

комплексной химической добавкой должна быть равна, или несколько ниже величины нормальной густоты цементного теста системы цемент-вода без добавок.

После определения оптимального количества химических добавок, которое можно ввести для приготовления цементного теста уже заданной густоты и подвижности, определяем сроки схватывания цементного теста по ГОСТ 310.3-76, оценивая таким способом влияние комплексной химической добавки на сроки схватывания цементного теста. Затем по ГОСТ 310.3-76 определяем равномерность изменения объема цемента без добавки и с комплексной химической добавкой по результатам осмотра образцов – лепешек, прошедших испытание кипячением.

На втором этапе испытания эффективности действия комплексной химической добавки определяем влияние ее на активность цемента.

Методика сводится к определению марки цемента по ГОСТ 310.4-81.

Последовательно изготавливается две серии стандартных цементных образцов – балочек размером 4x4x16 см.

Первая серия образцов изготавливается без химических добавок, только цемент, песок, вода. Вторая серия образцов: цемент, песок и водный раствор комплексной химической добавки. При этом величина концентрации водного раствора добавок не должна превышать величину концентрации воды которая была в первой серии образцов.

Марка цемента, также как и активность цемента с водным раствором комплексной химической добавки оценивается по результатам определения предела прочности при изгибе и сжатии образцов из цементно-песчаного раствора стандартной консистенции состава 1:3 по массе на нормальном вольском песке после 28 суток твердения в нормальных стандартных условиях. Испытания производим на машине МИИ-100. По полученным результатам испытаний устанавливаем активность цемента в составах без химических добавок и с химическими добавками.

Третий этап испытаний комплексной химической добавки осуществляем на бетонных смесях и бетонах. Определяем прочность бетона на сжатие и растяжение по ГОСТ 10180-78. При этом используем ровноподвижные бетонные смеси.

После испытания серий образцов бетона без химических добавок и серий образцов бетона с химическими добавками, производим анализ эффекта действия комплекса химических добавок.

На четвертом этапе, в целях регулирования специальных свойств защитного модифицированного слоя бетона, по ГОСТ 24211-80 “Добавки для бетонов” производим оценку действия добавок в бетоне; определение времени достижения бетоном требуемой прочности; определение коррозионного воздействия на арматуру, бетон; потери величины вовлеченного воздуха или образовавшегося газа, определение гидрофобизирующего эффекта и др.

Многолетний опыт работы с химическими добавками позволил автору настоящей работы впервые, используя данную методику, в лабораторных условиях определить: количество химически связанной воды (ω) и степень гидратации цемента (α) в цементном камне в любые сроки и при любых

условиях твердения. Это позволяет дать количественную сравнительную оценку влияния тех, или иных составов комплексных химических добавок на ω и α в любой системе: цемент – жидкая фаза (с химическими добавками или без них) – заполнитель.

$$\omega = \frac{V_{\text{зат.}} + V_{\text{воз.}} - V_{\text{исп.}}}{\rho(1-0,36)};$$

$$\alpha = \frac{6,25(V_{\text{зат.}} + V_{\text{воз.}} - V_{\text{исп.}})}{\rho}.$$

где: ρ - расход цемента, кг/м³; $V_{\text{зат.}}$ - количество жидкой фазы, кг/м³;

$V_{\text{исп.}}$ - количество испаряемой жидкой фазы, кг/м³; $V_{\text{воз.}}$ - количество жидкой фазы, которое может заполнить объем, образованный процессами воздухоовлечения и газообразования в цементной системе, кг/м³;

В настоящей работе обоснование и сущность методики определения ω и α не рассматривается.

Вывод: Методика позволяет определить оптимальный состав комплексной химической добавки, регулирующей технологические и физико-технические характеристики модифицированного защитного слоя бетона и его морозостойкость. Впервые в лабораторных условиях позволяет аналитически вычислить количество химически связанной воды и степень гидратации цемента при введении любых химических добавок а цементную систему.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Чуб А.А. Проектирование состава защитного слоя атмосферных бетонов.// Сб. научн. трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. Вып.37,-Дн-вск, ПГАСА, 2006.-с.509-512.

УДК 624.131.537

РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ УСТОЙЧИВОСТИ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО УРАВНЕНИЯМ РЕГРЕССИИ И ПРОГРАММЕ PLAXIS

В.Б. Швец д.т.н., профессор, О.А. Рубан к.т.н., доцент,
В.В. Ковалёв аспирант,*

*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры,
Академия таможенной службы Украины,

В связи со значительным ростом объемов строительства зданий и дефицитом пригодных для этих целей территорий, приходится возводить новые строительные объекты рядом с оползнеопасными склонами, что может

привести к потере устойчивости сооружения с возможностью глубокого сдвига [1]. Один из способов предупреждения потери устойчивости является возведение сооружения на искусственном основании с применением армирования грунта различными видами геоматериалов.

Всё это приводит к необходимости применения при проектировании сооружений новых методов расчёта устойчивости фундаментов (находящихся на слоистом основании) в случае возникновения глубокого сдвига. Необходимо чтобы новые методы позволяли достоверно и оперативно определять коэффициент устойчивости сооружения, при различных сочетаниях факторов (количества слоёв армирования, расстояния между армирующими прослойками, вида применяемого геоматериала, ширины фундамента, глубины его заложения и т.д.).

В связи с этим разработана методика построения интерполяционной модели с помощью, которой можно выводить уравнения регрессии для определения коэффициента устойчивости фундамента при возможности глубокого сдвига [2]. Построение модели производилось методом Бокса-Уилсона [3, 4, 5]. За параметр оптимизации принимался коэффициент устойчивости системы «фундамент сооружения – грунтовый массив» при возможности глубокого сдвига.

Полученные нормализованные уравнения регрессии имеют следующий вид:

1) грунт – супесь

$$k_{ycm} = -0,07352 - 0,16182 \cdot H - 0,01087 \cdot i + 0,04876 \cdot c + 0,07627 \cdot \varphi + 0,04832 \cdot \gamma - 0,00131 \cdot N - 0,19378 \cdot L_1 + 0,11828 \cdot L_2 + 0,48909 \cdot L_3 + 0,56019 \cdot L_4 + 0,27365 \cdot n - 0,65588 \cdot L_5 + 0,05884 \cdot L_6 \quad (1)$$

2) грунт – суглинок

$$k_{ycm} = 1,31951 - 0,16342 \cdot H - 0,01068 \cdot i + 0,03202 \cdot c + 0,07348 \cdot \varphi + 0,03601 \cdot \gamma - 0,00203 \cdot N - 0,20742 \cdot L_1 + 0,08122 \cdot L_2 + 0,30341 \cdot L_3 + 0,67244 \cdot L_4 + 0,24756 \cdot n - 1,11813 \cdot L_5 + 0,06884 \cdot L_6 \quad (2)$$

3) грунт – глина

$$k_{ycm} = 3,4587 - 0,19154 \cdot H - 0,0107 \cdot i + 0,03065 \cdot c + 0,05413 \cdot \varphi - 0,0149 \cdot \gamma - 0,00339 \cdot N - 0,17284 \cdot L_1 + 0,09278 \cdot L_2 + 0,23634 \cdot L_3 + 0,46075 \cdot L_4 + 0,15344 \cdot n - 1,35138 \cdot L_5 + 0,06294 \cdot L_6 \quad (3)$$

Для определения достоверности значений коэффициентов устойчивости, рассчитываемых по уравнениям регрессии, было принято решение сопоставить их с коэффициентами устойчивости, вычисленными с помощью программного комплекса PLAXIS.

PLAXIS представляет собой специализированную двухмерную компьютерную программу, основанную на методе конечных элементов, и используется для расчётов деформаций и устойчивости различных геотехнических объектов.

Из имеющихся в программе PLAXIS различных моделей [6], воспроизводящих поведение грунта и сооружений, были выбраны две модели: линейная упругая модель для моделирования фундамента и модель Мора-Кулона для моделирования поведения грунта.

Расчет устойчивости сооружений в PLAXIS осуществляется путем понижения прочностных характеристик грунта [7]. Этот процесс называется Phi-c reduction (снижение φ -с).

В таком подходе пошагово снижаются прочностные характеристики грунта.

$$\sum Msf = \frac{c_{input}}{c_{reduced}} = \frac{\tan \varphi_{input}}{\tan \varphi_{reduced}} \quad (4)$$

где c_{input} и φ_{input} – входные параметры прочности;

$c_{reduced}$ и $\varphi_{reduced}$ – параметры приведенной прочности, достаточные для поддержания равновесия.

Параметр $\sum Msf$ при пошаговой процедуре увеличивается до тех пор, пока не произойдет разрушение.

Армирующий геоматериал моделируется в программе PLAXIS как узкий элемент с нормальной жесткостью, выдерживающий растягивающие усилия. В зависимости от заданного типа материала георешетки меняются и его параметры в исходных данных. Если тип материала задан как упругий, тогда используется только один параметр – жесткость EA, если тип материала задан как упругопластический, кроме жесткости учитывается ещё и максимальное осевое усилие на растяжение N_p .

Для сопоставления коэффициентов устойчивости были рассчитаны десять примеров. Вычисление коэффициентов устойчивости производилось как по уравнениям регрессии, так и методом конечных элементов – по программе PLAXIS.

Исходные данные для расчёта приведены в таблице 1.

Таблица 1

№№ п/п	H, м	i	c, кПа	φ , град	γ , кН/м ³	N, кН/м	L ₁ , м	L ₂ , м	L ₃ , м	L ₄ , м	n, шт	L ₅ , м	L ₆ , м	E, МПа	v
Грунт – глина															
1	10	1:1	68	20	19,93	500	2	2	2	1	3	0,8	8	24	0,37
2	15	1:1	74	20	20,55	450	2	1,5	2	0,5	2	0,6	7	26	0,36
3	9	1:1,25	43	16	17,77	350	1,6	1,2	1,5	0,8	3	0,5	7	15	0,39
4	11	1:0,75	53	18	19,34	300	3,2	2	2,5	0,3	5	0,4	9	20	0,38

5	8	1:0,5	54	19	19,77	300	2	2	1	0,5	4	0,5	6	20	0,38
6	7	1:0	74	20	20,55	400	1	1	1	0,5	4	0,4	5	26	0,36
7	17	1:2	81	21	22,68	500	3,2	3,2	3	1	5	1	15	28	0,32
8	14	1:1,5	48	17	18,27	420	2,8	2	2	0,6	2	0,4	4	17	0,38
9	16	1:1,75	40	15	17,31	500	2,4	2,5	2	1	2	0,5	5	14	0,42
10	12	1:1,25	48	17	18,27	390	2,8	2	1,5	0,5	3	0,6	6	17	0,38
Грунт – суглинок															
1	10	1:1	31	24	19,71	500	2	2	2	1	3	0,8	8	22	0,36
2	15	1:1,5	37	25	20,98	470	2	1,5	2	0,5	2	0,6	7	27	0,35
3	9	1:1,25	18	19	17,58	320	1,6	1,2	1,5	0,8	3	0,5	7	12	0,37
4	11	1:1,5	29	23	19,13	350	3,2	2	2,5	0,3	5	0,4	10	21	0,36
5	8	1:1	25	21	17,58	290	2	2	1	0,5	4	0,5	7	19	0,36
6	7	1:0,75	36	24	20,33	425	1	1	1	0,5	4	0,4	6	27	0,35
7	17	1:2	47	26	22,43	500	3,2	3,2	3	1	5	1	15	34	0,35
8	14	1:1,75	28	23	18,67	380	2,8	2	2	0,6	2	0,4	5	20	0,36
9	16	1:2	37	25	19,52	400	2,4	2,5	2	1	2	0,5	6	27	0,36
10	12	1:1,5	28	23	18,97	390	2,8	2	1,5	0,5	3	0,6	6	22	0,35
Грунт – супесь															
1	10	1:1,5	19	28	21,64	400	2	2	2	1	3	0,8	8	31	0,30
2	15	1:1,75	21	30	22,34	280	2	1,5	2	0,5	2	0,6	12	32	0,30
3	9	1:1,5	18	27	19,51	350	1,6	1,2	1,5	0,8	3	0,5	7	27	0,32
4	11	1:1,5	19	28	21,7	500	3,2	2	2,5	0,3	5	0,4	9	32	0,30
5	8	1:1	15	27	19,64	450	2	2	1	0,5	4	0,5	6	16	0,33
6	7	1:1	17	29	21,94	405	1	1	1	0,5	4	0,4	7	24	0,30
7	17	1:2	21	30	22,34	500	3,2	3,2	3	1	5	1	15	32	0,30
8	14	1:1,75	19	27	20,86	250	2,8	2	1	0,6	2	0,4	10	30	0,32
9	16	1:2	20	29	19,84	380	2,4	2,5	2	1	2	0,5	11	31	0,31
10	12	1:1,5	18	28	19,06	300	2,8	2	1,5	0,5	3	0,6	7	29	0,32

В таблице 1 приняты следующие обозначения:

H – высота откоса, м;

i – заложение откоса;

c – удельное сцепление, кПа;

φ – угол внутреннего трения, град.;

γ – объемный вес грунта, кН/м³;

N – нагрузка от фундамента на грунт, кН/м;

L₁ – ширина подошвы фундамента, м;

L₂ – глубина заложения фундамента, м;

L₃ – длина арматуры в удерживающем слое, м;

L₄ – расстояние от подошвы фундамента до первой армирующей прослойки, м;

L₅ – расстояние между армирующими прослойками, м;

L₆ – расстояние от фундамента до бровки откоса, м;

n – количество слоёв армирования, шт.;

E – модуль деформации, МПа;

v – коэффициент бокового расширения грунта.

Характеристики грунта брались в соответствии со СНиП 2.02.01-83 и ДСТУ Б В.2.1.-4-96.

В расчётах по программе PLAXIS для моделирования георешётки и геотекстиля применялись характеристики следующих армирующих материалов KORTEX® GT и ARMATEX® G.

KORTEX® GT является тканым геотекстильным полотном, изготовленным из высокопрочного полиэфира. ARMATEX® G – тканая георешетка, изготовленная из высокопрочных полиэфирных нитей с покрытием из поливинилхлорида.

Результаты вычислений коэффициентов устойчивости фундаментов в случае возникновения глубокого сдвига по уравнениям регрессии и методу конечных элементов, а так же их сопоставление приведены в сводной таблице 2.

Таблица 2

№№ п/п	Ур.	МКЭ	%	Ур.	МКЭ	%	Ур.	МКЭ	%
	регрес.			регрес.			регрес.		
Грунт – глина			Грунт – суглинок			Грунт – супесь			
1	3,486	2,854	18,1%	3,081	2,724	11,6%	3,68	1,874	49,1%
2	2,668	2,756	3,2%	2,287	2,241	2,0%	3,108	1,676	46,1%
3	3,366	3,521	4,4%	2,815	2,624	6,8%	3,443	2,653	22,9%
4	3,807	3,415	10,3%	3,697	2,898	21,6%	3,878	1,945	49,8%
5	3,831	2,895	24,4%	3,219	2,393	25,7%	3,03	1,685	44,4%
6	4,196	2,154	48,7%	3,863	2,28	41,0%	3,812	1,914	49,8%
7	3,454	3,674	6,0%	3,769	2,449	35,0%	4,004	2,121	47,0%
8	2,125	1,921	9,6%	2,185	1,641	24,9%	2,396	1,961	18,2%
9	1,373	1,171	14,7%	2,667	2,015	24,4%	2,932	2,254	23,1%
10	2,401	2,015	16,1%	2,334	1,785	23,5%	2,706	2,112	22,0%

Как видно из таблицы 2 расхождения значений коэффициентов устойчивости фундаментов в случае возможного глубокого сдвига, рассчитанных для данных примеров по уравнениям регрессии и программой PLAXIS колеблется в пределах от 3,2 % до 49,8 %.

Такое расхождение можно разделить на две подгруппы:

1) расхождение от 3,2 % до 25,7 % это примеры, для которых моделируемый программой PLAXIS глубокий сдвиг происходит при всех видах геоматериала KORTEX® GT и ARMATEX® G (не зависимо от прочности геоматериала на разрыв);

2) расхождение от 35,0 % до 49,8 % это примеры, для которых моделируемый программой PLAXIS глубокий сдвиг происходит не при всех видах геоматериала.

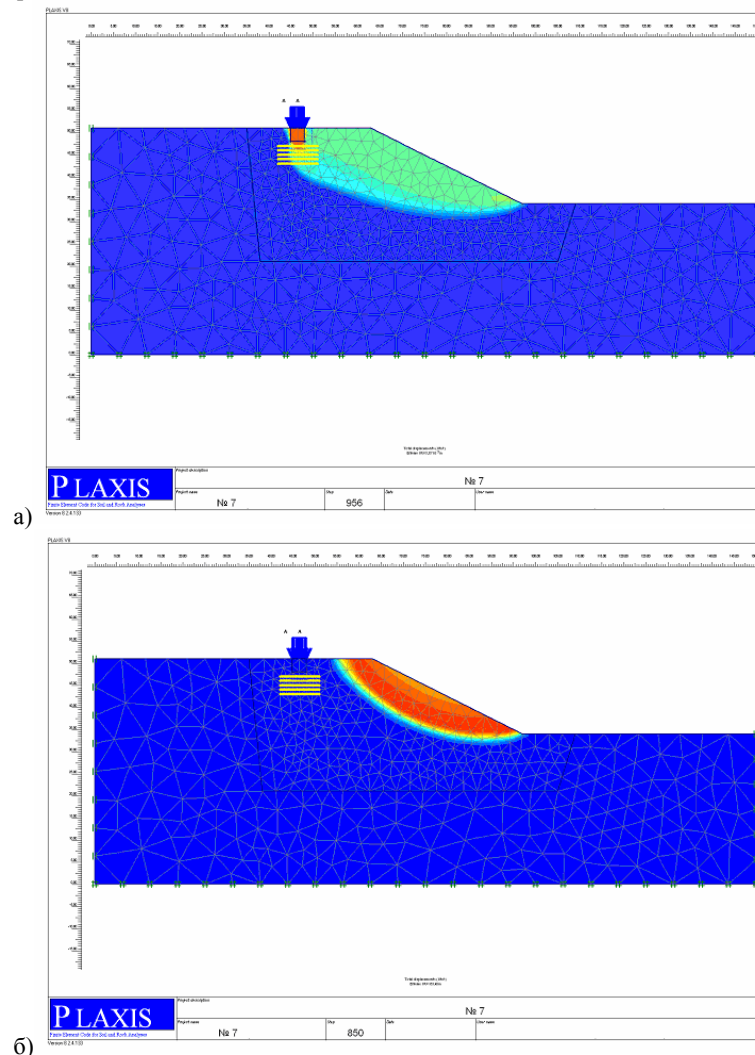
Это связано с особенностью определения коэффициента устойчивости методом Phi-c reduction. Для всех примеров (табл. 1) при армировании основания геоматериалами, имеющими низкий предел прочности на разрыв обрушение происходит вместе с фундаментом и рассчитываемый методом Phi-c reduction коэффициент безопасности является коэффициентом устойчивости фундамента в случае глубокого сдвига. Для некоторых примеров (табл. 1) при повышении предела прочности геоматериала обрушение, моделируемое методом Phi-c reduction, происходит перед фундаментом и соответственно рассчитываемый коэффициент безопасности является коэффициентом устойчивости склона, а не коэффициентом устойчивости фундамента в случае глубокого сдвига. В связи с чем для ряда примеров (табл. 2) методом Phi-c reduction нет возможности произвести численную оценку устойчивости фундамента при возникновении глубокого сдвига.

Так в случае примера № 7 (рис. 1) при армировании основания фундамента геотекстилем от вида KORTEX® GT 35/35 до вида KORTEX® GT 200/200 (предел прочности на разрыв 200 кН/м) наблюдается увеличение значения коэффициента устойчивости и обрушение происходит вместе с фундаментом, т.е. происходит глубокий сдвиг (рис. 1 а). Начиная с геотекстиля вида KORTEX® GT 300/100 (предел прочности на разрыв 300 кН/м) и выше согласно методу определения устойчивости путём пошагового снижения прочностных характеристик грунта обрушение происходит перед фундаментом (рис. 1 б). Соответственно для данного примера методом Phi-c reduction нет возможности определить коэффициент устойчивости фундамента на искусственном основании при армировании основания геотекстилем вида KORTEX® GT 300/100 и выше.

Расхождение также связано с необходимостью учёта в полученных методом Бокса-Уилсона уравнениях регрессии не только прочностных характеристик по контакту между грунтом и арматурой, а ещё и прочностных характеристик самих геоматериалов (т.е. прочности на разрыв, относительное удлинение).

Что подтверждается расчетами, проведенными методом конечных элементов по программе PLAXIS. Как видно из рисунка 2 а) растягивающие усилия в георешетке ARMATEX® G 110/30 превысили максимальный предел прочности на разрыв, и происходит пластическое течение геоматериала. На рисунке 2 в) приведены общие перемещения этого же геоматериала, при этом из рисунка видно, что часть георешётки осталась в удерживающем слое.

На рисунке 2 б) приведены растягивающие усилия, возникающие в георешетке ARMATEX® G 800/100, которые не превышают прочности на разрыв. Ниже на рис. 2 б) приведен график общих перемещений, показывающий, что в данном примере в отличие от ARMATEX® G 110/30 перемещается вся георешетка, но при этом левый край незначительно.



б) Рис. 1 Полные перемещения в примере № 7 (сулзинок) с армированием основания геоматериалами: а) KORTEX® GT 200/200, б) KORTEX® GT 300/100

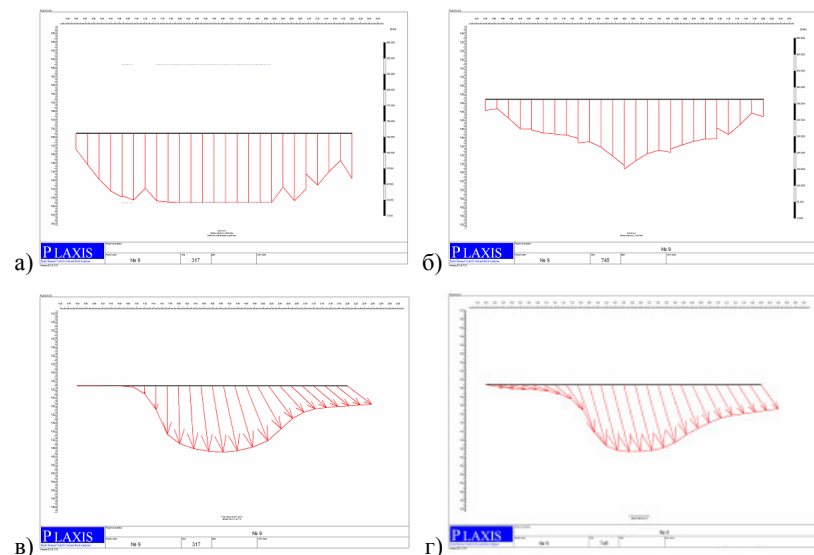


Рис 2 Пример № 9 (грунт – глина). Эпюры растягивающих осевых сил (а) и общих перемещений георешетки (б) ARMATEX® G 110/30. Эпюры растягивающих осевых сил (в) и общих перемещений георешетки (г) ARMATEX® G 800/100.

Выводы

1. Расхождение значений коэффициентов устойчивости рассчитанных для данных примеров по уравнениям регрессии и программой PLAXIS колеблется в пределах от 3,2 % до 49,8 %.

2. При вариации прочностных характеристик армирующих материалов возможно добиться повышение коэффициента устойчивости в заданной расчетной схеме, а так же определить оптимальное значение прочностных характеристик геоматериалов при проектировании рассматриваемого вида фундамента.

3. Для ряда примеров нет возможности произвести методом Phi-c reduction численную оценку устойчивости фундамента при возникновении глубокого сдвига. Так в некоторых случаях при армировании основания геоматериалами имеющими низкий предел прочности на разрыв обрушение происходит вместе с фундаментом (рис. 1 а) и соответственно рассчитываемый методом Phi-c reduction коэффициент безопасности является коэффициентом устойчивости фундамента при возможности глубокого сдвига. Для ряда примеров (табл. 1) при армировании основания геоматериалами с более высоким пределом прочности обрушение происходит перед фундаментом и соответственно определяется коэффициент устойчивости склона (без учёта глубокого сдвига фундамента (рис. 1 б)).

4. Для определения более достоверного коэффициента устойчивости в уравнениях регрессии, необходим учёт не только прочностных характеристик по контакту между грунтом и арматурой, а ещё и прочностных характеристик самих геоматериалов (т.е. прочности на разрыв, относительное удлинение), что может служить направлением дальнейшего совершенствования методики определения коэффициента устойчивости фундамента в случае глубокого сдвига.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по механике и динамике грунтов / В.Б. Швец, Л.К. Гинзбург, В.М. Гольдштейн и др. / Под. ред. В.Б. Швеца. – Киев: Будівельник. – 1987. – 232 с.
2. Оценка устойчивости основания сооружения при возможности глубокого сдвига методом планирования эксперимента / В.Б. Швец, О.А. Рубан, В.В. Ковалёв // Сб. «Дороги і мости», вып.7, в 2-х т., Т.2. - К.: ДерждорНДІ. 2007. С. 263-273.
3. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
4. Босов А.А. Методические указания к курсу «Теория надёжности и планирование эксперимента». Часть II. – Днепропетровск ДИИТ, 1983. – 47 с.
5. Терещенко М.В., Харченко Є.М., Ковшов В.М. та ін. Моделювання технологічних процесів у середовищі Microsoft Excel: Навч. посібник. – Дніпропетровськ: Пороги, 2005. – 266 с.
6. Brinkgreve, R.B.J. PLAXIS Professional Version 8 / Delft University of Technology & PLAXIS b.v, Netherlands, 2002
7. Brinkgreve, R.B.J. and Bakker, H.L. (1991). Non-linear finite element analysis of safety factors. Proc. 7th Int. Conf on Comp. Methods and Advances in Geomechanics, Cairns, Australia, 1117-1122.

УДК 542.34

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРІЩИНУВАТОСТІ БЕТОНУ В КОНСТРУКЦІЯХ УЛЬТРАЗВУКОВИМ ІМПУЛЬСНИМ МЕТОДОМ

Л.М. Шутенко, Я.О. Серіков, М.С. Золотов, С.Я. Серіков
Харківська національна академія міського господарства, м. Харків

Визначення надійності та подовження життєвого циклу експлуатованих будівель та споруд є важливою проблемою, що стосується, як України, так і зарубіжних країн. В цій проблемі встановлення ступеню тріщинуватості бетону в конструкціях та дослідження процесу утворення й розвитку тріщин є важливою задачею, тому що дозволяє визначати надійність та прогнозувати подовженість життєвого циклу як конструкцій, так і експлуатованих споруд в цілому. Актуальність рішення цього завдання обумовлена й економічно, так