УДК 622.011.4

ОБОБЩЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ НА ПРИМЕРЕ КУЗБАССА

Гурьев Дмитрий Витальевич,
аспирант. Email: GurevDV@gmail.com

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Аннотация:
Показан алгоритм оставления региональной таблицы свойств техногенных глинистых грунтов насыпных грунтовых сооружений, на основе обобщения материалов инженерно-геологических изысканий и обработки их статистическими методами.

Ключевые слова: Региональная таблица, физико-механические свойства, статистическая обработка.

На территории России в отвалах различных типов накоплено свыше 85 млрд. т. отходов, в том числе 80 млрд. т. – горнопромышленных, количество которых ежегодно увеличивается почти на 2 млрд. т.; отвалами, шламонакопителями и хвостохранилищами занято свыше 300 тыс. га земель [1].

Грунтовые дамбы накопителей жидких отходов горнопромышленных предприятий являются объектами повышенной экологической опасности, так как их разрушение может привести к затоплению территории, загрязнению земель, поверхностных и подземных вод вредными ингредиентами, содержащимися в этих отходах.

Надежность сооружения характеризуется устойчивостью его откосов, которая, в свою очередь, зависит от расчетных значений физико-механических свойств грунтов (угол внутреннего трения φ; плотность ρ, сцепление C).

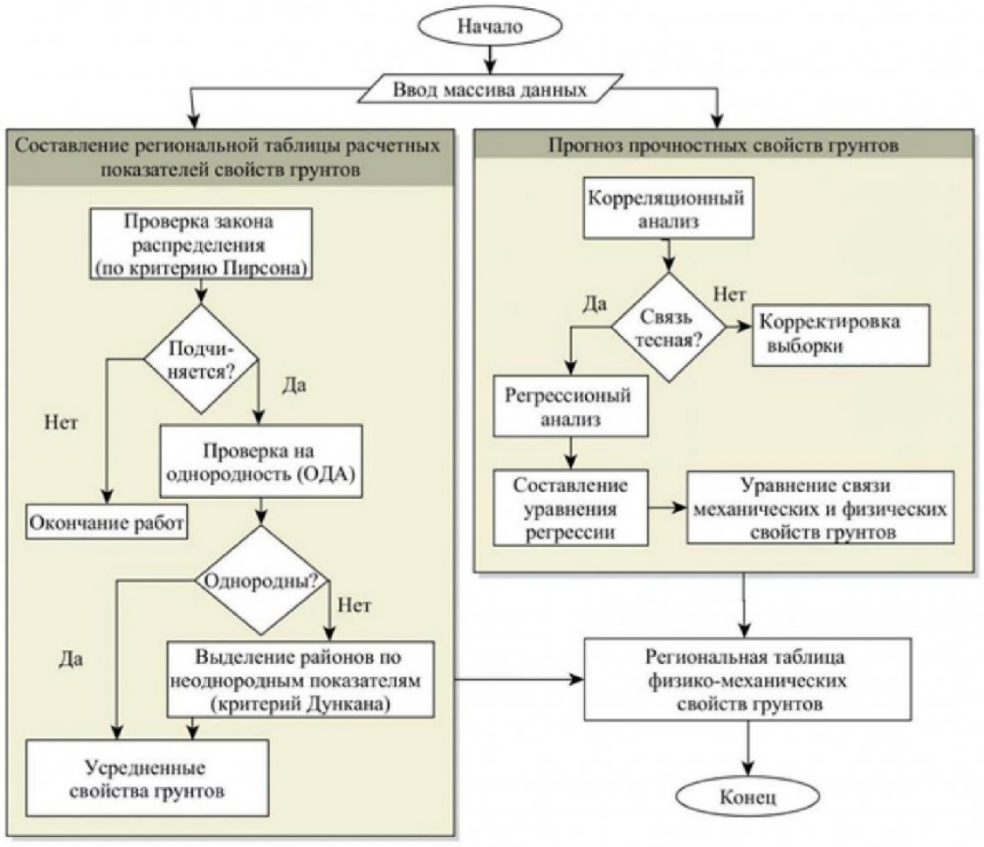

Рис. 1. Алгоритм составления региональной таблицы физико-механических свойств грунтов

Таблица 1. Перечень предприятий, на которых определены физико-механические свойства глинистых грунтов

№	Наименование предприятия*	Наименование объекта	Расположение (город)
1	ООО «Карьер «Каменушинский»	Дамба хвостохранилища	Гурьевск
2	ОАО «Кемеровская ГРЭС»	Дамба золошлакоотвала	Кемерово
3	ОАО «Коксохимический завод»	Дамба накопителя	Ленинск-Кузнецкий
4	МУП «Котельные и тепловые сети»	Дамба золошлаконакопителя	Междуреченск
5	ОАО «Ново–Кемеровская ТЭЦ»	Дамба золошлакоотвала	Кемерово
6	ЗАО «Салаирский химический комбинат»	Дамба хвостохранилища	Салаир
7	ОАО «Разрез «Сартаки»	Дамба гидроотвала	Белово
8	ОАО «ЦОФ Абашевская»	Дамба флотохвостохранилища	Новокузнецк
9	ОАО «ЦОФ Березовская»	Дамба гидроотвала	Березовский
10	ОАО «Водоканал»	Плотина на р.Кара-Чумыш	Кисилевск
11	ЗАО "Черниговец"	Дамба илонаконителя	Березовский
12	ЗАО "Черниговец"	Дамба шламохранилища	Березовский
13	ОАО «Западно-Сибирская ТЭЦ»	Дамба пруда-охладителя	Новокузнецк
14	ОАО "Гурьевский металлургический завод"	Плотина гидроузла на р. Малый Бачат	Гурьевск
15	ОАО "Шахта Абашевская"	Дамба первичного отстойника	Новокузнецк
16	ОАО "Шахта Заречная"	Дамба отстойника шахтных вод	Полысаево
17	ОАО "Шахта Полосухинская"	Дамба отстойника шахтных вод	Полысаево
18	ЗАО "Распадская"	Плотина пруда-отстойника шахтных вод	Междуреченск

*Наименование предприятий и объектов указаны на момент проведения инженерно-геологических изысканий.

Основным источником информации о свойствах, структуре, литологическом строении грунтового массива и других важнейших показателей являются материалы инженерно-геологических изысканий[1]. На этапе проектирования изыскания проводят на участке добычи грунтов, находящихся в естественном состоянии и обладающие достаточно высокими прочностными показателями. В процессе добычи, транспортировки, укладки грунтов в тело и уплотнения прочностные характеристики могут существенно измениться под влиянием внешних воздействий. Поэтому целесообразно собирать, анализировать и обобщать информацию о свойствах техногенных грунтов в реальных условиях эксплуатируемых сооружений. [1]

Материалы изысканий следует подвергать статистической обработке, по результатам которой производится их анализ и обобщение. В процессе обработки решаются две задачи:

1. Определение характерных физико-механических свойств для анализируемого генетического типа грунтов исследуемого региона.

2. Прогноз прочностных свойств грунтов.

Решение первой задачи сводится к делению исходного массива данных на группы по определенному признаку (например, сцепление сухого глинистого грунта). Для указанных выборок проверяется подчинение законам распределения (нормальному и логнормальному). Нормальнораспределенные выборки анализируют на однородность с помощью однофакторного дисперсионного анализа и, при необходимости, выявляют неоднородные элементы методом множественного сравнения по критерию Дункана.

Ответ на вторую задачи достигается путем проведения корреляционно-регрессионного анализа. Корреляционным анализом определяется теснота связи, характеризуемая значением корреляционного отношения. При наличии тесной (надежной) связи, проводится регрессионный анализ, результатом которого являются уравнения регрессии между исследуемыми параметрами.

В графическом виде вышесказанное можно представить в виде алгоритма, приведенного на рис. 1. Структурно-логическая схема, приведенная на рисунке, отражает иерархию методов статистки, используемых в обработке физико-механических свойств грунтов, а также показывает промежуточные (усредненные свойства грунтов, уравнения связи механических и физических свойств грунтов) и интегральные (региональная

[1]Работа выполнена при поддержке гранта ОАО «СУЭК-Кузбасс» на проведение научных исследований по приоритетным направлением развития науки, техники и технологии в области рационального природопользования

Таблица 2. Оценка распределения физико-механических свойств техногенных глинистых грунтов по критерию Пирсона

Параметр	Количество образцов	Среднее	Стандарт	$\chi^2_{факт}$	$\chi^2_{крит}$
Грунт в естественном состоянии					
С, МПа	192 *192*	0,034 *-3,61*	0,025 *0,70*	101,9 ***17,8***	15,5 ***25,0***
φ, град	192 *192*	20,7 *3,03*	3,8 *0,20*	61,4 *39,3*	21,0 *12,6*
ρ, т/м^3	186	1,95	0,08	**21,0**	**23,7**
Водонасыщенный грунт					
С, МПа	121 *121*	0,04 *-3,56*	0,03 *0,84*	55,5 ***15,6***	30,1 ***21,0***
φ, град	119	19,6	3,5	**17,1**	**18,3**
ρ, т/м^3	122	1,98	0,07	**13,5**	**19,7**

*В числителе данные для нормального закона распределения, в знаменателе - для логнормального

таблица физико-механических свойств грунтов) результаты, получаемые в ходе анализа экспериментальных данных.

Апробация алгоритма по составлению региональной таблицы произведена при обработке физико-механических свойств техногенных глинистых грунтов дамб промышленных предприятий Кузбасса.

Массив экспериментальных данных представляет собой выборку по 18 предприятиям различных районов Кузбасса (табл. 1), эксплуатирующим дамбы, сложенные глинистыми грунтами. Всего в обработку принято 314 образцов, из которых к водонасыщенным грунтам относится 122 образца, к грунтам в сухом состоянии – 192.

Весь массив экспериментальных данных разделяется на 6 групп (сцепление, угол внутреннего трения, плотность грунтов в естественном и водонасыщенном состояниях). В ходе проверки выборок на наличие закона распределения, выявлено, что плотность сухого и водонасыщенного грунта, угол внутреннего трения водонасыщенного грунта подчиняются нормальному закону, а сцепление сухого и водонасыщенного грунтов – логнормальному (табл.2).

Согласно приведенным данным, угол внутреннего трения грунта в естественном состоянии не получает подтверждения подчинения нормальному/логнормальному законам распределения (рис.2).

Для выборок, подчиняющихся нормальному закону распределения, установлены среднее значение и теоритический диапазон изменчивости согласно правилу трех сигм. Так же для этих

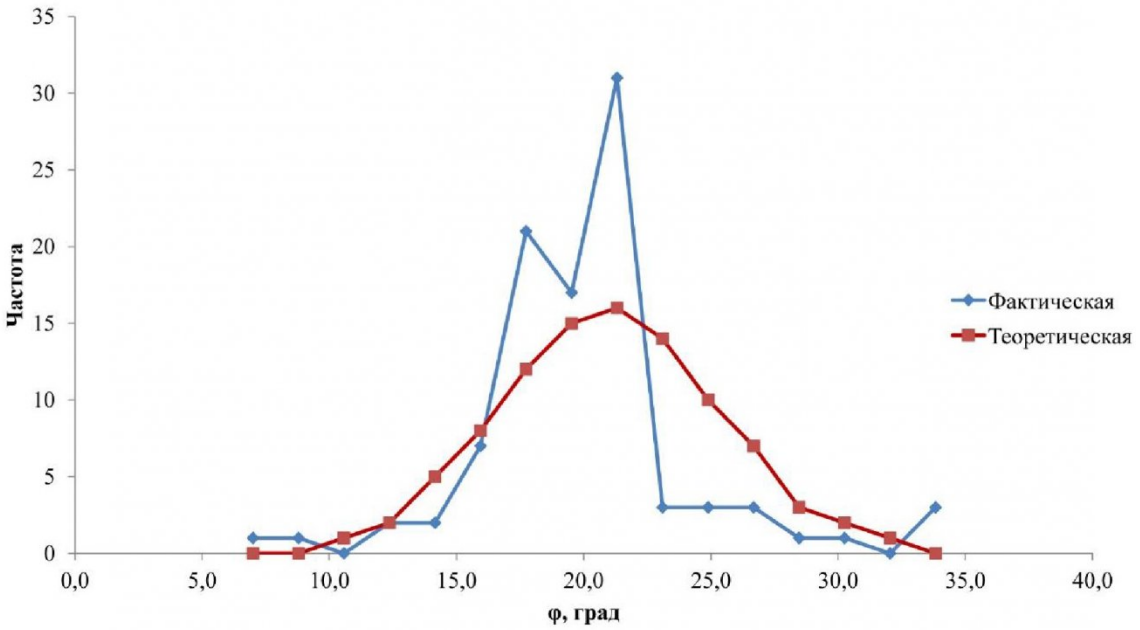

Рис. 2. Гистограмма распределения фактических частот угла внутреннего трения в естественном состоянии

Таблица 3. Проверка однородности свойств грунтов по критерию Фишера

Параметр	Критерий Фишера		Вывод
	$D_ф$	$D_{кр}$	
Грунт в естественном состоянии			
С, МПа	5,83	1,63	Не однородны
γ, т/м^3	3,30	1,65	Не однородны
Водонасыщенный грунт			
С, МПа	1,79	1,65	Не однородны
φ, град	1,43	1,65	Однородны
γ, т/м^3	1,57	1,65	Однородны

Таблица 4. Проверка однородности средних значений свойств техногенного глинистого грунта с общей выборкой

Плотность грунта в естественном состоянии				Сцепление грунта в естественном состоянии				Сцепление водонасыщенного грунта			
Шифр предприятия	Среднее	Критерий Дункана		Шифр предприятия	Среднее	Критерий Дункана		Шифр предприятия	Среднее	Критерий Дункана	
		Факт	Крит			Факт	Крит			Факт	Крит
13	2,07	***4,68***	***3,29***	18	-2,46	***8,63***	***3,29***	18	-2,53	***3,63***	***3,14***
18	2,01	***3,63***	***3,26***	12	-2,83	2,98	3,26	10	-2,87	***5,11***	***3,08***
12	2,00	1,42	3,23	13	-3,13	2,56	3,23	11	-3,29	0,90	3,01
6	1,99	1,05	3,19	9	-3,19	1,28	3,19	15	-3,33	0,89	2,91
2	1,98	3,06	3,14	11	-3,24	2,13	3,14	12	-3,50	0,10	2,77
16	1,98	2,87	3,08	16	-3,24	***3,60***	***3,08***	Общая	-3,55	-	-
11	1,98	1,62	3,01	14	-3,30	2,41	3,01	1	-3,56	0,07	2,77
17	1,98	1,06	2,91	7	-3,39	1,62	2,91	9	-3,59	0,36	2,91
4	1,95	0,03	2,77	15	-3,44	0,50	2,77	3	-3,59	0,31	3,01
Общая	1,94	-	-	Общая	-3,60	-	-	7	-3,68	0,58	3,08
14	1,94	0,08	2,77	17	-3,70	0,37	2,77	13	-3,74	1,63	3,14
9	1,94	0,17	2,91	1	-3,73	1,42	2,91	17	-3,87	2,02	3,19
7	1,93	0,95	3,01	2	-3,78	1,83	3,01	2	-4,00	2,37	3,23
3	1,91	1,97	3,08	3	-3,96	3,05	3,08	8	-4,02	1,92	3,26
1	1,90	***3,23***	***3,14***	6	-3,98	1,19	3,14	4	-4,19	1,33	3,29
5	1,89	***5,12***	***3,19***	5	-4,17	***7,26***	***3,19***				
				4	-4,42	1,82	3,23				

групп проведена проверка однородности значений признака (табл. 3), результаты которой показали, что для сцепления сухого и водонасыщенного грунта, а также плотности сухого грунта наблюдается отличие от общей совокупности. В тоже время, для значений угла внутреннего трения и плотности водонасыщенного грунта однородность обеспечивается.

Применение метода множественного сравнения в группе плотности сухого грунта показало - средние значения по грунтовым дамбам предприятий №13, №18, №1 и №5 отличаются от среднего значения общей выборки (табл. 4), что дает возможность выделить их в региональной таблице в отдельную категорию с учетом геолого-экономического расположения по Кузбассу.

В группах сцепления грунтов в естественном и водонасыщенном состояниях по предприятиям №18, №16, №5 и №10 также установлено отличие от общей выборки. Однако анализ таблицы 4 показывает - неоднородность свойств проявляется в основном на дамбах, усредненные значения которых превышают среднее общей совокупности. Таким образом, выделением указанных значений свойств можно пренебречь, за исключением предприятия №5, и в региональной таблице использовать среднее по Кузбассу.

Прогноз значений прочностных свойств грунтов возможен при наличии тесной статистической связи, наличие которой оценивается методом корреляционно-регрессионного анализа. Для этого произведено формирование рабочих групп состоящих из пары свойств «прочностное - физическое» (всего сформировано 42 пары). Для каждой

Таблица 5. Матрица корреляционных отношений

Показатель	*Водонасыщенный грунт*						*Сухой грунт*						
	W	W_l	W_p	*Il*	*e*	S_r	*W*	W_l	W_p	I_p	*Il*	*e*	S_r
	Экспоненциальная						Экспоненциальная						
φ, град	0,40	0,48	0,75	0,25	0,45	0,41	0,21	0,04	0,00	0,20	0,15	0,01	0,18
С, МПа	0,82	0,33	0,14	***0,94***	0,81	0,56	0,91	0,02	0,53	0,34	0,07	0,78	0,18
ρ, т/м^3	0,95	0,72	0,77	0,81	0,97	0,61	0,81	0,30	0,77	0,23	0,01	0,81	0,73
	Линейная						Линейная						
φ, град	0,43	0,54	0,74	0,24	0,45	0,41	0,21	0,04	0,01	0,25	0,18	0,01	0,19
С, МПа	0,74	0,31	0,12	0,88	0,69	0,55	0,88	0,01	0,44	0,36	0,11	0,80	0,04
ρ, т/м^3	***0,95***	0,72	0,76	0,81	0,97	0,62	0,81	0,29	0,78	0,23	0,01	0,84	0,74
	Логарифмическая						Логарифмическая						
φ, град	0,43	0,54	0,69	-	0,44	0,43	0,36	0,06	0,01	0,26	-	0,01	0,21
С, МПа	0,80	0,30	0,13	-	0,77	0,56	***0,91***	0,01	0,37	0,33	-	0,78	0,03
ρ, т/м^3	0,94	0,68	0,74	-	0,97	0,62	0,63	0,25	0,71	0,17	-	0,79	0,79
	Полиноминальная						Полиноминальная						
φ, град	0,43	0,54	***0,78***	0,47	0,45	0,82	***0,83***	0,32	0,12	0,27	0,78	0,01	0,21
С, МПа	0,89	0,31	0,13	0,93	0,89	0,70	0,91	0,20	0,64	0,37	0,84	0,80	0,07
ρ, т/м^3	0,95	0,75	0,77	0,81	0,97	0,63	***0,89***	0,45	0,87	0,52	0,42	0,84	0,85
	Степенная						Степенная						
φ, град	0,39	0,47	0,69	-	0,44	0,42	0,36	0,07	0,00	0,21	-	0,01	0,20
С, МПа	0,86	0,34	0,16	-	0,86	0,57	0,85	0,01	0,46	0,33	-	0,72	0,16
ρ, т/м^3	0,94	0,68	0,74	-	0,96	0,61	0,62	0,25	0,71	0,17	-	0,76	0,79

рабочей группы определено корреляционное отношение (табл. 5).

Анализ данных, приведенных в табл. 5, позволяет сделать вывод о наличии тесной статистической связи для всех рассматриваемых пар свойств грунта в естественном и водонасыщенном состоянии. Для выборок с наибольшими значениями корреляционного отношения методом регрессионного анализа составлены следующие уравнения.

Водонасыщенный грунт

$$\varphi = -100.55 \cdot W_p^2 + 23.729 \cdot W_p + 20.536$$

$$C = -0.0537 \cdot \exp(-2.14 \cdot I_l)$$

$$\rho = -1.6906 \cdot W_p + 2.4235$$

Сухой грунт

$$\varphi = 221.6 \cdot W^2 - 129.31 \cdot W + 38.521$$

$$C = -0.049 \cdot \ln W - 0.0364$$

$$\rho = -1.6378 \cdot W^2 + 0.2503 \cdot W + 1.9808$$

где W – естественная влажность, д.е.; W_p – влажность на граница раскатывания; I_l – показатель текучести.

Обобщенные результаты исследований представлены в табл. 6 .

Выводы:

Разработанный алгоритм по обобщению физико-механических свойств грунтов позволит составлять региональные их таблицы для других геолого-генетических комплексов пород и других регионов. Полученные уравнения регрессии, характеризуемые высоким корреляционным отношением, дают возможность прогнозировать прочностные характеристики грунтов на основе физических свойств, исследование которых может быть выполнено оперативно и с минимальными

Таблица 6. *Усредненные физико-механические свойства грунтов Кузбасса*

Показатель	φ, град	С, МПа	ρ, т/м^3
Интервал (min – max)	7-35 ***9-30***	0,005-0,140 ***0,005-0,117***	1,56-2,19 ***1,77-2,19***
Среднее значение			
по Кемеровскому району	- -	0,015 -	1,89 -
по Кузбассу	20,0 ***19,6***	0,027 ***0,028***	1,95 ***1,98***
В числителе значения свойств грунта в естественном состоянии, в знаменателе – водонасыщенного.			

экономическим затратами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях: Монография. – М.: «Горная книга», 2012. – 336 с.

2. *Бахаева С. П.* Исследование влияния изменчивости физико-механических свойств грунтов на устойчивость дамб / С. П. Бахаева, Д. В. Гурьев, Т. В. Михайлова // Маркшейдерский вестник. – 2013. – №5. – С. 11-14.

3. *Черняк Э.Р.* Будущее – за региональными таблицами нормативных и расчетных показателей физико-механических свойств / Э. Р. Черняк // Инженерные изыскания. – 2011. – №9. – С. 4-8.

4. Руководство по составлению региональных таблиц нормативных и расчетных показателей свойств грунтов / ПНИИИС Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1981 – 55 с.

Поступило в редакцию 26.03.2015

GENERALIZED CHARACTERISTICS OF DISPERSE GROUNDS OF TECHNOGENIC MASSIFS ON KUZBASS EXAMPLE

Guriev Dmitry W,
PhD student. Email: GurevDV@gmail.com

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 st. Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Abstract

The algorithm is shown leaving the regional tables of properties of bulk ground clay soils of man-made structures on the basis of generalization of materials engineering-geological survey and processing of their statistical methods.

Key words: regional table, physical-mechanical properties, aggregating.

REFERENCES

1. Osvoenie tehnogennyh massivov na gornyh predprijatijah: Monografija. – M.: «Gornaja kniga», 2012. – 336 s.

2. Bahaeva S. P. Issledovanie vlijanija izmenchivosti fiziko-mehanicheskih svojstv gruntov na ustojchivost' damb / S. P. Bahaeva, D. V. Gur'ev, T. V. Mihajlova // Markshejderskij vestnik. – 2013. – №5. – S. 11-14.

3. Chernjak Je.R. Budushhee – za regional'nymi tablicami normativnyh i raschetnyh pokazatelej fi-ziko-mehanicheskih svojstv / Je. R. Chernjak // Inzhenernye izyskanija. – 2011. – №9. – S. 4-8.

4. Rukovodstvo po sostavleniju regional'nyh tablic normativnyh i raschetnyh pokazatelej svojstv gruntov / PNIIIS Gosstroja SSSR. – M.: Strojizdat, 1981 – 55 s.

Received 26.03.2015