

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНА БАЛКИ ТОННЕЛЬНАЯ В Г. ДНЕПРОПЕТРОВСКЕ ПО МЕТОДУ, В ОСНОВЕ КОТОРОГО ЛЕЖИТ ГИПОТЕЗА О ПРЕДСТАВЛЕНИИ ЛИНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ В ВИДЕ СТЕПЕННОЙ ФУНКЦИИ

Е.С. Причина, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Украина

В данной статье приведен анализ устойчивости оползнеопасного склона балки Тоннельная в г. Днепропетровске. Выполнен расчет устойчивости по методу, в основе которого лежит гипотеза о представлении линии скольжения в виде степенной функции. Выявлены наиболее оползнеопасные участки склона, для которых получены соответствующие линии скольжения для осуществления противооползневых мероприятий и возможных мероприятий по застройке прилегающих территорий.

В настоящее время проблема необходимости повышения устойчивости откосов и склонов приобретает все большее значение. Основными причинами этого являются прогрессирующее освоение оползневых территорий под строительство, вызванное дефицитом свободных земельных площадей, а также активизация прошлых и появление новых оползней. Очень часто в качестве оснований зданий и сооружений используются грунтовые массивы, находящиеся в сложных инженерно-геологических условиях. Выбор надежного и эффективного метода расчета устойчивости склонов непосредственно влияет на точность оценки оползнеопасности территорий и выбор мероприятий по инженерной защите территорий. На сегодняшний день вопрос совершенствования методов расчета и подходов к оценке устойчивости склонов остается актуальным и инициирует новые изыскания [1-4].

Таким образом, целью данной работы является оценка устойчивости борта Тоннельной балки в г. Днепропетровске с помощью метода, в основе которого лежит гипотеза о представлении линии скольжения в виде степенной функции.

Для достижения поставленной цели был выполнен анализ инженерно-геологических условий исследуемой площадки; расчет устойчивости рассматриваемого грунтового склона и осуществлен прогноз относительно наиболее оползнеопасных участков для осуществления противооползневых мероприятий и мероприятий по застройке прилегающих территорий.

Исследуемая территория является частью правого склона балки Тоннельной г. Днепропетровска. Согласно данным, предоставленным ООО НПП "ДИИНТИЗ", склон состоит из 4-х участков: верхнего слабопологого (уклон 1-5 градусов) и верхнего крутого (15-40 градусов), среднего пологого (уклон 12-16 градусов) и нижнего участков (уклон 45-60 градусов). На втором крутом и третьем пологом участках в разное время зафиксированы оползневые процессы.

Общая высота профиля склона составляет 42 м, протяженность - 550 м.

Водоотводные железобетонные каналы на данной территории частично нарушены. В верхней части склона находится большое количество разрушенных подвалов и ям, наполовину засыпанных бытовым мусором, затрудняющим отток дождевой воды.

Согласно материалам отчета, важнейшие природные (геологическое строение района, его рельеф, климатические условия) и техногенные факторы (строительство железной дороги и тоннеля, раскрытые грунты в средней и нижней частях склона) обусловили развитие оползневых процессов (рис. 1).

Инженерно-геологический профиль склона представлен на рис. 2. Расчетный участок профиля сложен преимущественно буровато-желтыми суглинками и супесями. Значения характеристик инженерно-геологических элементов приведены в табл. 1 [5].

Для оценки устойчивости рассматриваемого участка склона был выполнен расчет, основанный на гипотезе о представлении линии скольжения в виде степенной функции и позволяющий учитывать минимальные и максимальные характеристики свойств грунта. Согласно представляющему интерес методу, детально описанному в [6], представляется возможным определить механизм обрушения склона путем проверки соблюдения

равновесия склона по каждому из уравнений статики. В ходе расчета сканируется вся склоновая область и осуществляется перебор линий скольжения, описываемых степенной функцией, задавая их различное местоположение и кривизну. В пределах одной линии скольжения рассматривается равновесие составляющих ее отсеков, как показано на рис. 3а и б [6]. После этого осуществляется переход к следующему семейству поверхностей скольжения, выходящих из одной точки.



Рис. 1. Участки правого склона балки Тоннельная, г. Днепропетровск

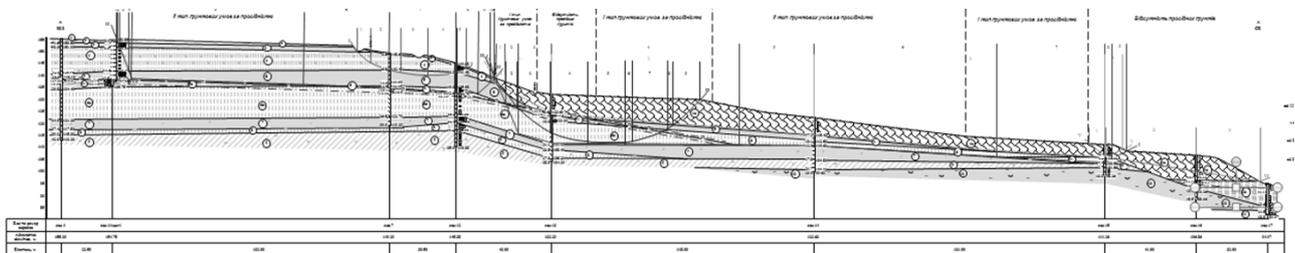
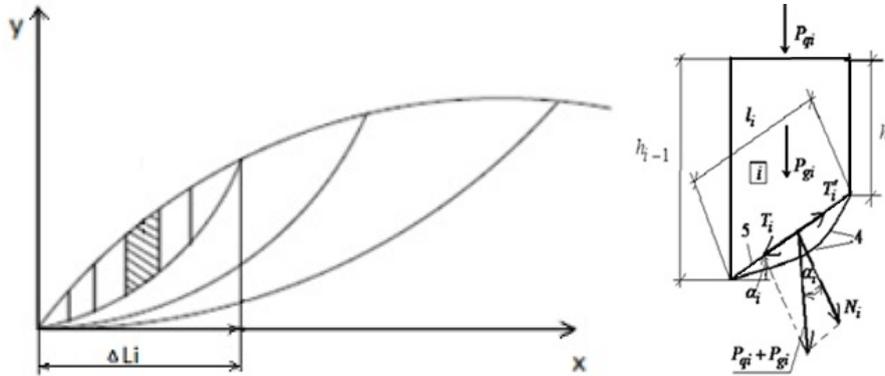


Рис. 2. Инженерно-геологический профиль склона балки
Значения коэффициентов устойчивости были определены согласно характеризующим
состояние равновесия уравнениям статики (1-3):

$$k_x^y = \frac{\sum_{i=1}^n T_i' \cdot \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^n T_i \cos \alpha_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(P_{i, \min} \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_{i, \min} + c_{i \min} \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \right) \cdot \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \left(P_{i, \max} \cdot \sin \alpha_i \right) \cdot \cos \alpha_i} \quad (1)$$



а)

б)

Рис. 3 . а) отсеки в пределах одной расчетной кривой скольжения; б) усилия, действующие в пределах одного отсека

$$k_y^y = \frac{\sum_{i=1}^n T_i' \cdot \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^n T_i \cos \alpha_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(P_{i, \min} \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_{i, \min} + c_{i \min} \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \right) \cdot \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \left(P_{i, \max} \cdot \sin \alpha_i \right) \cdot \cos \alpha_i} \quad (2)$$

$$k_M^y = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot T_i' \cdot \sin \alpha_i + y_i \cdot T_i' \cdot \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^n x_i \cdot T_i \cdot \sin \alpha_i + y_i \cdot T_i \cdot \cos \alpha_i}, \quad (3)$$

где x_i - расстояние от начальной точки откоса до центра хорды i -того отсека по оси Ox ; y_i - то же, по оси Oy , T_i - параллельные подошве i -того элемента (сдвигающие) силы, T_i' - удерживающие силы, $P_{i, \min}$, $P_{i, \max}$ - действующие в пределах отсека минимальные и максимальные вертикальные силы; b_i - ширина отсека, α_i - угол наклона i -той хорды к горизонту.

Для определения минимального значения коэффициентов устойчивости следует варьировать показатель степени; начальную и конечную точку откоса по оси абсцисс, а также вводить в расчет максимальные и минимальные расчетные значения характеристик грунта, повышающие достоверность результатов расчета. Последние определяют, как

$$X_p = X^H \cdot (1 + \rho), \quad (4)$$

если данная характеристика входит в состав сдвигающих сил;

$$X_p = X^H \cdot (1 - \rho), \quad (5)$$

если данная характеристика входит в состав удерживающих сил, где X_p - расчетная характеристика грунта; X^H - то же, нормативная (характеристическая), ρ - показатель точности определяемой характеристики [6-8].

Таким образом, значения характеристик грунтов согласно выше изложенным формулам (4) и (5) были уточнены, сведены табл. 2 и использованы в качестве исходных данных непосредственно в ходе расчета склона, находящегося в естественных условиях загрузки.

После выполнения расчета по методу, изложенному выше и в [6], были получены линии скольжения, соответствующие минимальным коэффициентам устойчивости, представленные на рис. 3-6.

Соответствующие линиям скольжения коэффициенты устойчивости склона представлены в табл. 3.

Полученные линии скольжения отвечают указанным выше коэффициентам устойчивости и позволяют прогнозировать наиболее оползнеопасные участки исследуемого профиля балки. Установлено, что полученные минимальные коэффициенты устойчивости соответствуют первоочередным и наиболее опасным вариантам развития оползневых процессов данного склона.

Таблица 1

Расчетные показатели физико-механических свойств грунтов при доверительной вероятности $\alpha_I / \alpha_{II} = 0.95 / 0.85$

Ном ер ПЭ	Удельный вес грунта, кН/ м3		Одноплоскостной срез по схеме медленного консолидированного среза				Модуль деформац ии $E_{прир}/E_{вод}$; МПа
			Угол внутренн его трения φ_I/φ_{II} град	Удельное сцепление C_I/C_{II} , кПа	Угол внутренне го трения φ_I/φ_{II} град	Удельное сцепление C_I/C_{II} , кПа	
	γ_I / γ_{II} ест.	γ_I / γ_{II} вод.	G < 0.8		G > 0.8		
1a	<u>16.23</u>	<u>18.15</u>	<u>28</u>	<u>19.0</u>	<u>25</u>	<u>11.0</u>	10.0
	16.46	18.34	29	21.0	26	12.0	
3	<u>15.11</u>	<u>17.61</u>	<u>27</u>	<u>23.0</u>	<u>23</u>	<u>13.0</u>	<u>7.0</u>
	15.20	17.67	28	24.0	24	14.0	3.0
4	<u>14.93</u>	<u>18.16</u>	<u>26</u>	<u>12.0</u>	<u>24</u>	<u>5.0</u>	<u>17.0</u>
	14.05	18.26	28	13.0	25	6.0	3.5
5	<u>16.58</u>	<u>18.31</u>	<u>23</u>	<u>28.0</u>	<u>20</u>	<u>17.0</u>	<u>16.0</u>
	16.65	18.37	24	30.0	21	18.0	7.0
5a	<u>18.13</u>		-	-	<u>20</u>	<u>17.0</u>	9.0
	18.18				21	18.0	
6	<u>16.86</u>	<u>18.56</u>	<u>27</u>	<u>16.0</u>	<u>24</u>	<u>8.0</u>	<u>20.0</u>
	16.96	18.66	28	18.0	25	9.0	6.0
6a	<u>19.07</u>		-	-	<u>24</u>	<u>8.0</u>	10.0
	19.19				25	9.0	
7	<u>19.72</u>		-	-	<u>20</u>	<u>30.0</u>	22.0
	19.76				21	31.0	
8	<u>18.85</u>		-	-	<u>23</u>	<u>14.0</u>	14.0
	18.91				26	16.0	
9	<u>20.12</u>		-	-	<u>17</u>	<u>45.0</u>	27.0
	20.23				18	46.0	

Таблица 2

Значения минимальных и максимальных показателей свойств грунтов склона балки на основе их нормативных значений

№ п/п ИГЭ	Удельный вес, кН/м ³			r _g	Угол внутреннего трения, град			r _f	Сцепление, кПа			r _c
	Min	Max	Норм.		Min	Max	Норм.		Min	Max	Норм.	
1	16,23	18,17	17,20	0,056395349	25	27	26	0,038462	18	20	19	0,052632
1-a	16,23	18,17	17,20	0,056395349	25	27	26	0,038462	18	20	19	0,052632
2	15,11	16,09	15,6	0,031410256	25	29	27	0,074074	15	27	21	0,285714
2-a	15,11	16,09	15,6	0,031410256	25	29	27	0,074074	15	27	21	0,285714
3	15,11	16,09	15,6	0,031410256	25	29	27	0,074074	15	27	21	0,285714
4	14,93	16,07	15,5	0,036774194	24	26	25	0,04	23	27	25	0,08
5	16,58	17,62	17,1	0,030409357	22	28	25	0,12	27	35	31	0,129032
5-a	18,13	19,07	18,6	0,025268817	17	21	19	0,105263	19	23	21	0,095238
6	16,86	17,94	17,4	0,031034483	21	23	22	0,045455	16	20	18	0,111111
6-a	19,07	20,33	19,7	0,031979695	20	22	21	0,047619	9	13	11	0,181818
7	19,72	20,68	20,2	0,023762376	6	8	7	0,142857	26	28	27	0,037037
8	18,85	19,95	19,4	0,028350515	18	20	19	0,052632	8	10	9	0,111111
9	20,12	21,28	20,7	0,028019324	4	6	5	0,2	25	27	26	0,038462
10												
11												

Этим вариантам соответствуют механизмы обрушения за счет несоблюдения уравнения равновесия по оси Oy и равенства моментов. Данные линии скольжения подтверждают местоположение некоторых закольных трещин, наблюдаемых на данный момент в натуральных условиях, что подтверждает точность и практическую ценность применяемого метода расчета.

Таблица 3

Сводная таблица результатов расчета

Вариант расчета	Коэффициент устойчивости, определенный как отношение			
	T_{vd}/T_{cd}	$T_{vd,x}/T_{cd,x}$	$T_{vd,y}/T_{cd,y}$	M_{vd}/M_{cd}
С учетом минимальных и максимальных характеристик грунта	2,213	2,18	1,838	1,976

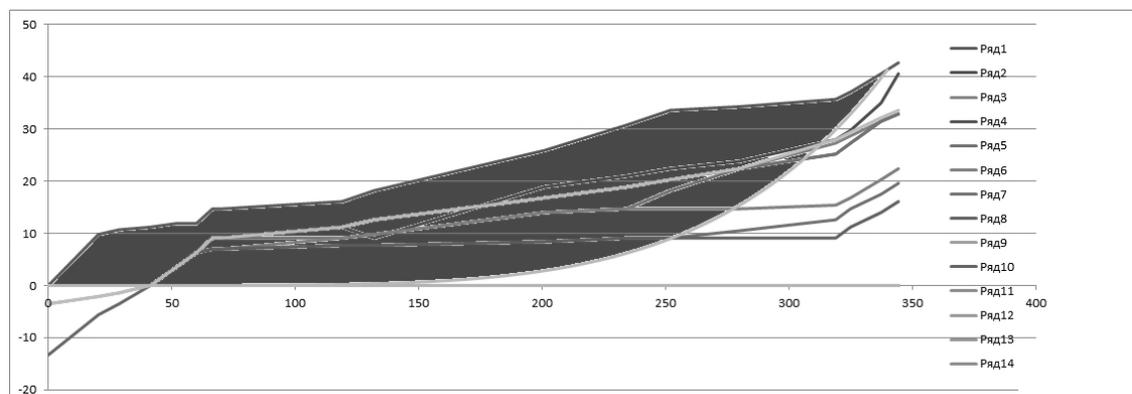


Рис. 3. Коэффициент устойчивости, определяемый как отношение сил удерживающих к сдвигающим (стандартный вариант расчета)

В ходе проведенного исследования были проанализированы инженерно-геологические условия исследуемой площадки; выполнен расчет устойчивости рассматриваемого грунтового склона по методу, в основе которого лежит гипотеза о представлении линии скольжения в виде степенной степенной функции. В результате были выявлены потенциально опасные линии скольжения и соответствующие им коэффициенты устойчивости. Установлено, что полученные по данной методике минимальные коэффициенты устойчивости соответствуют первоочередным и наиболее опасным вариантам развития оползневых процессов данного склона. Этим вариантам соответствуют механизмы

обрушения за счет несоблюдения уравнения равновесия по оси Oy и равенства моментов. Полученные результаты будут использованы при дальнейших изысканиях и предоставлены для учета при проектировании мероприятий инженерной защиты борта балки Тоннельной.

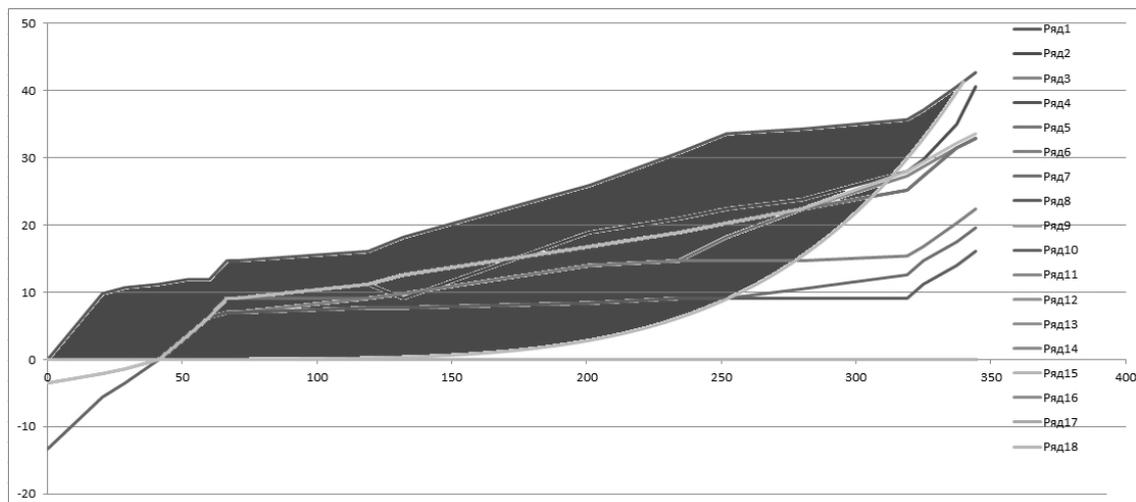


Рис. 4. Коэффициент устойчивости в предположении о том, что его обрушение происходит вследствие несоблюдения уравнения статики по оси Ox

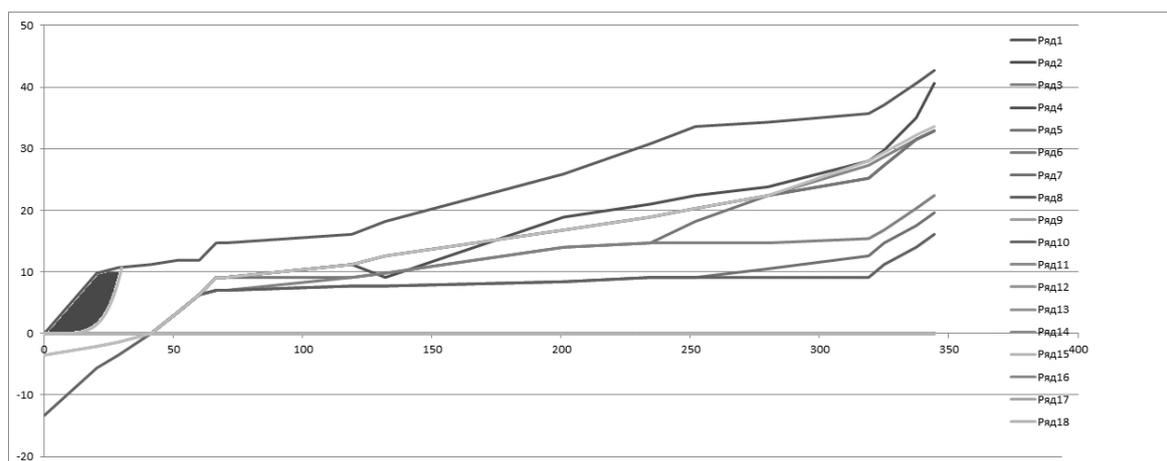


Рис. 5. Коэффициент устойчивости в предположении о том, что его обрушение происходит вследствие несоблюдения уравнения статики по оси Oy

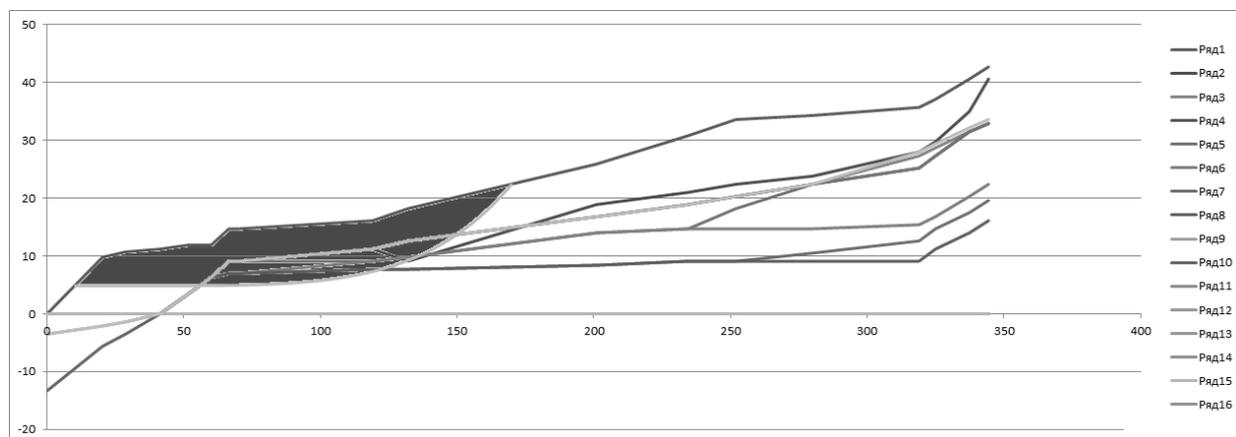


Рис. 6. Коэффициент устойчивости в предположении о том, что его обрушение происходит вследствие несоблюдения уравнения равенства удерживающего и опрокидывающего МОМЕНТОВ

Список литературы

1. Инженерная геодинамика Украины и Молдовы (оползневые геосистемы): в 2 т. / под ред. Г.И. Рудько, В.А. Осюка. – Черновцы: Букрек, 2012. – Т. 1. – 592 с.
2. Гинзбург Л.К. Противооползневые сооружения. – Днепропетровск: ЧП "Лири ЛТД", 2007.- 188 с.
3. Механика грунтов / [Шаповал В.Г. и др.]. – [учебник]. - Днепропетровск: Пороги, 2010. - 168 с.
4. Механика грунтов, основания и фундаментов / [Ухов С.Б. и др.]. – [учебник]. - М.: Изд. АСВ, 1994. - 527 с.
5. Науково-технічний звіт по об'єкту: "Інженерний захист правого схилу балки Тунельна в районі залізничного тунелю в м.Дніпропетровську, вишукувальні роботи". (в трьох книгах) Книга 2 – інженерно-геологічні роботи (текст звіту з табличними, текстовими і графічними додатки). - «Укрвосток-ГІИИТИЗ», Днепропетровский филиал, г. Днепропетровск, 2010г.
6. Определение коэффициента устойчивости откосов и склонов в рамках гипотезы о поверхности скольжения в виде степенной функции / Шаповал В.Г., Шаповал А.В., Причина Е.С. // Світ геотехніки. – Запоріжжя: 2014. – Вип. 4(44). – С. 22 – 26
7. К вопросу адекватного использования расчетных характеристик грунтовых оснований при определении устойчивости откосов и склонов / А.В. Шаповал, Е.А. Шокарев, Слободянюк, Е.В., Е.В. Нестерова, А.В. Шокарев, В.Г. Шаповал, Е.С. Титякова, Е.С. Причина, В.А. Легенченко // Науковий вісник будівництва – Харків. : ХНУБА, 2013. – Вип. 71. – С. 487 – 493.
8. ГОСТ 20522-75 Грунты. Методы статистической обработки результатов определения характеристик

ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ВЛИЯНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПОСТОЯННО НАХОДЯЩИХСЯ ВО ВЛАЖНОЙ СРЕДЕ

А. С. Фартушный, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Украина

В статье представлены материалы экспериментов по циклическому замерзанию – оттаиванию постоянно (без выемки) находящегося в водной среде бетона. Оказалось, что в данном случае имеет место существенная интенсификация процесса его деструкции.

В настоящей работе представлены материалы экспериментов, при проведении которых преследовалась цель выявить, каким образом циклическое замерзание – оттаивание грунта влияет на несущую способность бетона, поскольку известно, что бетонные конструкции в водонасыщенном состоянии при циклическом замерзании – оттаивании подвергается деструкции [1,2,3].

В этой связи следующий качественный эксперимент включал в себя знакопеременное замерзание – оттаивание бетонных кубиков.

Испытания выполнялись в такой последовательности:

1. Вначале из бетона класса В12,5 изготавливались кубики с размерами 10х10х10 мм.
2. После набора прочности они помещались в емкость с водой, в которой выдерживались в течение 30 суток для полного водонасыщения (рис. 1).
3. После этого емкость с кубиками и водой помещались в холодильную камеру и замораживались при отрицательной температуре (рис. 2).
4. Далее без выемки из воды выполнялось размораживание образцов, они фотографировались и процесс повторялся.