

Нетфуллов Ш.Х., кандидат технических наук, доцент, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».
Сибгатуллина Л.Ш., кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет».
Нетфуллов М.Ш., старший преподаватель, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ

Аннотация: В статье приводятся результаты экспериментальных исследований изменения влияния вида и состояния грунта, диаметра известковой скважины и активности извести на трещинообразование в водонасыщенных пылевато-глинистых грунтах. Приведены количественная и качественная оценки влияния технологических факторов, характеристик грунта и их взаимодействий на длину трещин в водонасыщенных пылевато-глинистых грунтах.

Ключевые слова: грунт; диаметр скважины; активность извести; влажность; факторный эксперимент; уравнение регрессии; длина трещины.

В настоящее время установлено, что характеристика трещиноватости грунтов важна не только для скальных, но и для пылевато-глинистых грунтов. Возможное трещинообразование в грунтовых массивах может быть вызвано, в основном, при действии на них нагрузок или при их высушивании. Для более глубокого изучения этого явления и для количественной и качественной оценки взаимовлияния факторов был исследован вопрос влияния на трещинообразование следующих характеристик: пластичности X_1 , влажности грунта X_2 , диаметра скважины X_3 , пористости грунта X_4 , активности негашеной извести X_5 . При исследовании использовались методы математического планирования эксперимента, а именно метод полуреплики полного факторного эксперимента типа 2^5 . Цель исследования – получить математическую модель трещинообразования в водонасыщенных пылевато-глинистых грунтовых массивах.

Условия проведения эксперимента приведены в таблице 1. Интервал варьирования переменных факторов X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 выбраны в реально допустимых пределах их изменения. Всего было проведено 32 опыта. Матрица планирования приведена в таблице 2.

Таблица 1

Условия проведения эксперимента

N п/п	Наименование факторов	Индекс фактора	Ед. изм	Средний уровень	Интервал варьирования	Значение уровней варьирования				
						+ a	верхн	сред	нижн	- a
						+2,0	+1	0	-1	-2,0
1	Число пластичности грунта, Ip	X_1	%	15	3	21	18	15	12	9
2	Влажность грунта, W	X_2	%	22	2	26	24	22	20	18
3	Диаметр скважины, D	X_3	%	150	50	250	200	150	100	50
4	Пористость грунта, n	X_4	%	48	4	56	52	48	44	40
5	Активность извести, A	X_5	%	75	10	95	85	75	65	55

Таблица 2

Матрица планирования и результаты эксперимента

Номер опыта	Факторы в условных единицах					Параметры выхода	
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	T, см	
						экспериментальные	расчетные
1	+	+	+	+	+	5,5	3,5
2	-	+	+	+	-	1,0	0,0

3	+	-	+	+	-	0,4	0,0
4	-	-	+	+	+	8,1	6,1
5	+	+	-	+	-	0,1	0,0
6	-	+	-	+	+	3,2	3,3
7	+	-	-	+	+	6,3	1,5
8	-	-	-	+	-	0,0	0,0
9	+	+	+	-	-	13,9	15,5
10	-	+	+	-	+	20,3	19,5
11	+	-	+	-	+	20,4	19,0
12	-	-	+	-	-	0,9	0,0
13	+	+	-	-	+	16,5	15,0
14	-	+	-	-	-	5,5	6,0
15	+	-	-	-	-	5,5	6,5
16	-	-	-	-	+	3,0	3,0
17	$+\alpha$	0	0	0	0	21,5	20,0
18	$-\alpha$	0	0	0	0	16,1	15,0
19	0	$+\alpha$	0	0	0	10,6	12,0
20	0	$-\alpha$	0	0	0	3,0	3,0
21	0	0	$+\alpha$	0	0	4,8	5,5
22	0	0	$-\alpha$	0	0	0,7	0,0
23	0	0	0	$+\alpha$	0	0,8	0,0
24	0	0	0	$-\alpha$	0	4,4	2,0
25	0	0	0	0	$+\alpha$	28,6	30,0
26	0	0	0	0	$-\alpha$	2,0	0,0
27	0	0	0	0	0	18,6	18,0
28	0	0	0	0	0	18,6	16,0
29	0	0	0	0	0	18,6	16,0
30	0	0	0	0	0	18,6	17,0
31	0	0	0	0	0	18,6	19,0
32	0	0	0	0	0	18,6	17,0

Лабораторные исследования проводились в грунтовом лотке цилиндрической формы диаметром 1500 мм и высотой 700 мм. Для предотвращения выпора грунта сверху лоток закрывается крышкой и закрепляется болтами. Процесс гашения извести контролируется датчиками температурными и давления через регистрирующие приборы.

Эксперимент ставится в зависимости от номера опыта и согласно условию матрицы планирования в следующей последовательности: из данного

вида грунта X_1 с требуемой влажностью X_2 и плотностью X_4 собирается послойно грунтовый лоток; устраивается скважина требуемого диаметра X_3 и послойно заполняется предварительно измельчённой до размера частиц 10 мм с требуемым содержанием CaO и MgO негашеной комовой известью с активностью X_5 ; в процессе укладки грунта и извести закладываются датчики температуры и давления; закрывается крышка лотка, ход гашения извести контролируется через регистрирующие приборы; после окончания гашения извести открывается крышка лотка и определяются направления и размеры трещин. Полученные экспериментальные данные приведены в табл.2. Рассматриваемый процесс гашения извести в скважине с пятью независимыми переменными факторами теоретически будет описываться многочленом второй степени (уравнением регрессии) вида:

$$y = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_5x_5 + a_{11}x_1^2 + \dots + a_{55}x_5^2 + a_{12}x_1x_2 + \dots + a_{45}x_4x_5 .$$

В соответствии с критерием Стьюдента при 95 % -ном уровне надежности были установлены значимые коэффициенты в уравнениях регрессии. Ими оказались: a_0 ; a_1 ; a_2 ; a_3 ; a_4 ; a_5 ; a_{44} ; a_{12} ; a_{14} ; a_{23} ; a_{34} . Значения коэффициентов уравнения регрессии приведены в таблице 3.

Таблица 3

Значения коэффициентов уравнения регрессии

№ п/п	Коэффициенты	Параметр выхода T, см	№ п/п	Коэффициенты	Параметры выхода T, см
1	a_0	18,6*	11	a_{55}	0,00
2	a_1	1,35*	12	a_{12}	-3,2*
3	a_2	1,9*	13	a_{13}	0,00
4	a_3	1,4*	14	a_{14}	-1,6*
5	a_4	-3,8*	15	a_{15}	0,00
6	a_5	4,7*	16	a_{23}	-4,4*
7	a_{11}	0,0	17	a_{24}	-1,0
8	a_{22}	0,0	18	a_{25}	1,1
9	a_{33}	0,0	19	a_{34}	-4,0*
10	a_{44}	-1,7*	20	a_{35}	1,0

			21	a_{45}	0,0
--	--	--	----	----------	-----

*Значимые коэффициенты уравнений регрессии

Уравнение регрессии для T имеет вид:

$$T = 18,6 + 1,35X_1 + 1,9X_2 + 1,4X_3 - 3,8X_4 + 4,7X_5 - 1,7x_4^2 - 3,2X_1 X_2 - 1,6 X_1 X_4 - 4,4 X_2 X_3 - 4 X_3 X_4 .$$

Проверка адекватности уравнения регрессии по критерию Фишера показала, что при уровне значимости $\alpha = 0,05$ уравнение регрессии для T адекватно, а именно:

$$F_{\text{опыт.}} = 1,26 < 2,90 = F_{\text{теор.}}$$

Количественная оценка влияния факторов и их взаимодействий на T приведена в таблице 4.

Таблица 4

Количественная оценка влияния факторов и их взаимодействий на T

Эффекты									
Основные		Квадратичные		Взаимодействия		Частные			
Факторы	$2a_i$	Факторы	$2a_{ii}$	Факторы	$2a_{ij}$	Факторы	Фиксация фактора	$2a_i + 2a_{ij}$	$2a_i - 2a_{ij}$
X_1	+2,7	X_1	0,0	$X_1 X_2$	-6,4	X_1	X_2	-3,7	+9,1
X_2	+3,8	X_2	0,0	$X_1 X_4$	-3,2	X_2	X_1	-2,6	+10,2
X_3	+2,8	X_3	0,0	$X_2 X_3$	-8,8	X_1	X_4	-0,5	+5,9
X_4	-7,6	X_4	-3,4	$X_3 X_4$	-8,0	X_4	X_1	-10,8	-4,4
X_5	+9,4	X_5	0,0			X_2	X_3	-5,0	+12,6
						X_3	X_2	-6,0	+11,6
						X_3	X_4	-5,2	+10,8
						X_4	X_3	-15,6	+0,4

Из анализа уравнения регрессии для трещинообразования T следует, что основным эффектом, влияющим на его величину, являются все факторы, а именно: число пластичности X_1 , влажность грунта X_2 , диаметр скважины X_3 , пористость грунта X_4 , активность извести X_5 . При гашении извести в скважине все факторы кроме пористости грунта X_4 способствуют трещинообразованию в грунтовом массиве, а увеличение пористости грунта X_4 наоборот уменьшает T . Квадратичный эффект X_4 с коэффициентом $a_{44} = -1,7$ указывает на нелинейность, то есть сложность математической модели процесса гашения извести в скважине в грунтовом массиве и высокая пористость приводит к уменьшению трещинообразования T . В эффектах взаимодействий: влажность и пористость грунта отрицательно влияют на образованию трещин в грунтовом массиве. Частные эффекты: влажность и пористость грунта также отрицательно влияют на образованию трещин в грунтовом массиве.

На основании полученных экспериментальных результатов и расчета составлены таблицы и построены графики в зависимости от вида грунта (числа пластичности I_p) и его пористости при активности извести равной 85%, которые позволяют количественно и качественно определить значение исследуемых параметров в пылевато-глинистом грунтовом массиве при заданных технологических режимах. И наоборот, дают возможность обоснованно принять исследуемые технологические параметры.

Результаты исследований и основные выводы:

1. Анализ полученных результатов показывает, что основным эффектом, влияющим на длину трещин являются все факторы, а именно: число пластичности X_1 , влажность грунта X_2 , диаметр скважины X_3 , пористость грунта X_4 и активность извести X_5 . Из них все факторы кроме пористости грунта X_4 способствуют трещинообразованию в грунтовом массиве, а увеличение пористости в грунте X_4 наоборот уменьшает величину длины трещины T .

2. Полученное уравнение регрессии, дает информацию о влиянии переменных факторов, позволяет количественно и качественно определить

длины трещин в пылевато-глинистом грунтовом массиве при заданных технологических режимах.

3. Полученные результаты расчетов позволяют обоснованно назначить величину технологических параметров при глубинном известковании, а именно: диаметр известковых скважин, расстояние между скважинами в зависимости от вида упрочняемого грунта, его влажности, а также активности применяемой негашеной извести. За счет увеличения параметров трещин увеличивается радиус распространения закрепляющего раствора, тем самым повышая физико-механические свойства водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов вокруг скважины. Новизна данного исследования подтверждается патентом на изобретение № 2545573 «Способ направленного образования трещин в водонасыщенных глинистых грунтах».

Литература

1. Вертинская Н.Д. Математическое моделирование многофакторных и многопараметрических процессов в многокомпонентных системах на базе конструктивной геометрии. – Ч.1. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – 229 с.

2. Налимов В.В. Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. - 248 с.

3. Строительство зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях. /Абелев М.Ю., Ильичев В.А., Ухов С.Б. и др. - М., 1986. - 104 с.

4. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. –Л.: Химия, 1975. - 48 с.

Netfullov.Sh.Kh., candidate of technical sciences, assistant professor, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

Sibatullina L.Sh., candidate of technical sciences, assistant professor, Kazan State University of Architecture and Engineering

Netfullov.M.Sh., senior lecturer, Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga region) Federal University

THE STUDY OF CRACK FORMATION IN WATER-SATURATED SILTY-CLAYEY SOILS

Abstract : The article presents the results of experimental studies of changes the impact of the type and condition of soil, the diameter of the limestone wells and the activity of lime on crack formation in water-saturated silty-clay soils. Quantitative and qualitative estimation of the influence of technological factors, soil characteristics and their interactions on the magnitude on length of cracks in water-saturated silty-clay soils are presents.

Keywords: the ground; the diameter of the hole; active lime; moisture content; factorial design; regression equation; the length of the crack.