортоклаза, серпентина и других минералов, а также карбонаты кальция и железа, окислы железа и алюминия, свободная кремнекислота.

Удельная поверхность каждой из этих групп в среднем характеризуется следующими величинами: 1 г крупнозернистого песка имеет удельную поверхность 40…50 $см^2$, пылеватого грунта - 4 000…5 000 $см^2$, а глины – 10^6…$15 \cdot 10^8$ $см^2$ (в зависимости от ее минералогического состава).

Известно, что физико-химические процессы проходят главным образом на поверхности раздела фаз. Так как удельная поверхность глинистой фракции грунта в тысячи раз превышает удельную поверхность остальных фракций, на свойства любого грунта решающее влияние оказывает его тонкодисперсная часть, составляющая до 90…95 % всей его удельной поверхности. Этим объясняется то обстоятельство, что присутствие в грунте даже незначительного количества глинистых частиц предопределяет такие его свойства, как гидрофильность, набухание, размываемость и др.

Принципиальное отличие обычного бетона от грунтобетона именно в том и заключается, что в бетоне цемент подвергается гидролизу и гидратации в условиях окружения его крупным заполнителем, т. е. малоактивной средой с незначительной удельной поверхностью. Цемент в бетоне, по существу, твердеет в продуктах собственного гидролиза. В противоположность бетону в грунтобетоне гидролиз и гидратация цемента происходят в окружении активной среды – грунта, несомненно, влияющего на ход этих процессов.

В обычном бетоне цементом скрепляется в монолит заведомо прочный на сжатие каменный материал. Отсюда прочность бетона в целом предопределяется прочностью и свойствами цементного камня. В грунтобетоне продукты гидролиза и гидратации портландцемента в смеси с частицами грунта образуют сложный и весьма разветвленный цементогрунтовый каркас, прочность которого значительно выше связности и прочности отдельных грунтовых микроагрегатов, вкрапленных в этот каркас. Отсюда прочность грунтобетона в целом предопределяется не только прочностью применяемого цемента, но и степенью изменения свойств используемого грунта.

В общем случае результаты многолетних и разносторонних исследований, проведенных в области улучшения свойств грунтов, показывают, что грунты, подвергаемые обработке различными вяжущими материалами, нельзя рассматривать как инертный заполнитель или как пассивную среду. Составные элементы грунта существенным образом влияют на процессы твердения и формирования структурно-механических свойств грунтобетонов [1; 4; 15].

В зависимости от состава, генезиса и условий залегания грунта в его порах может создаваться кислая, нейтральная или щелочная среда, характеризуемая водородным показателем – Рн. Для твердения различных видов вяжущих веществ оптимальная среда может быть различной. Например, при

улучшении свойств грунтов портландцементом наиболее оптимальной является щелочная среда (Рн = 12…13).

Влияние химико-минералогического состава грунтов на прочность и водостойкость грунтобетона объясняется следующим. Из глинистых минералов наибольшей дисперсностью и обменной способностью обладает группа монтмориллонита, а относительно наименьшей – группа каолинита. Разница в свойствах каолинитовой и монтмориллонитовой групп глинистых минералов наглядно характеризуется различной величиной их удельной поверхности, которая составляет в среднем для каолинита $15 \cdot 10^6$ см^2/г, а для бентонита (минерал монтмориллонитовой группы) – $15 \cdot 10^8$ см^2/г. Поэтому в опытах при использовании мономинеральных грунтов (монтмориллонитовой и каолиновой глин) для формования изделий наблюдаются резко противоположные результаты [1; 7].

Изделия на монтмориллонитовой глине даже при значительных расходах цемента имеют низкие прочность, водостойкость и морозостойкость. На каолиновой глине изделия при умеренных расходах цемента характеризуются достаточно высокими прочностью, водостойкостью и морозостойкостью. Такие результаты могут быть объяснены большим различием в свойствах глинистых минералов, составляющих указанные грунты.

Минералы монтмориллонитовой группы обладают подвижной, расширяющейся при увлажнении кристаллической решеткой. Помимо высокой степени дисперсности, гидрофильности и большой емкости обмена, эти минералы характеризуются преимущественно интрамицеллярным обменом ионов. При взаимодействии такого грунта с цементом обменные реакции с продуктами гидратации цемента и сорбционное их поглощение проходят очень медленно. Для некоторых более удаленных участков микроагрегатов скорость гидратации и начало твердения цемента могут превысить скорость протекания интрамицеллярных обменных реакций, что прекращает дальнейший доступ в эти места продуктов гидратации. Кроме того, благодаря чрезмерно большой гидрофильности монтмориллонита, проявляющейся в большом набухании отдельных минеральных частиц и заполнении межпакетных пространств кристаллической решетки прочно связанной адсорбированной водой, может иметь место явление ионной блокады [1; 7]. Все вместе взятое в значительной степени затрудняет получение грунтобетонов на основе монтмориллонитовых глин с высокими физико-механическими свойствами.

Совершенно иная картина наблюдается в случае использования для грунтобетонов грунтов, в которых преобладает минерал каолинит, например, каолиновой глины. Кристаллическая решетка у каолинита и близких к нему минералов (галлуазита и метагаллуазита) характеризуется неподвижностью. Обменные реакции с различными тонкодисперсными веществами, в том числе и с цементами, будут протекать по типу экстрамицеллярного обмена ионов. Большая скорость прохождения таких реакций опережает во времени как начало твердения цемента, так и весь процесс твердения, происходящий на внешней поверхности отдельных частиц каолинита (а не на внутренней труднодоступной поверхности в межпакетных пространствах, как у монтмориллонита), и будет способствовать более глубокому и быстрому преобразованию природных незначительных гидрофильных свойств каолиновых глин в относительно гидрофобные [1; 7; 12].

Получение грунтобетонов на основе каолиновых глин с высокими необратимой связностью, прочностью и водостойкостью облегчается также и тем, что степень дисперсности этих грунтов по сравнению с монтмориллонитом значительно меньшая.

От состава обменных катионов поглощающего комплекса грунта зависят свойства как самого грунта, так и грунтобетона. Если в грунтах имеются обменные (поглощенные) катионы щелочных металлов (Na^+, K^+), то при избытке влажности жидкая фаза приобретает щелочную реакцию. В этих условиях отрицательно заряженные коллоиды, чаще всего присутствующие в грунтах, как бы стабилизируются в состоянии золя, делаются более устойчивыми. Так, напри-

мер, содержащие поглощенные катионы натрия солонцы начинают при увлажнении быстро размокать, делаются липкими и пластичными, теряют несущую способность, сильно набухают, что резко ухудшает физико-механические свойства изделий на основе этих грунтов [9; 13].

В грунтах, насыщенных двухвалентными катионами (Ca^{++}, Mq^{++}), коллоиды находятся в свернутом (коагулированном) состоянии и трудно переходят в состояние золя. Свернутые коллоидные частицы образуют в таких грунтах прочную, водостойкую микроструктуру (например, в черноземах). Более высокую прочность и водостойкость грунтобетона при сравнительно небольшом расходе цемента должны давать карбонатные разновидности грунтов (лессы, серозёмы и др.).

Высокая прочность грунтобетона из карбонатных грунтов объясняется следующим. Наличие в грунте карбонатов кальция, помимо создания необратимой и сравнительно высокой цементации отдельных мельчайших частиц, вызывает также устойчивую коагуляцию таких частиц и образование прочной водостойкой микроструктуры. Среди сорбированных катионов поверхностного раствора в таких грунтах доминирующую роль играют ионы кальция. Катионы кальция и его карбонатные соединения эффективно обеспечивают повышение свойств грунтобетона уже в начальный период твердения. При наличии в грунтах карбонатов кальция резко уменьшается степень дисперсности грунта, увеличивается его относительная гидрофобность и создаются благоприятные условия для гидратации и твердения цемента.

При производстве грунтоблоков из карбонатных разновидностей грунтов гидратация и твердение цемента протекают в условиях, при которых благодаря избыточному содержанию катионов кальция в диффузном слое коллоидных частиц не происходит нарушения в установившемся динамическом равновесии между продуктами гидратации цемента – благодаря полному адсорбционному насыщению грунта катионами кальция не происходит заметного поглощения ионов кальция из продуктов гидратации цемента. При этом не исключается возможность диффузионного проникновения последних в тончайшие слои грунтовых агрегатов. Прочность образующегося в таких условиях цементогрунтового каркаса и его разветвленность характеризуются более высокими показателями, чем при использовании некарбонатных разновидностей грунтов.

Как показывают данные микроагрегатных анализов, значительная часть структурированных грунтов наряду с обратимым сцеплением частиц обладает также и истинным, необратимым. Необратимое сцепление присуще лишь микроагрегатам, состоящим из тонкодисперсных сцементированных фракций грунта. Прочность таких микроагрегатов бывает весьма значительной, причем частичное их разрушение наступает в результате кипячения и растирания в воде, и только под воздействием химических реагентов сцепление в агрегатах и микроагрегатах полностью нарушается и они распадаются на первичные очень мелкие частицы.

Межагрегатное сцепление, которое обеспечивается в основном силами молекулярного притяжения и капиллярного обжатия, особенно наглядно можно наблюдать на грунтах с прочной структурой. В случае переувлажнения таких грунтов связанность их между агрегатами быстро нарушается и грунт распадается на микроагрегаты.

Наличие прочного необратимого сцепления в микроагрегатах грунта объясняется клеящей способностью гелей гумусовых веществ, кремнекислоты, гидратов окиси железа и алюминия, а также тонкодисперсных глинистых минералов, которые, покрывая тончайшими пленками частицы грунта и проникая в его поры, склеивают мельчайшие частицы в агрегаты различных размеров. Склеивание частиц в прочные водостойкие агрегаты происходит в результате физико-химического и химического взаимодействия клеящих веществ в местах контакта их с грунтовыми частицами и последующего твердения вяжущих веществ, что приводит к изменению свойств грунтобетона.

Наблюдаемое в грунтах сцепление целесообразно разделить на два вида: постоян-

ное или внутриагрегатное (микроагрегатное) и переменное или межагрегатное. Первый вид сцепления в большинстве случаев характеризует собой прочное, необратимое склеивание мелких частиц в структурные агрегаты и микроагрегаты (например, в черноземах, лессах, сероземах). В этом случае основную роль в склеивании играют физико-химические факторы (адсорбция, гидратация, коагуляция, обменные реакции). Чисто физические факторы (молекулярное притяжение, капиллярное давление) играют второстепенную роль [2; 4; 5].

Как отмечалось ранее, среди присутствующих в грунте различных коллоидных веществ особое место занимают гумусовые вещества. Обладая наиболее высокой степенью дисперсности, гумусовые вещества вместе с тем представляют собой весьма сложные и разнообразные по свойствам соединения, способные к разнообразным активным физико-химическим взаимодействиям с различными веществами, в том числе и с цементами. Наиболее активной составной частью гумусовых веществ являются гуминовые кислоты, которые представляют собой сложные высокомолекулярные соединения, образовавшиеся при конденсации веществ ароматической природы и азотсодержащих органических соединений. Гуминовые кислоты различного происхождения, несмотря на то, что характеризуются общей схемой строения, не являются химически индивидуальными соединениями и имеют большое различие в своем составе и свойствах. По мере перехода от подзолистых грунтов к черноземам в гуминовых кислотах содержание углерода повышается, а водорода и кислорода – уменьшается. Таким образом, в черноземах гуминовые кислоты становятся более окисленными и более сложными по своей природе [4; 7; 12].

В дерново-подзолистых почвах гуминовые кислоты являются не только химически более простыми и высокодисперсными, чем в черноземах, но, что особенно важно, в подзолистых почвах изменяется состав гумуса – увеличивается содержание фульвокислот и значительно уменьшается содержание гуминовых кислот. Этими особенностями гумусовых веществ, по-видимому, и объясняется такой различный показатель прочности грунтобетона – исключительно малая прочность для подзолистого грунта и сравнительно высокая для обыкновенного чернозема [4].

При взаимодействии мелкодисперсной части кислых подзолистых грунтов, содержащих гумусовые вещества, в которых преобладают легкоподвижные фульвокислоты высокой степени дисперсности, на поверхности цементных частиц происходят сорбционные процессы, по времени опережающие процессы гидратации цемента.

Как показали работы С. В. Шестоперова, Ф. М. Иванова и Т. Ю. Любимовой, в ходе изотерм адсорбции гуминовых веществ наблюдается следующая закономерность: цементы с высоким содержанием трехкальциевого алюмината обладают наибольшей адсорбционной способностью; при этом скорость адсорбции также значительно больше для высокоалюминатных цементов. Наименьшей адсорбционной способностью обладает белитовый цемент [3]. Адсорбционное поглощение гумусовых веществ частичками цемента вызывает торможение процессов гидратации и твердения цемента. Помимо этого, коллоидные пленки гумусовых веществ, характеризующихся чрезвычайно высокой гидрофильностью, при соприкосновении с водой сильно набухают, что является причиной образования рыхлой, малоустойчивой коагуляционной структуры.

Цементогрунтовый каркас в таких условиях приобретает весьма небольшую механическую прочность и водостойкость, так как он разжижен вкрапленными в него набухшими мицеллами гидрофильных гумусовых веществ. Справедливость такого объяснения отрицательного действия гумусовых веществ подзолистого грунта подтверждается опытами по удалению гумусовых веществ сжиганием их перекисью водорода или прогрева грунта при 400 ^{o}C [4; 13].

В результате такого воздействия на грунт прочность грунтобетона, приготовленного из чернозема и особенно из подзолистого грунта, увеличивается в несколько раз.

Опыты с предварительным сорбционным насыщением кислых грунтов (с гумусовыми веществами и без них) гидратом окиси кальция или хлористым кальцием показывают резкое увеличение прочности и водостойкости грунтобетона. Таким образом, физико-химическое воздействие на грунт, вызывающее изменение его коллоидно-химических свойств в сторону уменьшения дисперсности и гидрофильности путем адсорбционного насыщения мелкодисперсной части катионами кальция, является весьма надежным и практически доступным приемом [1; 12].

Материал и методы исследования. С учетом теоретических разработок при выполнении экспериментальных исследований использовали глину каолиновую месторождения с. Новоалександровка (Днепропетровщина), криворожский портландцемент М400, песок днепровский (г. Днепропетровск). Во всех исследованиях расход цемента составлял 160…170 кг/м^3. Перед приготовлением цементно-грунтовой смеси глину естественной влажности измельчали (перетирали) на лабораторных бегунах (мешалка МЛ 1А). Для приготовления цементно-грунтовой смеси использовали смеситель принудительного действия СБ-80 (роторный смеситель). Образцы 10×10×10 см формовали методом прессования с немедленной распалубкой на гидравлическом прессе П-125. Все отформованные образцы первые 14 суток твердели в нормальных условиях, вторые 14 суток – в воздушно-сухих условиях (при естественной влажности). В возрасте 28 суток определяли их плотность и прочность.

Вначале определена рациональная величина прессующего давления при формовании образцов (рис. 1). Результаты исследований показали, что уже при давлении 4…5 МПа получена достаточно высокая прочность грунтобетона как стенового материала при плотности 1 600…1 700 кг/м^3.

В дальнейшем получены известные закономерности – с увеличением прессующего давления резко увеличивается прочность образцов, но при этом и увеличивается плотность (до 1 800 кг/м^3 и более), что отрицательно скажется на термическом сопротивлении возводимой конструкции.

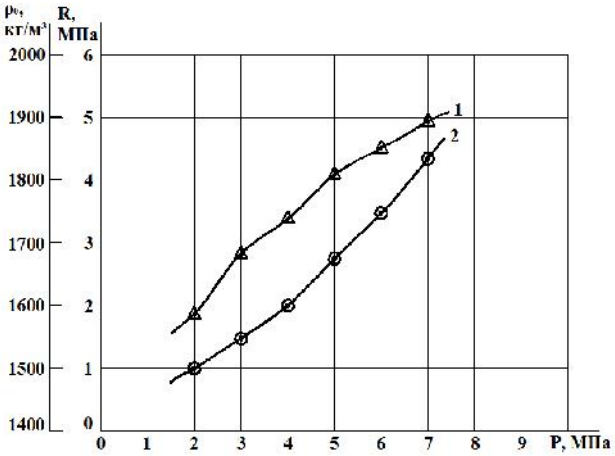

Рис. 1. Плотность свежеотформованного грунтобетона и прочность в 28-суточном возрасте в зависимости от величины прессующего давления:
1 – прочность грунтобетона; 2 – то же, плотность

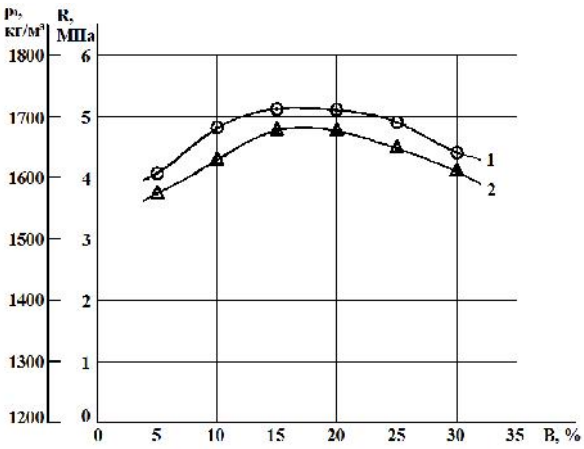

Рис. 2. Плотность свежеотформованного грунтобетона и прочность в 28-суточном возрасте в зависимости от влажности формовочной смеси:
1 – прочность грунтобетона; 2 – то же, плотность

На рисунке 2 показано влияние расхода воды (влажности смеси) на прочность и плотность грунтобетона. В наших исследованиях рациональная влажность цементно-грунтовой смеси составила 13…15 %. При этой влажности получена достаточная прочность грунтобетона (5…6 МПа) при относительно невысокой плотности как стенового материала. При более высокой влажности при принятом давлении прессования интенсивно отжимается вода из уплотняемой цементно-грунтовой смеси, усложняется немедленная распалубка образцов (изделий), возникает потребность в чистке формы.

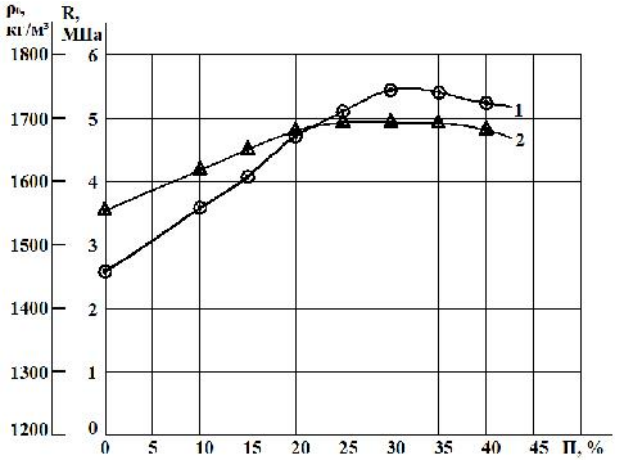

Рис. 3. Плотность свежеотформованного грунтобетона и прочность в 28-суточном возрасте в зависимости от расхода песка в цементно-грунтовой смеси:
1 – прочность грунтобетона; 2 – то же, плотность

Добавка более крупной фракции в цементно-грунтовую смесь в оптимальном количестве способствует повышению прочности грунтобетона, однако и интенсивно увеличивается плотность грунтобетона, что не желательно для стенового материала (рис. 3). По нашему мнению, добавление более крупной фракции допустимо при увеличении плотности до 1 600…1 700 кг/м^3.

Вывод. Разработаны научно-технические основы производства грунтоблоков высокого качества при использовании цемента и местных грунтов. Установлено, что для любого метода производства таких изделий должен быть принцип активного воздействия на изменение коллоидно-химических свойств используемого грунта, что определяет характер и кинетику взаимодействия грунта с вносимыми в него вяжущими материалами и, соответственно, качество получаемых грунтоблоков. Определены рациональный состав цементно-грунтовой смеси, расход воды, величина прессующего давления, при которых обеспечивается достаточная прочность грунтобетона при необходимой плотности как стенового материала.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Безрук В. М. Теоретические основы укрепления грунтов цементами / Б. М. Безрук – Москва : Автотрансиздат, 1956. – 124 с.
2. Безрук В. М. Укрепление грунтов / Б. М. Безрук. – Москва : Транспорт, 1965. – 246с.
3. Безрук В. М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве / Б. М. Безрук – Москва : Транспорт, 1971. – 246 с.
4. Безрук В. М. Устройство цементогрунтовых оснований и покрытий / В. М. Безрук, К. А. Князюк. – Москва : Дориздат, 1951. – 221 с.
5. Виленкина Н. М. Строительство из цементно-грунтовых камней / Н. М. Виленкина, Л. А. Андреев // Городское и сельское строительство. – 1957. – № 4. – С. 5-7.
6. Виленкина Н. М. Цементно-грунтовые камни / Н. М. Виленкина. – Москва : Госстройиздат, 1961. – 86 с.
7. Гедройц К. К. Почвенные коллоиды и поглотительная способность почв / К. К. Гедройц. – Москва : Сельхозгиз, 1955. – 166 с.
8. Гедройц К. К. Учение о поглотительной способности почв / К. К. Гедройц. – Москва : Сельхозгиз, 1953. – 156 с.
9. Денисов Н. Я. О коллоидно-химической природе связности глинистых пород / Н. Я. Денисов, П. А. Ребиндер // Доклады Академии наук СССР. – Москва ; Ленинград, 1946. – Т. IX, № 6. – С. 136-142.
10. Попов Н. А. Грунтоматериалы в строительстве зданий / Н. А. Попов. – Москва : Изд-во акад. арх. СССР, 1944. – 122 с.
11. Попов Н. А. Производство и применение грунтоблоков / Н. А. Попов, Н. М. Богин. – Москва : Изд-во акад. арх. СССР, 1945. – 115 с.
12. Ребиндер П. А. Придание грунтам водонепроницаемости и механической прочности / П. А. Ребиндер, Н. Н. Сербина. – Москва : Изд. АН СССР. 1942. – 32 с.
13. Сергеев Е. М. Грунтоведение / Е. М. Сергеев. – Москва : Изд-во МГУ, 1959. – 336 с.
14. Строительные материалы / Б. Г. Скрамтаев, Н. А. Попов, Н. А. Герливанов, Г. Г. Мудров. – Москва : Стройиздат,1954. – 648 с.
15. Brooke-Dradley H. E. Flexibility as a factor in design of stabilized soil bases / H. E. Brooke-Dradley // Roads and Road construction. – 1954. – Vol. 32, № 380. – P. 126-133.

REFERENCES

1. Bezruk V. M. *Teoreticheskie osnovy ukrepleniya gruntov cementami* [The theoretical basis for strengthening of soil cements]. Moscow, Avtotransizdat, 1956, 124 p. (in Russian).
2. Bezruk V. M. *Ukreplenie gruntov* [Strengthening of soils]. Moscow, Transport, 1965, 246 p. (in Russian)
3. Bezruk V. M. *Ukreplenie gruntov v dorozhnom i aerodromnom stroitelstve* [Strengthening of soils in road and aerodrome building]. Moscow, Transport, 1971, 246 p. (in Russian).
4. Bezruk V. M., Knyazyuk K. A. *Ustroystvo cementogruntovykh osnovaniy i pokrytiy* [The device of cement-ground bases and covers]. Moscow, Dorizdat, 1951, 221 p. (in Russian).
5. Vilenkina N. M., Andreev L. A. *Stroitelstvo iz cementno-gruntovykh kamney* [Construction from cement-ground stones] Gorodskoe i selskoe stroitelstvo, 1957, no. 4, pp. 5-7. (in Russian).
6. Vilenkina N. M. *Cementno-gruntovye kamni* [Cement-ground stones]. Moscow, Gosstroyizdat, 1961, 86 p. (in Russian).
7. Gedrojc K. K. *Pochvennye kolloidy i poglotitelnaya sposobnost' pochv* [Soil colloids and absorption capacity of the soil]. Moscow, Selkhozgiz, 1955, 166 p. (in Russian).
8. Gedrojc K. K. *Uchenie o poglotitelnoy sposobnosti pochv* [Doctrine of the absorption capacity of the soil]. Moscow, Selkhozgiz, 1953, 156 p. (in Russian).
9. Denisov N. Y., Rebinder P. A. *O kolloidno-khimicheskoy prirode svyaznosti glinistykh porod* [About colloid-chemical nature of coherentness of clay breeds] Doklady akademii nauk SSSR, Moscow ; Leningrad, 1946, T. IX, no. 6, pp. 136-142. (in Russian).
10. Popov N. A. *Gruntomaterialy v stroitelstve zdanij* [Soil materials in the construction of buildings]. Moscow, izd-vo akad. arh. SSSR, 1944, 122 p. (in Russian).
11. Popov N. A., Bogin N. M. *Proizvodstvo i primenenie gruntoblokov* [Production and use of gruntoblokov]. Moscow, izd-vo akad. arh. SSSR, 1945, 115 p. (in Russian).
12. Rebinder P. A., Serbina N. N. *Pridanie gruntam vodonepronicaemosti i mexanicheskoj prochnosti* [Giving water-proofing and mechanical strength to soils]. Moscow, izd. AN SSSR, 1942, 32 p. (in Russian).
13. Sergeev E. M. *Gruntovedenie* [Pedology]. Moscow, izd-vo MGU, 1959, 336 p. (in Russian).
14. Skramtaev B. G., Popov N. A., Gerlivanov N. A., Mudrov G. G. *Stroitelnye materialy* [Building materials]. Moscow, Strojizdat, 1954, 648 p. (in Russian).
15. Brooke-Dradley H. E. Flexibility as a factor in design of stabilized soil bases – Roads and Road construction, no. 380, vol. 32, 1954, pp. 126-133.

Стаття рекомендована до друку 06.07.2015 р.
Рецензент: д. т. н. Шпірько М. В.
Надійшла до редколегії: 16.06.2015 р. Прийнята до друку: 22.06.2015 р.