

УДК 625.7/8

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ

А.А. Лунёв, В.В. Сиротюк, Н.И. Барац
ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск

Аннотация. В статье рассматриваются результаты лабораторных испытаний золошлаковой смеси (ЗШС) из отвала Омской ТЭЦ-4, работающей на Экибастузском угле. В ходе проведённых исследований определены прочностные характеристики этого техногенного грунта в зависимости от степени уплотнения и влажности.

Оценена его пригодность в качестве грунтового материала для возведения насыпей земляного полотна автомобильных дорог, а также как основания зданий и сооружений. Установлены эмпирические зависимости свойств золошлака от влажности и плотности скелета грунта. Сопоставлены прочностные показатели ЗШС и природных грунтов нашего региона.

Ключевые слова: золошлаковая смесь, лабораторные испытания, прочностные характеристики, параметры для математического моделирования.

Введение

Одной из актуальных проблем строительной отрасли является нехватка природных строительных материалов во многих регионах РФ. В пригороде Омска, как и в других мегаполисах, имеются существенные трудности с изысканием кондиционных грунтов для планировочных работ на строительных площадках и возведения насыпей земляного полотна автомобильных дорог. Территории, выделяемые под карьеры, часто представляют собой участки с переувлажнёнными глинистыми грунтами, использование которых вызывает повышение энерго- и трудозатрат при строительстве и увеличивает его стоимость. В связи с этим подрядчики вынуждены использовать песчаные грунты, добываемые в русле р. Иртыш, дальность транспортировки и отпускная цена которых существенно сказывается на стоимости строительства. Кроме того, это негативно отражается на вопросах экологии.

Одним из возможных путей решения проблемы расширения сырьевой базы грунтовых строительных материалов и эффективной утилизации побочных продуктов теплоэнергетики является использование - золошлаковых смесей (ЗШС) из отвалов ТЭЦ.

В Омске действуют три крупных отвала: ТЭЦ-2, ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5. Суммарно на них накоплено около 65 млн. т золошлаковых отходов [1]. Поскольку в золоотвалах ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 (работающих на каменном угле Экибастузского угольного бассейна) накоплена основная часть ЗШС, наши исследования сосредоточены на техногенном грунте из этих отвалов.

Ранее мы изучили особенности водно-теплового режима насыпей из ЗШС [2]. Главным препятствием на сегодняшний день, ограничивающим использование ЗШС в строительстве, является недостаточная изученность их физико-механических свойств и, следовательно, величины расчётных параметров для проектирования инженерных сооружений.

Для обоснования возможности применения ЗШС в строительстве необходимо определить их физико-механические параметры, сравнить с параметрами природных грунтов, используемых в регионе. На базе полученных данных планируется разработать математические модели, позволяющие обоснованно назначать прочностные показатели этого техногенного грунта при проектировании насыпей для вертикальной планировки под строительные площадки и земляного полотна автомобильных дорог.

Методика эксперимента

В рамках исследования была подготовлена программа испытаний, которая представляла собой ряд однофакторных экспериментов. Выбор условий экспериментов, отражал наиболее вероятные состояния насыпей в процессе их возведения и эксплуатации на протяжении жизненного цикла. Программа исследований приведена в табл. 1.

Перед изготовлением образцов определялась величина максимальной плотности сухого грунта и оптимальная влажность ЗШС в соответствие с требованиями ГОСТ 22733 [3].

Таблица 1

Программа испытаний

Номер серии	Изменяемый параметр ЗШС	Интервал изменения	Значение прочих параметров	Цель серии испытаний
1	Коэффициент уплотнения	0,9 - 1,05	Оптимальная влажность	Определить закономерности изменения механических свойств ЗШС в зависимости от степени уплотнения и увлажнения
2	Влажность	12–33%	Коэффициент уплотнения 0,95	

Перед формовкой образцов были построены корреляционные зависимости между величиной уплотняющей работы, приложенной к грунту, и коэффициентом уплотнения, что позволяло изготавливать образцы требуемой плотности и влажности в ходе дальнейших испытаний.

Исследование прочностных характеристик ЗШС осуществляли на приборах прямого среза ПСГ-3М, в соответствии с методикой ГОСТ 12248 [4]. Образцы ЗШС формировали в большом приборе стандартного уплотнения, согласно методике [3], варьируя степень уплотнения числом ударов гири. После уплотнения форма взвешивалась для уточне-

ния коэффициента уплотнения. В случае достижения требуемого значения плотности в ЗШС вдавливали кольцо для испытаний на прямой срез в приборе ПСГ-3М.

Испытания проводили при консолидированно-дренированном (медленном) срезе с вертикальным нагружением образцов. Значения нормального напряжения принимали по [4] как для пылеватых песков и супесей.

Обсуждение результатов экспериментов

Результаты определения плотности скелета ЗШС при разной влажности при уплотнении представлены на рис. 1.

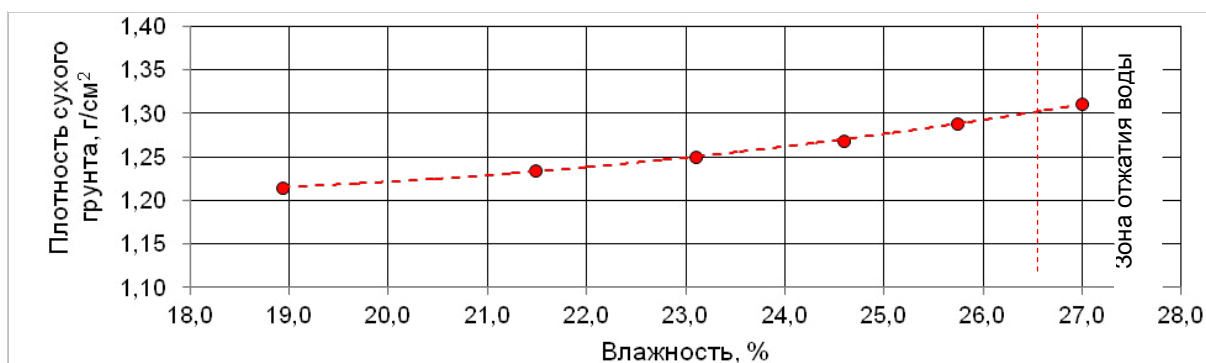


Рис. 1. Зависимость максимальной плотности сухого грунта от влажности

График стандартного уплотнения для ЗШС часто не имеет экстремума, характерного для глинистых грунтов. Причём изменение плотности не превышает 10 % при значительном изменении влажности. Поэтому понятие оптимальной влажности для этого техногенного грунта назначают по предельному значению плотности до зоны отжатия воды.

Величина оптимальной влажности для ЗШС в два и более раза превышает аналогичный показатель для пылеватых песков и лёгких супесей, хотя гранулометрический состав этих природных и техногенных грунтов имеют близкие значения. Аномально высокие значения водопоглощения ЗШС объясняются особенностями их микроструктуры.

В отличие от большинства природных дисперсных материалов золошлаки не могут ха-

рактеризоваться только гранулометрическим составом. Вследствие термических преобразований частицы, проходящих в факеле котлоагрегатов этап пиропластического состояния с выделением сложной газообразной фазы, обладают значительной микропористостью (рис. 2, микрофотографии предоставлены ООО «Институт прикладной экологии и гигиены»).

Удельная поверхность ЗШС, определённая по стандартной методике воздухопроницаемости, изменяется в пределах от 0,8 до 2,5 тыс. см²/г в зависимости от места отбора. Наличие открытой и закрытой микропористости является причиной того, что величина действительной удельной поверхности зольных частиц (определённая по методике низкотемпературной адсорбции азота или десорбции аргона) достигает до 50 тыс. см²/г.

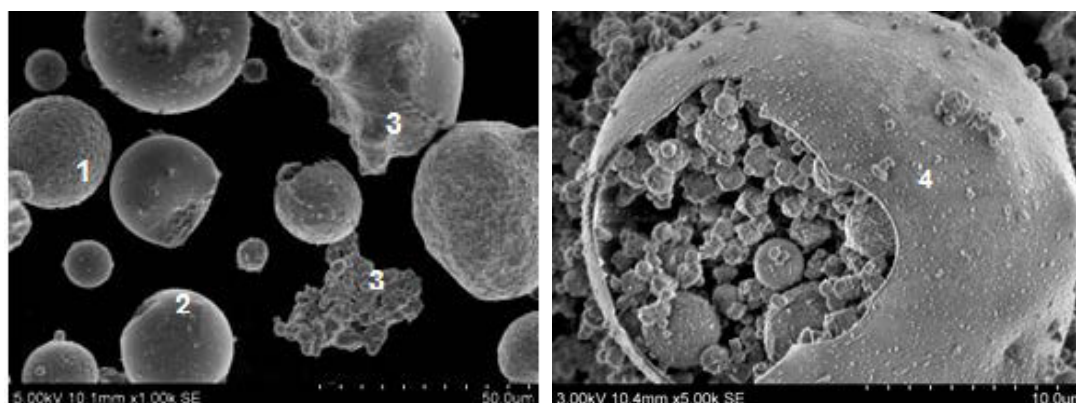


Рис. 2. Основные морфологические элементы золы: сферы с шероховатой бугристой поверхностью (1); с гладкой остеклованной поверхностью (2); обломки частиц и агрегаты неправильной формы (3); плеросфера с нарушенной оболочкой (4)

Значительная величина удельной поверхности высокодисперсных зольных частиц является основной причиной аномально высокой водоудерживающей способности всех золошлаков. Эта же причина объясняет сравнительно малую величину насыпной плотности ЗШС, которая обычно изменяется от 0,8 до 1,3 г/см³. Хотя истинная плотность стекловидного вещества зольных частиц может достигать величины от 2,5 до 3,2 г/см³.

Разделение сопротивления грунтов сдвигу на внутреннее трение и сцепление имеет в значительной степени условный характер. В процессе сдвига нельзя в чистом виде выделить элементы, связанные с деформацией водных плёнок, преодолением сил молекулярного взаимодействия, взаимной заклинки и механического зацепления частиц. Следовательно, не всегда возможно установить точные математические зависимости изменения этих параметров.

Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c , МПа, вычисляли, проводя прямую наилучшего приближения к экспериментальным точкам по методу наименьших квадратов, согласно ГОСТ 12248.

На рисунке 3 представлены результаты определения угла внутреннего трения и удельного сцепления образцов ЗШС в зависимости от коэффициента уплотнения.

Интервалы коэффициента уплотнения для этого цикла испытаний назначены от величины 0,9 – минимально уплотнённый грунт, характерный для начала процесса уплотнения, до 1,05 – переуплотнённый грунт.

Из графиков (см. рис. 3) следует, что плотность ЗШС оказывает существенное влияние на прочностные характеристики этого техно-

генного грунта. С ростом плотности частицы всё более сближаются, соответственно растёт и число контактов, защемлений и глубина заклинки отдельных частиц. С увеличением величины нормальной нагрузки трение будет выше, т.к. больше таких заклинок. Сцепление падает при увеличении коэффициента уплотнения от 1,0 до 1,05. Предположительно это объясняется разрушением крупных пористых агрегатов ЗШС, происходящим в процессе уплотнения (рисунок 4). Поскольку частицы ЗШС имеют пористую структуру и угловатую форму с большим количеством неровностей, их сцепление во многом обеспечено взаимным зацеплением частиц. Поэтому при приложении повышенной уплотняющей работы, возникающие контактные напряжения разрушают эти зацепления и соответственно уменьшают эту составляющую сопротивления сдвигу, сохраняя в тоже время сцепление, вызванное взаимодействием водных плёнок частиц [5, 6].

Испытания ЗШС с разной влажностью проводили при коэффициенте уплотнения 0,95, что, как правило, соответствует бытовой плотности грунтов в нашем регионе. В тоже время влажность земляного полотна может изменяться в течение жизненного цикла в широких пределах, для которых и было проведено исследование. Максимальное значение влажности 33 % соответствует полному водонасыщению ЗШС при нормальном давлении 100 кПа.

На рис. 5 представлены результаты определения прочностных характеристик ЗШС в зависимости от её влажности.

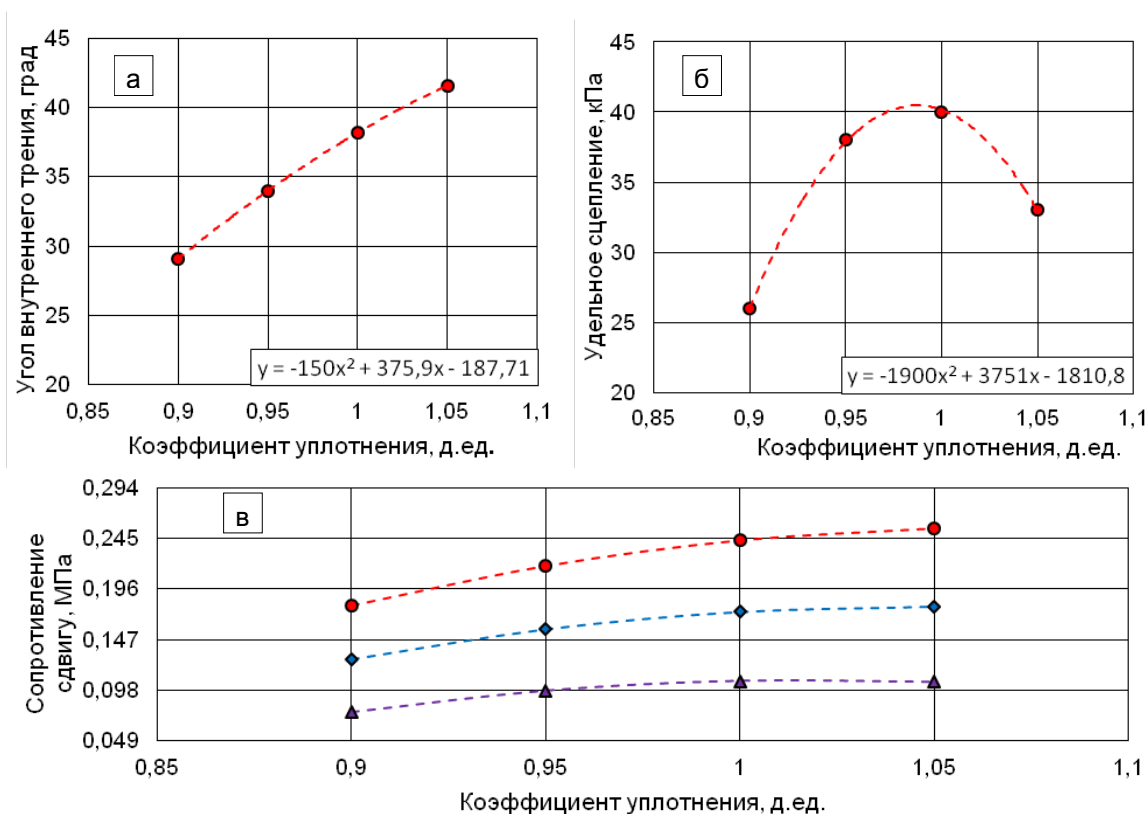


Рис. 3. Зависимости угла внутреннего трения (а), удельного сцепления (б) и сопротивления сдвигу(в) от коэффициента уплотнения. Сопротивление сдвигу при напряжениях:
 ◆ – 100 кПа; ▲ – 200 кПа; ● – 300 кПа

При многократном испытании образцов с разной влажностью были получены нестандартные зависимости угла внутреннего трения. Подобная форма зависимости может указывать на присутствие эффекта капиллярной связности в золошлаковых смесях [7]. В целом же, установлено, что срезающие напряжения необходимые для разрушения образца, возрастают с ростом влажности вплоть до оптимального его значения. С появлением избыточного увлажнения сопротивление сдвигу начинает падать.

Рост сцепления при низкой влажности, по-видимому, связан с усилением взаимодействия водных плёнок, удерживающая сила которых и объясняет рост сцепления при одинаковой степени уплотнения. После появления избытка влажности (20,5 %) происходило

уменьшение сцепления, что соотносится с результатами опытов Н.Н. Маслова для пылеватых грунтов с избыточной влажностью [8].

После определения прочностных параметров ЗШС было проведено их сравнение с природными грунтами, преобладающими в районе г. Омска. Сводные данные по параметрам грунтов представлены в таблице 2 [9].

Можно отметить, что ЗШС представляет собой техногенный грунт, не уступающий по прочностным характеристикам природным грунтам в условиях их естественного сложения. Более того, он превосходит по сопротивлению сдвигу большую часть представленных природных отложений. Следовательно, его применение в строительной отрасли целесообразно ввиду вполне приемлемой несущей способности.

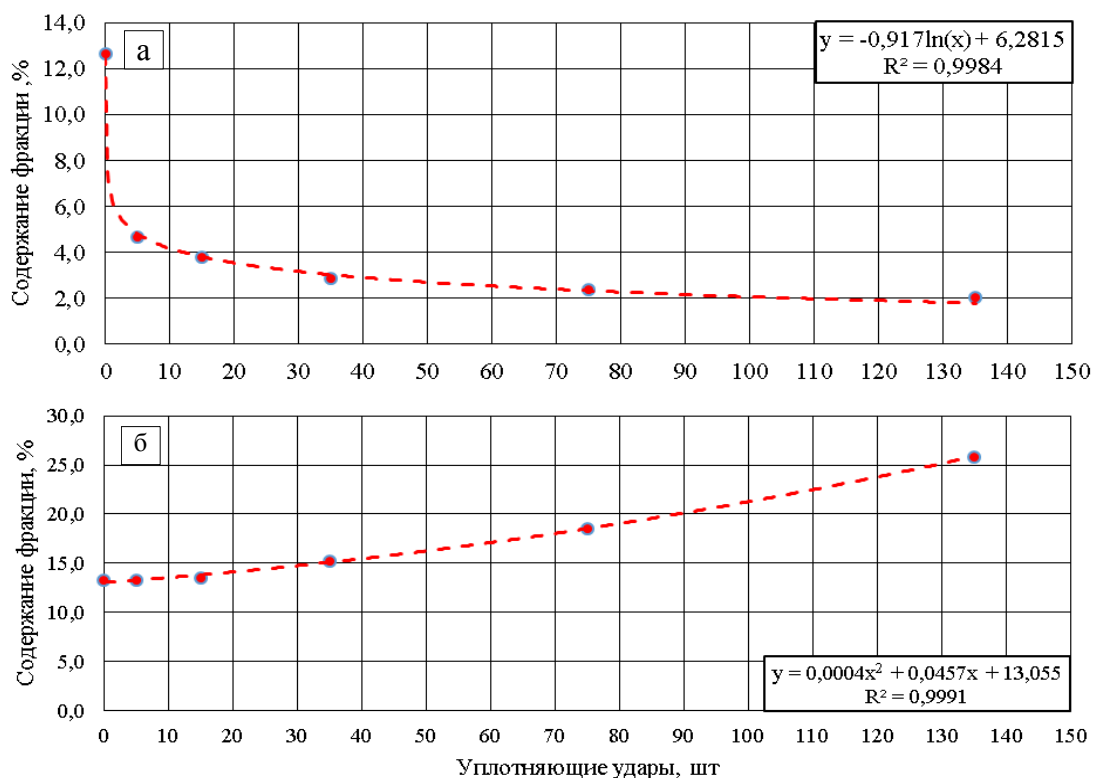


Рис. 4. Изменение содержания фракции размером свыше 0,25 мм (а) и менее 0,1 мм (в) в ЗШС в зависимости от уплотняющих ударов

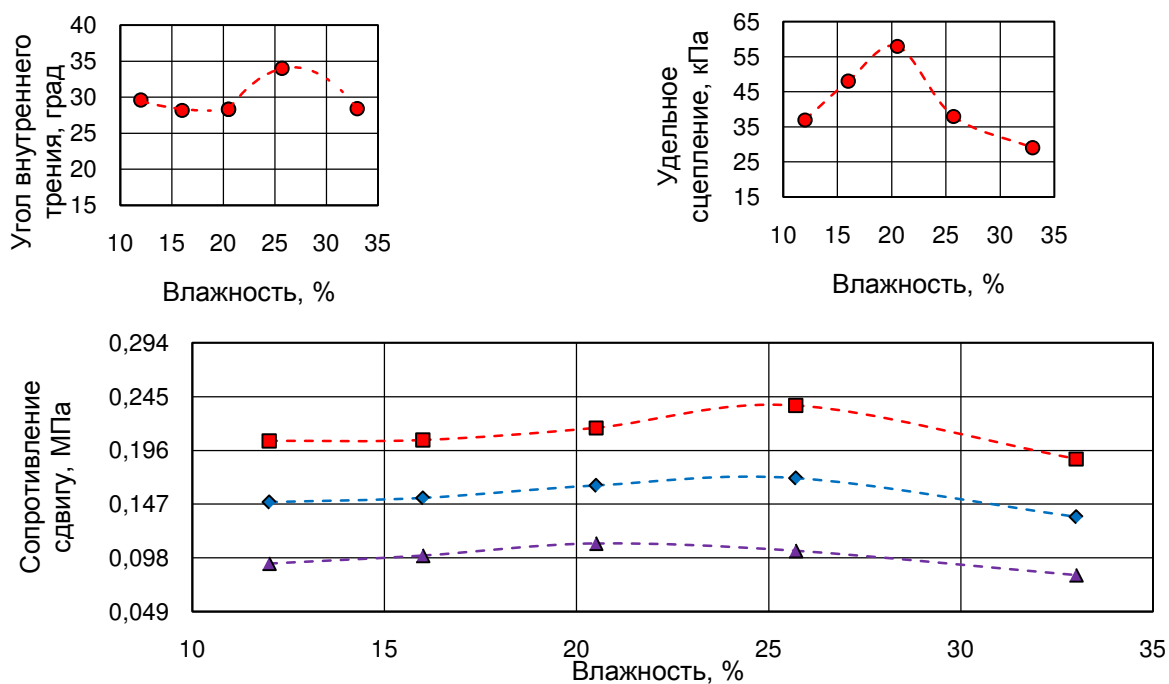


Рис. 5. Зависимости угла внутреннего трения (а), сцепления (б) и сопротивления сдвигу(в) от влажности. Соппротивление сдвигу при напряжениях: -100 кПа; -200 кПа; -300 кПа

Созданию специальных математических моделей для прогнозирования деформаций и разрушений земляных сооружений из ЗШС пока не уделялось достаточного внимания, хотя актуальность этой проблемы становится всё более очевидной.

Выбор такой модели в существенной степени зависит от сферы применения материала. Так, например, для оценки устойчивости насыпей автомобильных дорог достаточно применения модели с условием прочности

Mohr-Coulomb или Drucker-Prager (DP отличается от MC более гладкой аппроксимацией поверхности текучести), поскольку в этих расчётах в основном рассматривается предельное состояние сооружения [10]. В случае же рассмотрения массива ЗШС как основания зданий и сооружений к ним рациональнее применять модель линейно упрочняющегося грунта Hardening soil, учитывающую пластические деформации в допредельном состоянии [11].

Таблица 2

Прочностные показатели неоген-четвертичных отложений г. Омска

Геолого-генетический комплекс	Современные аллювиальные отложения			
	Глина	Суглинок	Супесь	Песок
Вид Грунта				
Угол внутреннего трения, град.	17	20	26	33
Сцепление, кПа	39	2	6	0
Геолого-генетический комплекс	Верхнечетвертичные аллювиальные отложения первой террасы Иртыша			
Вид Грунта	Суглинок	Супесь		Песок
Угол внутреннего трения, град.	22	30		27
Сцепление, кПа	26	11		0
Геолого-генетический комплекс	Верхнечетвертичные и современные аллювиальные отложения второй террасы Иртыша			
Вид Грунта	Глина	Суглинок	Супесь	Песок
Угол внутреннего трения, град.	16	24	32	
Сцепление, кПа	53	27	13	
Геолого-генетический комплекс	Верхнечетвертичные и современные субарреальные лессовые отложения			
Вид Грунта	Суглинок			
Угол внутреннего трения, град.	22 (16-28)			
Сцепление, кПа	25,7 (10-50)			
Геолого-генетический комплекс	Аллювиально-озерные верхнеплиоцен-нижнечетвертичные отложения			
Вид Грунта	Глина		Суглинок	
Угол внутреннего трения, град.	16 (9-25)		20 (10-26)	
Сцепление, кПа	63 (21-92)		37 (14-61)	
Геолого-генетический комплекс	Озерные и озерно-аллювиальные			
Вид Грунта	Глина			
Угол внутреннего трения, град.	14 (6-23)			
Сцепление, кПа	70 (35-118)			
<i>Примечание.</i> В скобках указаны интервалы возможного разброса значений, полученные в рамках исследования, без скобок средневзвешенные расчётные значения.				

Задачей данного исследования явилось определение расчётных прочностных параметров ЗШС при разной степени уплотнения и влажности для моделирования:

- насыпей земляного полотна с использованием модели Mohr-Coulomb;
- оснований зданий и сооружений в виде массива с применением модели Hardening soil.

Прочностными параметрами этих моделей являются эффективный угол внутреннего трения (ϕ), определяемый из консолидированно-дренированных (КД) испытаний. Удельное сцепление (c), определённое также в рамках КД испытаний и угол дилатансии (ψ). Для приближённых определений угла дилатансии используют выражение: $\psi \approx \phi - 30^\circ$. При величинах ϕ меньше 30° угол дилатансии приравнивают нулю [12].

В данном исследовании в первом приближении определены прочностные параметры ЗШС, необходимые для моделирования (табл. 3).

Таблица 3

Прочностные характеристики золошлаковой смеси ТЭЦ-4 г. Омска

Влияющий фактор	Коэффициент уплотнения				Влажность, %				
	0,9	0,95	1,00	1,05	12	16	20,5	25,7	33
Значение фактора	0,9	0,95	1,00	1,05	12	16	20,5	25,7	33
Угол внутреннего трения, град	<u>29,1</u> 26,4	<u>34,0</u> 29,8	<u>38,2</u> 35,8	<u>41,6</u> 40,4	<u>29,6</u> 27,7	<u>28,2</u> 26,5	<u>28,3</u> 26,1	<u>34,0</u> 29,8	<u>28,4</u> 24,9
Удельное сцепление, кПа	<u>26</u> 24	<u>38</u> 33	<u>40</u> 37	<u>33</u> 32	<u>37</u> 35	<u>48</u> 45	<u>58</u> 54	<u>38</u> 33	<u>29</u> 26
Угол дилатансии, град	0	4	8,2	10,2	0	0	0	4	0

Примечание. Над чертой нормативное значение параметра, под чертой расчетное с учетом обработки методами математической статистики по ГОСТ 20522 [13].

Выводы

1. Оценка графика стандартного уплотнения показала отсутствие максимумов на кривой, характерное для грунтов.

2. По показателям механических свойств и закономерностям их изменения ЗШС не относится к несвязным грунтам, как считалось ранее, а в большей мере соответствует пылеватым пескам и супесям.

3. Рост плотности скелета ЗШС вызывает повышение прочности массива, однако только до достижения максимальной плотности сухого грунта (коэффициента уплотнения 1,0). При дальнейшем уплотнении прироста прочности не наблюдается, следовательно, переуплотнение золошлаковой смеси не целесообразно.

4. Сопротивление сдвигу ЗШС максимально при влажности близкой к оптимальной, и даже при влажности, соответствующей максимальной влагоёмкости, сохраняется на высоком уровне.

5. Полученные параметры показывают, что прочность ЗШС не ниже, чем у природных грунтов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-48-550508 р_а).

Научные исследования по теме «Экспериментальные исследования прочностных характеристик золошлаковой смеси» выполнены за счет средств бюджета Омской области

Библиографический список

1. Бирюков, В.В. Энергопроизводство и утилизация золошлаковых отходов / В.В. Бирюков, С.Е. Метелев, В.В. Сиротюк, В.Р. Шевцов // Вестник Российского государственного торгово-экономического университета. – 2008. – №2(23) – С. 221-229.

2. Иванов, Е.В. Обоснование применения золошлаковых смесей для строительства земляного полотна с учетом водно-теплового режима: дис... канд. техн. наук: 26.02.15: защищена 26.02.2015: утв. 01.07.2015 / Иванов Е.В. – Омск, 2015. – 165 с.

3. ГОСТ 22733-2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. –

Введ. 2003-07-01. – М. : Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 16 с.

4. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – Введ. 2012-01-01. – М. : Стандартинформ, 2011. – 88 с.

5. Бабков, В. Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов : учебник для вузов / В.Ф. Бабков, А.В. Герберт-Гейбович. - М. : Высшая школа, 1964. – 365 с.

6. Мелентьев, В.А. Золошлаковые материалы и золоотвалы / В.А. Мелентьев, В.Г. Пантелеев, Э.Л. Лобник. – М. : Энергия, 1978. – 295 с.

7. Грунтоведение / 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.

8. Маслов, Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии : учебник для вузов / Н.Н. Маслов. – М. : Высшая школа, 1968. – 626 с.

9. Барац, Н.И. Инженерно-геологические условия г. Омска и их изменение в результате деятельности человека: дис. ... канд. г-м. наук / Барац Н.И. – М., 1974.

10. Голубев, А.И. Выбор модели грунта и её параметров в расчётах геотехнических объектов / А.И.Голубев, А.В.Селецкий // Труды международной конференции по геотехнике "Геотехнические проблемы мегаполисов (GEOMOS 2010). 2010. том 4. С. 1727-1732.

11. Мельников, Б.Е. Сравнительный анализ результатов моделирования упругопластического деформирования на основе критериев Мора-Кулона и Друкера-Прагера / Б.Е. Мельников, С.А. Ле-Захаров, А.С. Семёнов // XLI Неделя науки СПбГПУ : материалы международной научно-практической конференции. – СПб., 2012. – Ч. 1 – С. 91-93.

12. Строкова, Л. А. Определение параметров для численного моделирования поведения грунтов // Известия ТПУ [Электронный ресурс]. – Электрон журн. - 2008. - Т. 313, №1. – Режим доступа: <http://izvestiya.tpu.ru/ru/archive/old/article.html?id=188044&journalId=176237>

13. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. – Введ. 2013-07-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 16 с.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE STRENGTH CHARACTERISTIC OF ASH AND SLAG MIXTURES

A.A. Lunev, V.V. Sirtyuk, N.I. Barac

Аннотация. In the article discusses the results of laboratory tests coal ash and slag mixture from the ash pound of Omsk's TPP-4, working on the Ekibas-tuz coal. In the course of these studies identified the strength characteristics of this man-induced soil depending on the degree of compaction and moisture content.

Suitability as a soil material for the construction embankments, subgrade of roads, and as the Foundation of buildings and structures was evaluated. The empirical dependence of the properties of ash and slag mixture from moisture and maximum dry density were obtained. Comparison of strength characteristics of ash and natural soil from our region was also carried out

Keywords: ash and slag mixture, laboratory test, strength characteristics, parameters for the mathematical modeling.

References

1. Biryukov V.V., Metelev S.E., Sirotyuk V.V., Shevtsov V.R., Energoproizvodstvo i utilizatsiya zoloshlakovykh otkhodov [Power generation and recycling ash waste] Vestnik Rossiyskogo gosudarstvennogo trgovno-ekonomicheskogo universiteta, 2008, vol. 23, no. 2, pp 221-229.
 2. Ivanov, E.V. Obosnovanie primeneniya zoloshlakovykh smesey dlja stroitel'stva zemljanogo polotna s uchetom vodno-teplovogo rezhima [Rationale for the use of ash-and-slag mixtures for construction of subgrade with the water-heat regime]. Omsk, 2015. – 165 p.
 5. Babkov V. F. Osnovy gruntovedeniya i mehaniki gruntov [Fundamentals of soil science and soil mechanics]. Moscow, Vysshaja shkola, 1964. 365 p.
 6. Melent'ev V.A. Zoloshlakovye materialy i zolootvaly [Ash material and ash dumps]. Moscow, Jenergiya, 1978. 295 p.
 7. Trofimov V.T., Korolev V.A., Voznesenskiy E.A., Golodkovskaja G.A., Vasil'chuk Ju.K., Ziangirov R.S. Gruntovedenie [Pedology]. Moscow, MGU, 2005. 1024 p.
 8. Maslov N.N. Osnovy mehaniki gruntov i inzhenernoj geologii [Fundamentals of soil mechanics and engineering geology]. Moscow, Vysshaja shkola, 1968. 626 p.
 9. Barac N.I. Inzhenerno-geologicheskie uslovija g.Omska i ih izmenenie v rezul'tate dejatel'nosti cheloveka [Engineering-geological conditions of the city of Omsk and their change as a result of human activities]. Moskva, 1974. 000 s.
 10. Golubev A.I., Seleckij A.V. Vybora modeli grunta i ejo parametrov v raschjotah geotekhnicheskikh ob'ektov [The choice of soil model and its parameters in the calculation of geotechnical objects]. Trudy mezhdunarodnoj konferencii po geotekhnike "Geotekhnicheskie problemy megapolisov (GEOMOS 2010), 2010. part 4, pp 1727-1732.
 11. Mel'nikov B.E., Le-Zaharov S.A., Semjonov S.A. Sravnitel'nyj analiz rezul'tatov modelirovaniya uprugoplasticheskogo de-formirovaniya na osnove kriteriev Mora-Kulona i Drukera-Pragera [Comparative analysis of simulation results of elastic-plastic deformation based on the criteria Mohr-Coulomb and Drucker-Prager]. XLI Nedelja nauki SPbGPU. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 2012, no 1, pp 91-93.
 12. Strokova L.A. Opredelenie parametrov dlja chislennogo modelirovaniya povedeniya gruntov [Determination of parameters for numerical simulation of soils behavior] Izvestiya TPU, 2008, vol. 313, no. 1, pp 64-68.
 13. GOST 20522-2012. Grunty. Metody statisticheskoj obrabotki rezul'tatov ispytanij [Soils. Methods of statistical treatment of test results]. – Moscow, Standartinform, 2013. 16 p.
- Лунёв Александр Александрович (Омск, Россия) – аспирант кафедры Проектирование дорог ФГБОУ ВО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)» (644008, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: lunev.al.al@gmail.com).*
- Сиротюк Виктор Владимирович (Омск, Россия) – д-р техн. наук, профессор кафедры Проектирование дорог ФГБОУ ВО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)» (644008, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: sirvv@ya.ru).*
- Барац Надежда Ивановна (Омск, Россия) – канд. г-м. наук, доцент кафедры «Строительная механика и геотехнологии» ФГБОУ ВО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)» (644008, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: kaf_igof@sibadi.org).*
- Lunev Aleksandr (Omsk, Russian Federation) – Postgraduate student of Department roads design, Siberian state automobile and highway academy (644008, Omsk, Mira av., 5, e-mail lunev.al.al@gmail.com).*
- Sirotyuk Victor (Omsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department roads design, Siberian state automobile and highway academy (644008, Omsk, Mira av., 5, e-mail: sirvv@ya.ru).*
- Barac Nadezjda (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical Sciences, associate Professor department of structural mechanics and geotechnology, Siberian state automobile and highway academy (644008, Omsk, Mira av., 5, e-mail: kaf_igof@sibadi.org).*