

*д.т.н. Должиков П.Н.,
Кирияк К.К.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ИНЪЕКТИРОВАНИЯ ГРУНТОВ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ

У статті розглядаються питання поведінки зсувного масиву, аналіз його стану методом професора Г.М. Шахунянца, визначення рівноважної зони зсуву і виділення найбільш ефективної області ін'єктування для стабілізації зсувних процесів методом струменевої цементації.

Ключові слова: *зсув, область ін'єкції, стабілізація, цементація.*

В статье рассматриваются вопросы поведения оползневого массива, анализ его состояния методом профессора Г.М. Шахунянца, определение равновесной зоны оползня и выделение наиболее эффективной области инъектирования для стабилизации оползневых процессов методом струйной цементации.

Ключевые слова: *оползень, область инъектирования, стабилизация, цементация.*

Актуальность проблемы. В развитии оползневых явлений ЮБК весьма существенной является форма склона. Характерными параметрами определения служат высота склона и его крутизна. Необходимо учитывать, что наблюдаемая форма склона обуславливается совокупным воздействием всей естественно-исторической обстановки. Очевидно, что при искусственном изменении этой обстановки (подтопление, изменение гидрогеологического режима, подрезки и т.д.) наблюдаемая форма рельефа склона может оказаться уже несоответствующей новым условиям. При подобных условиях неизбежны оползневые явления.

Динамика сдвижения пород, слагающих склон или толщу откоса, имеет чрезвычайно большое значение. Следует отметить, что склоны и откосы и, в нашем случае, морское побережье, представлены коренными породами и покровными отложениями. Породы в значительной мере предопределяют собою и степень устойчивости склона, и характер возможного развития оползневых процессов.

Оценка степени опасности по условию развития оползней, как гравитационных, водно-гравитационных и эрозионно-гравитационных

процессов для территорий городов и населённых пунктов, и защита от них территорий, отводимых под застройку участков, строящихся и уже построенных зданий и сооружений, сводится к задачам трех типов, существенно различающимся по направленности, масштабам и методам решения [1]:

- связанные с разработкой рекомендаций по предупреждению и локализацией развития оползней и защите на больших территориях, решаемые преимущественно на основе обобщенных качественных оценок оползневой опасности;

- по оценке степени оползневой опасности и защите от оползней конкретных участков городских территорий, в первую очередь участков, отводимых под строительство или существующих зданий и сооружений;

- по определению расчётных показателей для выбора оптимальных вариантов при проектировании противооползневых сооружений инженерной защиты от оползней территорий и объектов.

Необходимость решения задач первого и, в меньшей мере, второго типа регламентирована законодательством Украины об охране окружающей природной среды [2]; согласно «Региональной программы по инженерной защите территории Автономной Республики Крым от оползневых, абразионных процессов, подтопления и паводков на 2007-2011 гг», которая является частью «Государственной программы социально-экономического развития АРК на срок до 2017г», утвержденной постановлением Кабинета Министров Украины № 1067 от 30.08.2007г; законами о планировании и застройке территорий, защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на объектах повышенной опасности [3-5]; Земельным кодексом [6]; и нормативной документацией о планировании и застройке городов [7, 8]; об инженерной защите территорий от оползней и обвалов [9]; и другими нормативами.

Анализ предыдущих исследований. Горный Крым ввиду широкого развития экзогенных геологических процессов (ЭГП) с давних пор привлекал внимание ученых России и Украины.

1. Первый период (1785-1888). Впервые были рассмотрены оползни и обвалы Горного Крыма и причины их образования.

2. Второй период (1889-1929). Установлена роль подземных вод в формировании оползней, при избытке воды и значительном уклоне текущие воды приобретают активную роль и начинают действовать как транспортирующая связь.

3. Третий период (1930-1941). Разработана первая методика комплексных стационарных наблюдений, выполнено оползневое районирование западной части ЮБК, разработана классификация оползней.

4. Четвертый период (1945-1962). Выполнен комплекс работ по освещению геологических и тектонических условий развития Горного Крыма.

5. Пятый период (1963-1978). Произведена морфологическая и генетическая классификация карстовых полостей, типы карстовых отложений, карстовые воды и история формирования карста в Горном Крыму.

6. Шестой период (1979-1989). Разработаны теоретические основы и методы долговременных региональных прогнозов активизации экзогенных геологических процессов. Составлен и опробован комплекс методов (гидрогеологических, геодезических, инженерно-геологических, метеорологических, геофизических) с целью изучения режима оползней.

7. Седьмой период с 1989 г. и по настоящее время. Продолжаются стационарные наблюдения за развитием ЭГП, с их прогнозом и проверкой оправдываемости. Составлена Программа по инженерной защите территории АРК от оползневых и абразионных процессов. Составлен проект (первая редакция) ДБН «Строительство в сейсмических районах Украины». [10].

Цель работы – определить эффективную область инъектирования грунтов для стабилизации оползневых процессов методом цементации.

Основная часть. Для рассмотрения вопроса поведения оползневого массива и анализа его состояния применялся метод профессора Г.М. Шахунянца, для определения равновесной зоны оползня ($T_{cd} \approx T_{yd}$). В качестве рассматриваемой задачи был выбран наиболее типичный оползневой склон в районе г. Алушта. Исследование оползневой системы и инженерно-геологической ситуации были выполнены ЦНТУ «Инжзащита».

Исследуемая территория расположена в прибрежной части южного макросклона Крымских гор, на склоне юго-восточной экспозиции с отметками поверхности 3,2-27,7 м. В геоморфологическом отношении исследуемая территория расположена в прибрежной части умеренно крутого склона юго-восточной экспозиции, осложненного овражно-балочной сетью, по которой, в основном, осуществляется поверхностный сток при выпадении атмосферных осадков на вышерасположенной территории. В геологическом строении исследуемой территории принимают участие флишевые породы таврической серии, перекрытые чехлом верхнечетвертично-современных накоплений делювиально-провилюального, оползневого и техногенного генезиса. Глубина залегания кровли коренных грунтов в пределах участка, варьируется от 2-3 м до 12,5 -17,5 м относительно древней поверхности. Сейсмичность относится к зоне интенсивности сотрясений на средних

грунтах равной 8-ми баллам. Исследуемая форма оползневого склона представлена на рисунке 1.

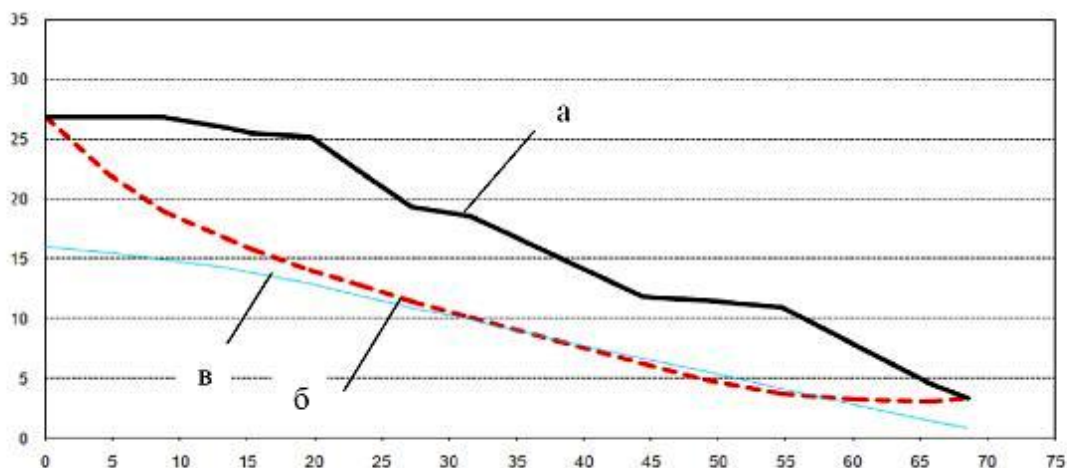


Рисунок 1 – Поперечный разрез оползневого склона:
а – поверхность существующего рельефа, б – зона скольжения,
в – уровень грунтовых вод.

Для определения физико-механических свойств зоны скольжения применялся способ обратного расчета, методом проф. Г.М Шахунянца:

$$k_{st} = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} [N_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i l_i + T_{i \text{ уд}}] \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}{\sum_{i=1}^{i=m} T_{i \text{ сдв}} \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}, \quad (1)$$

где k_{st} - коэффициент устойчивости; N_i - нормальная сила; T_i - тангенциальная сила; c_i , l_i - силы сцепления; φ - угол внутреннего трения грунта; α_i - угол наклона зоны скольжения к горизонту.

Методика расчета заключается в следующем: каждый ограниченный предполагаемой поверхностью скольжения отсек, разбивают на отдельные блоки вертикальными плоскостями, проведенными в местах перелома поверхности скольжения так, чтобы в пределах каждого блока по его основанию сдвиговые характеристики грунтов были одинаковы. Определяются величины нормальной N_i и тангенциальной T_i состав-

ляющих силы веса по блокам, а также силы сцепления c_i , l_i . Вычисляется коэффициент устойчивости всего отсека обрушения.

Сравнением результатов расчета, полученных по рассмотренным вариантам, устанавливается значение минимального коэффициента устойчивости и соответствующее ему положение критической поверхности скольжения.

Коэффициент устойчивости k_{st} подбирался близкий к 1 (без учета сейсмического воздействия), путем изменения характеристик грунта c и φ из условия предельного равновесия оползневого склона, объемная масса грунта принимался равным среднему значению, исходя из инженерно-геологического строения склона. Свойства грунтов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Физико-механические характеристики грунта

Объемная масса, т/м ³	Угол внутреннего трения, град.	Удельное сцепление, т/м ²
γ	φ	c
1,95	16	0,7

Результаты общего расчета при основном сочетании нагрузок приведены в таблице 2. Исходя из них видно, что для блоков №7-12 полученные сдвигающие силы примерно равны удерживающим силам ($T_{cd} \approx T_{yd}$).

Таблица 2 - Результаты общего расчета при основном сочетании нагрузок

№ блока	α_i , град	$T_{уд}$, т/пм	$T_{сд}$, т/пм	$\Sigma T_{уд}$, т/пм	$\Sigma T_{сд}$, т/пм	$K_{уст}$	$E_{оп}$, т/пм	$\Sigma E_{оп}$, т/пм
1	77.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.053	0.0	0.0
2	46.2	4.8	17.3	4.8	17.3	0.275	13.2	13.2
3	36.7	15.9	31.6	20.7	48.9	0.422	17.8	31.0
4	26.4	23.1	33.8	43.7	82.7	0.529	13.7	44.7
5	24.2	10.9	14.8	54.6	97.5	0.561	5.3	50.0
6	22.8	25.5	32.7	80.1	130.2	0.615	10.6	60.6
7	17.8	22.7	22.3	102.8	152.5	0.674	2.6	63.2
8	17.5	19.3	20.7	122.1	173.2	0.705	3.9	67.1
9	17.2	21.3	19.6	143.4	192.8	0.743	1.1	68.2

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	16.7	30.1	26.9	173.5	219.7	0.790	0.7	68.8
11	17.1	25.3	22.6	198.8	242.3	0.820	0.6	69.5
12	15.8	17.7	14.9	216.5	257.2	0.842	-0.5	68.9
13	11.6	24.6	15.6	241.1	272.7	0.884	-5.8	63.1
14	6.4	12.8	4.3	253.9	277.1	0.916	-6.8	56.3
15	3.7	8.7	1.6	262.6	278.7	0.942	-6.0	50.3
16	1.5	13.0	0.8	275.6	279.5	0.986	-10.5	39.8
17	-4.0	1.2	-2.7	276.8	276.8	1.000	-3.7	36.1

Результаты общего расчета при особом сочетании нагрузок (сейсмическое воздействие, коэффициент сейсмичности $\mu=0.042$) приведены в таблице 3. Из них так же видно, что условие примерного равновесия сил наблюдается в блоках №7-12. Полученная область предельного равновесия сил приведена на рисунке 2. Следовательно, в пределах блоков №7-12 инъецирование цементного раствора будет наиболее эффективным.

Таблица 3 - Результаты общего расчета при особом сочетании нагрузок

№ блока	α_i , град	$T_{уд}$, т/пм	$T_{сд}$, т/пм	$\Sigma T_{уд}$, т/пм	$\Sigma T_{сд}$, т/пм	$K_{уст}$	$E_{оп}$, т/пм	$\Sigma E_{оп}$, т/пм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	77.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.052	0.0	0.0
2	46.2	4.8	18.2	4.8	18.2	0.261	13.9	13.9
3	36.7	15.9	33.8	20.7	52.0	0.397	19.3	33.2
4	26.4	23.1	37.0	43.7	89.0	0.491	16.1	49.3
5	24.2	10.9	16.3	54.6	105.4	0.519	6.4	55.7
6	22.8	25.5	36.4	80.1	141.8	0.565	13.2	68.9
7	17.8	22.7	25.5	102.8	167.3	0.614	4.9	73.9
8	17.5	19.3	23.4	122.1	190.7	0.640	5.8	79.7
9	17.2	21.3	22.5	143.4	213.2	0.673	3.2	82.8
10	16.7	30.1	30.9	173.5	244.1	0.711	3.5	86.4
11	17.1	25.3	25.9	198.8	270.0	0.736	3.0	89.3
12	15.8	17.7	17.2	216.5	287.2	0.754	1.1	90.4
13	11.6	24.6	18.8	241.1	306.0	0.788	-3.6	86.8
14	6.4	12.8	6.0	253.9	312.0	0.814	-5.7	81.1

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	3.7	8.7	2.6	262.6	314.6	0.835	-5.3	75.8
16	1.5	13.0	2.2	275.6	316.8	0.870	-9.7	66.2
17	-4.0	1.2	-2.5	276.8	314.2	0.881	-3.6	62.6

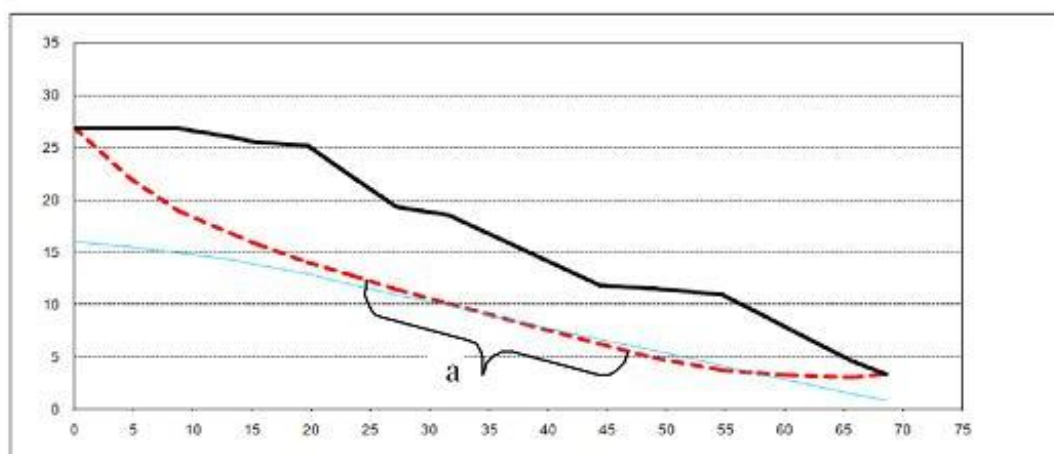


Рисунок 2 - Поперечный разрез оползневого склона:
а – полученная область предельного равновесия сил, блоки №7-12.

Выводы.

1. Исходя из систематизации наработанных результатов, а так же анализа физико-механических и параметрических свойств сходных оползневых участков, были определены физико-механические характеристики оползневого склона и рассчитан коэффициент устойчивости при помощи метода обратного расчета.

2. Определенная расчетом область предельного равновесия сил по блокам № 7-12, в которой получены сдвигающие силы, примерно равны удерживающим ($T_{cd} \approx T_{yd}$), позволяет вычислить наиболее благоприятную область для устройства противооползневого сооружения методом цементации. Методика определения области применения струйной цементации, позволяет использовать ее для укрепления сходных по структуре грунтов оползневых участков ЮБК.

Библиографический список

1. Черный Г.И. О классификации математических моделей для различных задач механики горных пород / Черный Г.И. // "Труды VIII

сессии Совета по народнохозяйственному использованию взрыва”. - К.: Наукова думка, 1970. – С. 20 – 26.

2. Законодавство України про охорону навколишнього природного середовища (за станом на 1 квітня 2000 р.). – К.: Парламентське видавництво, 2000. – 144 с.

3. Закон України. Про планування та забудову територій від 20 квітня 2000 року № 1699-III.

4. Закон України. Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру від 8 червня 2000 року №1800-III.

5. Закон України. Про об’єкти підвищеної небезпеки від 18 січня 2001 року № 2245 – III.

6. Земельний кодекс України (Зі змінами та доповненнями станом на 1 квітня 1998 року). – К.: В-во “Право”. - 1998. – 42 с.

7. Держкомістобудування України. Система містобудівельного кадастру населених пунктів України. – К.: Знання, 1994. – 39 с.

8. Державні будівельні норми України. ДБН 360-92* (Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень). - К.: “Будівельник”, 1992.- 46 с.

9. Державні будівельні норми України. ДБН В.І.І-3-97. Інженерний захист територій будівель та споруд від зсувів та обвалів. Основні положення. Видання офіційне. – К.: Держбуд України, 1998. – 40 с.

10. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты): Монография / Г. И. Рудко, И. Ф. Ерыш. – К.: Задруга, 2006. – 624 с.: ил. – Библиогр.: С. 596-620.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Литвинским Г.Г.