

УДК 691.41

*Кандидаты техн. наук Л.В. Трикоз,  
О.С. Герасименко,  
инж. И.А. Козеняшев*

*L.V. Trykoz, O.S. Gerasymenko,  
I.A. Koztnyashev*

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ  
ГРУНТОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

**THEORETICAL BASISES OF THE SOIL CONTAINING MATERIAL**

*Представил д-р техн. наук, профессор А.А. Плугин*

**Введение.** Для сооружения промышленных объектов, реконструкции и дальнейшего развития городов, строительства дорог, оросительных систем и других сооружений необходимо чрезвычайно большое количество строительных материалов. Для керамического производства необходимы специальные сорта глин, для бетонов на основе цемента – специальных заполнителей (крупных чистых песков, щебня, гравия). Месторождения таких материалов на территории нашей страны

размещены неравномерно. Следовательно, в стоимость большинства строительных материалов включены дополнительные затраты на перевозку сырьевых компонентов. В корне изменить существующее положение можно использованием сырья из местного наличия, а именно различных грунтов – песков, супесей, суглинков, лессов или смесей песков с суглинками и глинами. Проблема строительства из грунтов, как материалов местных, подручных, становится особенно актуальной.

**Анализ предыдущих публикаций и исследований.** Исследованиям свойств грунтов как возможных составляющих строительных материалов посвящено большое количество публикаций. В работе [1] были намечены возможные пути такого использования: кальцинирование, обработка кислотами, солями, смолами, белковыми компонентами. А глино-смоло-известковые блоки было предложено назвать терролитами. В работе [2] такие строительные материалы названы грунтосиликатами. Заполнителями в них являются дисперсные грунты, а связующим – грунтоцемент. Причем под этим термином понимается не смесь грунта с клинкерным цементом, а продукт совместного помола веществ алюмосиликатного состава, в том числе перечисленных грунтов, и несиликатных соединений щелочных металлов (едких щелочей, сульфидов, карбонатов, нитратов, фторидов, сульфатов, хлоридов и т.п.). Из грунтосиликатного бетона были изготовлены панели покрытий, восьмипустотные настилы, облицовка канала оросительной системы, лотки и плиты для облицовки канала, сантехнические кабины, безнапорные трубы. Отмечалось, что грунтосиликатные материалы имеют неисчерпаемую сырьевую базу в виде очень распространенных дисперсных грунтов, а также сырье для изготовления необходимых щелочных соединений в виде хлористых и сульфатных солей щелочных металлов. В работе [3] доказано, что из дисперсных грунтов наибольшую активность при взаимодействии с щелочами имеют глинистые минералы. Название «грунтоцементы» отображает цементирующие свойства («-цементы») за счет процессов в грунтах земной коры («грунто-»). В 1978 году рассматривалось твердение системы «каолинит-едкие щелочи» как развитие процесса полимеризации кремнекислородных цепей с переменным соотношением Si-O и

регулированием рН, в связи с чем назвали вяжущее «геополимером». Дальнейшее исследование грунтоцементов в научной школе Глуховского привело к объединению понятий «грунтоцементы» и «геополимеры» в «геоцементы» – клеющие растворы широкой номенклатуры с регулируемыми свойствами. В трудах [4] перечислено использование различных грунтов (пылеватых и глинистых песков, супесей и суглинков, лесса, осыпей известняка, сланцев, мелких морских песков и т.д.) как заполнителей грунтосиликатного бетона для изготовления широкой номенклатуры изделий: противофльтрационные и волнозащитные устройства в плотинах, дамбах и каналах, лотки, плиты облицовки каналов, седла, стойки, блоки, фундаментные плиты, стеновые панели, конструкции для морского противооползневого строительства. Здесь же – дорожные одежды из измельченного и перемешанного на месте грунта с добавлением вяжущего. В работе [5] описано устройство фундаментов из укрепленного цементом грунта. Такие фундаменты из цементогрунта имели марку 35-200 и по морозостойкости 25-1000 после тепло-влажностной обработки. В основе возможности создания цементогрунта – лежит физико-химическое взаимодействие глинистых минералов с цементом. На большую сырьевую базу указывалось и в работе [6]. Согласно [7] укрепленный грунт представляет собой материальную систему, в которой ее составные части – грунтовые зерна и связующие вещества – сохраняют свою химическую индивидуальность, а процессы физико-химического взаимодействия протекают главным образом на границах раздела фаз, поэтому авторы предлагают пользоваться термином не «укрепленные грунты», а «композиционные материалы на основе грунтов». На их взгляд, этот термин более удачен для тех случаев, когда укрепленный грунт рассматривается как строительный материал.

**Цель статьи.** Известно много различных теоретических основ почти по каждому применяемому вяжущему и заполнителю, однако обобщение этих теорий и выявление наиболее существенных сторон их взаимодействия не сделано. Важнейшей предпосылкой к разработке единой теории является преобладающая значимость (в количественном и качественном отношении) роли электроповерхностных явлений и структурных элементов разных уровней. Целью данной статьи является выявление единого структурного подхода к обеспечению прочности строительных материалов, для чего в статье будут проведены необходимые расчеты.

**Новые результаты расчета структурных характеристик глин.**

Анализ структуры минералов глин дает основание представить их как конденсированную дисперсную систему, дисперсная фаза которой представлена частицами минерала, а дисперсионная среда – водой. Рассмотрим морфологические признаки двух основных типов глинистых материалов. Каолин имеет в основном частицы с размером до 2 мкм и незначительное количество (по объему) намного меньших частиц между ними. При невысокой влажности монтмориллонит имеет частицы несколько меньшие по

размеру, однако одного порядка с ними, и также небольшое количество намного меньших частиц. При увеличении влажности монтмориллонитовых глин большие по размерам частицы диспергируют, и глина становится субмикроскопической с размером частиц 45-90 нм (в среднем 68 нм = 6,8·10<sup>-8</sup> м).

Глинистые грунты (глины, суглинки или супеси), состоящие из песчаной и глинистой составляющих, можно рассматривать как полидисперсную систему трех уровней: субмикроуровень (частицы глины размером в среднем 68 нм = 0,068 мкм), микроуровень (размер частиц глины составляет единицы микрометров) и мезоуровень (частицы глины и зерна песка размером в десятки и сотни микрометров). При этом часть глины распределяется на поверхности зерен песка одним монослоем, раздвигая их, а остальная – в тонких прослойках между зернами песка, пустоты между которыми заполняют остальные частицы глины.

С учетом этого структуру глинистых грунтов можно охарактеризовать, по аналогии с цементными растворами и их структурными характеристиками, данными в [8], коэффициентом раздвижки зерен песка  $\mu$  и коэффициентом раздвижки частиц глины  $\lambda$ , соответственно:

$$\mu = \frac{V_{чг} + B}{V_{пвс}^п} = \frac{\frac{Гл}{\rho^{гл}} + B}{\frac{П}{\rho_{нас}^п} П_{пвс}^п} = \frac{\frac{Гл}{\rho^{гл}} (1 + \frac{B}{Гл} \cdot \frac{\rho^{гл}}{\rho^B})}{\frac{П}{\rho_{нас}^п} П_{пвс}^п} = \frac{Гл \cdot \rho_{нас}^п}{П \cdot П_{пвс}^п \cdot \rho^{гл}} \cdot (1 + \frac{B}{Гл} \cdot \frac{\rho^{гл}}{\rho^B}), \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{B}{V_{пвс}^{Гл}} = \frac{\frac{Гл \cdot W_{Гл}}{\rho_{нас}^п} П_{пвс}^{Гл}}{П_{пвс}^{Гл}} = \frac{W_{Гл} \cdot \rho_{нас}^{Гл}}{П_{пвс}^{Гл}}, \quad (2)$$

где  $V_{чг}$  – объем частиц глины, м<sup>3</sup>;  $V_{пвс}^п$  – объем пустот песка, м<sup>3</sup>;  $B$  – объем воды в грунте, м<sup>3</sup>;  $Гл$  – масса частиц глины, кг;

$\rho^{гл}$  – плотность частиц глины, кг/м<sup>3</sup>;  $П$  – масса частиц песка, кг;  $\rho_{нас}^п$  – насыпная плотность песка, кг/м<sup>3</sup>;  $П_{пвс}^п$  – пус-

тотность песка, дол.ед.;  $\rho^B$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $V^{Пл}$  – объем пустот глины, м<sup>3</sup>;  $W_{Гл}$  – влажность глины, дол.ед.;  $\rho^{Пл}_{НАС}$  – насыпная плотность глины, кг/м<sup>3</sup>;  $\Gamma^{Пл}_{ПВС}$  – пустотность глины, м<sup>3</sup>.

Подставим усредненные характеристики глинистых грунтов в формулу (1). После подстановки ( $\rho^{Пл} = 3000$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho^{Пл}_{НАС} = 1400$  кг/м<sup>3</sup>,  $\Gamma^{Пл}_{ПВС} = 0,4$ ,  $\rho^B = 1000$  кг/м<sup>3</sup>), выразив массу глины как долю от количества песка  $n$  и обозначив отношение массы воды к массе песка как влажность  $W$ , получим такой вид формулы (1):

$$\mu = \frac{n \cdot 1,4}{1,2} \cdot \left(1 + W \cdot \frac{3}{n}\right). \quad (3)$$

В зависимости от количества глинистой составляющей и воды возможны случаи  $\mu < 1$ ,  $\mu = 1$  и  $\mu > 1$ . При коэффициенте  $\mu$ , большем 1, вода и глинистые частицы будут раздвигать частицы песка и заполнять пустоты. Произведем расчет коэффициента раздвижки зерен  $\mu$  при различных значениях влажности  $W$ . Результаты расчета представлены на рисунке.

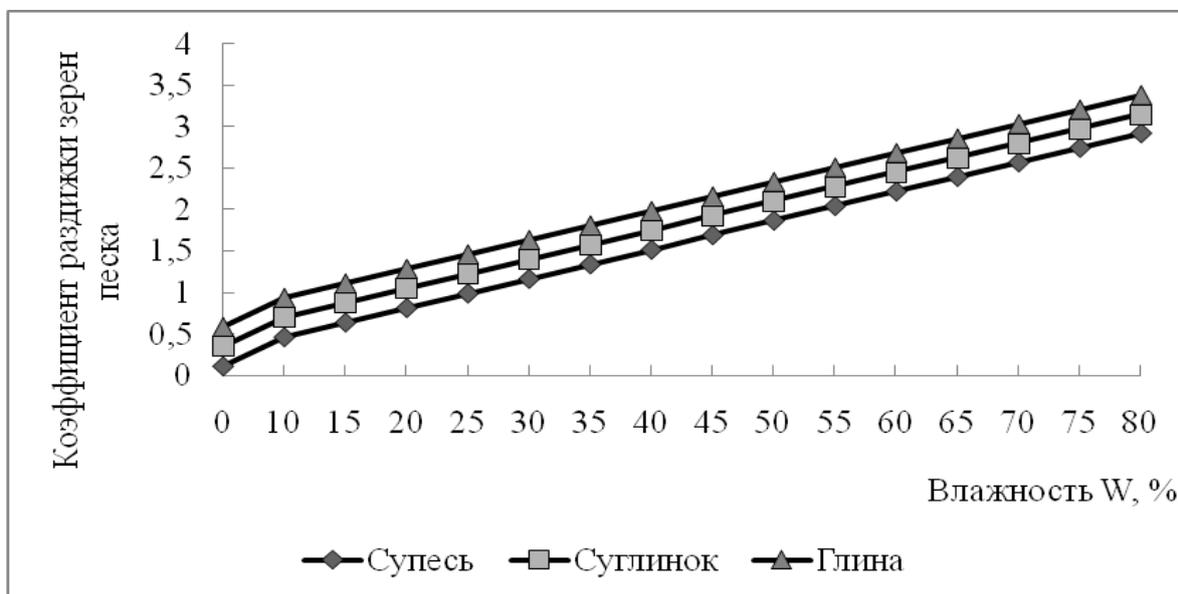


Рис. Зависимость  $\mu$  от влажности

Анализируя представленные на рисунке данные, можно установить следующие закономерности. Увеличение количества глинистых частиц и воды в грунте приводит к увеличению толщины прослойки между частицами песка и, следовательно, к увеличению значения  $\mu$ , что служит подтверждением корректности расчета. Коэффициент  $\mu = 1$  соответствует влажности глинистых грунтов соответствующего вида на пределе усадки,  $\mu = 2$  – на пределе раскатывания,  $\mu = 3$  – на пределе текучести. Следовательно, данные

структурные характеристики могут быть использованы как при определении прочности закрепляемых грунтов, так и для прогнозирования состояния и устойчивости грунтовых массивов в целом.

**Выводы и перспективы использования.** Исходя из экономических соображений наибольшее значение в строительной практике будут иметь композиционные материалы на основе грунтов, в которых дефицитные и относительно дорогие вяжущие и добавки к ним используются в минимальных

объемах, а основную часть составляют те или иные отходы и побочные продукты промышленных предприятий. Исследование и анализ структурных характеристик грунтов показали, что эти материалы подобны между собой как по

прочностным, так и по деформационным свойствам. Отмеченное убеждает в объективности сформулированных теоретических положений о единстве природы процессов структурообразования в грунтах рассмотренной группы.

### *Список литературы*

1. Будников, Е.П. Применение белковых стабилизаторов в строительстве из грунтов [Текст] / Е.П. Будников, А.А. Пеганов, В.В. Чернов // Сообщения института строительной техники Академии архитектуры СССР. – М., 1944. – Вып. 14. – 24 с.
2. Глуховський, В.Д. Грунтосилікатні вироби і конструкції [Текст] / В.Д. Глуховський. – К.: Будівельник, 1967. – 154 с.
3. Метаколін в будівельних розчинах і бетонах: монографія [Текст] / Л.Й. Дворкін, Н.В. Лушнікова, Р.Ф. Рунова, В.В. Троян – К.: Вид-во КНУБіА, 2007. – 216 с.
4. Исследование и внедрение в производство грунтосиликатных материалов, конструкций и изделий [Текст] // Материалы II республиканской научно-технической конференции. – К., 1968. – 56 с.
5. Токин, А.Н. Фундаменты из цементогрунта [Текст] / А.Н. Токин. – М.: Стройиздат, 1984. – 184 с.
6. Каолины Украины: справочник [Текст] / Под.ред. Ф.Д. Овчаренко. – К.: Наук. думка, 1982. – 367 с.
7. Платонов, А.П. Композиционные материалы на основе грунтов [Текст] / А.П. Платонов, М.Н. Першин. – М.: Химия, 1987. – 144 с.
8. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: в 3-х томах [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Ал.А. Плугин и др. – К.: Наук. думка, 2012. – Т. 3. Теория прочности, разрушения и долговечности бетона, железобетона и конструкций из них. – 2012. – 287 с.

**Ключевые слова:** грунт, коэффициент раздвижки зерен, структура.

### *Аннотации*

Проведено аналіз застосування ґрунтів як заповнювачів або в'язучих при створенні будівельних матеріалів і виробів з них. Показано, що теоретичною передумовою створення ґрунтовмісних матеріалів і забезпечення їх міцності і довговічності може бути структурний підхід на основі коефіцієнтів розсунення зерен піску частинками глини і води. Зроблено висновок про об'єктивність сформульованих теоретичних положень про єдність природи процесів структуроутворення в ґрунтах розглянутої групи.

Проведен анализ применения грунтов как заполнителей или вяжущих при создании строительных материалов и изделий из них. Показано, что теоретической предпосылкой создания грунтодержущих материалов и обеспечения их прочности и долговечности может быть структурный подход на основе коэффициентов раздвижки зерен песка частицами глины и воды. Сделан вывод об объективности сформулированных теоретических положений о единстве природы процессов структурообразования в грунтах рассмотренной группы.

The analysis of the use of soils as binders or fillers to create building materials and products from them was done. It is shown that the theoretical premise of creating soil containing materials and to ensure their strength and durability may be a structural approach based on the coefficients of the move apart grains by the sand particles of clay and water. It is concluded that the objectivity formulated theoretical propositions about the nature of the unity of structure formation processes in soils examined group.