

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

ASSESSMENT OF SLOPE STABILITY IN ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS IN THE REPUBLIC OF CRIMEA

С. А. РЫТОВ, канд. техн. наук

И. М. ИОВЛЕВ

А. С. ШИШАРИН

Строительство берегоукрепительных и противооползневых сооружений в республике Крым поставило ряд задач, связанных с оценкой физико-механических характеристик грунтов полевыми методами, оценкой устойчивости склона при наличии крупнообломочных грунтов.

Construction of shore protection and landslide control structures in the Republic of Crimea set a number of tasks related to the assessment of physical and mechanical properties of soils by field tests, assessment of slope stability with the presence of coarse grained soils.

Ключевые слова:

Грунтовые анкера, противооползневые конструкции, расчет устойчивости склонов

Key words:

Landslide control structures, soil anchors, slope stability analyses

Введение

При разработке проектных решений по объекту «Берегоукрепительные и противооползневые сооружения территории, прилегающей к храму-маяку св. Николая в с. Малореченское, г. Алушта» в Республике Крым принимал участие НИИОСП.

Инженерно-геологические условия площадки строительства

На территории строительства объекта находятся храм-маяк и подъездные дороги к нему. В прибрежной части участка были построены противоабразионные сооружения, которые в данный момент разрушены абразионными и оползневыми процессами.

В геоморфологическом отношении площадка строительства расположена в пределах древнего и молодого оползня на побережье Чёрного моря, которые сформировались на склонах горы Лакана (279 м), являющейся естественным продолжением Сайнын-Бурун (337,7 м). Абсолютные отметки поверхности в пределах территории строительства изменяются от 0,77 до 72,96 м. Расчетная сейсмичность площадки составляет 7,72 балла.

В инженерно-геологическом разрезе принимают участие в основном четвертичные отложения, представленные крупнообломочными грунтами и твердыми суглинками. Как правило, свойства таких грунтов определяются по лабораторным испытаниям заполнителя, что дает более консервативные оценки и приводит к дорогостоящим техническим решениям.

Наличие крупнообломочных включений в грунтах затрудняет определение его деформационных и прочностных характеристик. Изначально свойства грунтов определялись лабораторными методами (табл. 1).

Таблица 1

Сводная инженерно-геологическая колонка с характеристиками нормативными и расчетными значениями показателей физико-механических свойств грунтов и их классификации по разработке и по сейсмическим свойствам

№ ИГЭ	Описание грунта	Расчетные значения характеристик			
		γI , кН/м ³	γI , град	c_r , кПа	E_r , МПа
1	Суглинок твердый, тяжелый, пылеватый, непросадочный, ненабухающий, дресвяный	20,50	-21	-24	$\frac{21}{14}$
1a	Суглинок твердый, тяжелый, пылеватый, непросадочный, ненабухающий, дресвяный	20,50	-21	-24	$\frac{21}{14}$
2	Суглинок твердый, легкий, пылеватый, непросадочный, ненабухающий, дресвяный	21,58	-21	-19	$\frac{22}{14}$
3	Аргиллит (суглинок твердый, легкий, пылеватый, непросадочный, ненабухающий, дресвяный)	21,48	-21	-13	$\frac{24}{16}$

Примечание: При указании значений в виде дроби: в числителе – показатель при естественном состоянии грунта, в знаменателе – при замоченном состоянии грунта.

В процессе выполнения инженерно-геологических изысканий проводилась оценка устойчивости склона по методу Г. М. Шахунянца и касательных сил. Расчеты по нескольким методикам по характеристикам табл. 1 показали, что склон по всем расчетным линиям находится в неустойчивом состоянии [1].

НИИОСП провел предварительные расчеты устойчивости склонов и рекомендовал уточнить физико-механические характеристики грунтов испытаниями грун-

товых целиков полевыми методами с учетом ГОСТ 20276-2012 и результатов исследований [3].

В 80-х годах был выполнен ряд полевых исследований свойств крупнообломочных грунтов [3]. В настоящее время результаты данных исследований не используются (табл. 2).

Таблица 2

Показатели механических свойств крупнообломочных грунтов [3]

Показатели механических свойств оползневых накоплений ЮБК				
Породы	Показатели механических свойств	Влажность, %		
		до 8	8-15	15-25
Суглинки бурые с обломочными включениями известняков (третий оползневой комплекс)	Угол внутреннего трения φ , град	$71 \frac{21 - 37}{26,8} 31$	$65 \frac{10 - 27}{17,0} 20$	$25 \frac{5 - 21}{11} 46$
	Сцепление C , кгс/см ²	$71 \frac{0,45 - 1,36}{0,91} 39$	$65 \frac{0,24 - 0,87}{0,67} 31$	$25 \frac{0,2 - 0,68}{0,4} 38$
Суглинки серые с обломочными включениями пород таврической серии (второй оползневой комплекс)	Угол внутреннего трения φ , град	$152 \frac{26 - 32}{25,6} 45$	$89 \frac{10 - 23}{20} 20$	$41 \frac{7 - 17}{11} 45$
	Сцепление C , кгс/см ²	$152 \frac{0,62 - 2,8}{0,85} 26$	$89 \frac{0,31 - 0,84}{0,58} 34$	$41 \frac{0,12 - 0,3}{0,24} 62$
Глины темно-серые с включениями обломков аргиллитов, песчаников (первый оползневой комплекс)	Угол внутреннего трения φ , град	$72 \frac{16 - 45}{26,8} 32$	$81 \frac{11 - 24}{16} 31$	$29 \frac{3 - 21}{11} 27$
	Сцепление C , кгс/см ²	$72 \frac{0,37 - 2,45}{0,84} 59$	$81 \frac{0,13 - 0,53}{0,32} 78$	$29 \frac{0,05 - 0,32}{0,19} 42$

Примечание: В числителе – размах значений показателей, в знаменателе – среднее значение, справа – коэффициент вариации, слева – число определений.

В связи с трудоемкостью полевых исследований крупнообломочных грунтов используются в основном лабораторные методы испытания заполнителя (как наиболее слабой компоненты грунта). Лабораторные методы неприемлемы для изучения прочностных характеристик крупнообломочных грунтов, так как испытания на срез заполнителя не учитывают фактическую плоскость среза при наличии крупного заполнителя.

Прочностные характеристики грунтов были уточнены полевыми методами испытаний. Результаты испытаний приведены в табл. 3 (современные исследования близки к результатам исследований [3]).

Результаты статистической обработки показателей плотности и сопротивления грунтов сдвигу, полученных по данным полевых опытных работ

Условия проведения опыта	№ ИГЭ	Расчетные значения характеристик		
		$\gamma_r, \text{кН/м}^3$	$\varphi_r, \text{град}$	$c_r, \text{кПа}$
Первоначальный срез при природной влажности (грунт водонасыщенный)	1	20,6	15	51
1-й повторный срез при природной влажности (грунт водонасыщенный)	1		13	24
2-й повторный срез при природной влажности (грунт водонасыщенный)	1		13	21

Конструктивные особенности проектируемых сооружений.

Участок строительства расположен в с. Малореченское в городском округе Алушта (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид участка строительства берегоукрепительных и противооползневых сооружений

На рассматриваемом участке изысканий были выявлены активные процессы: развитие оползневых процессов в насыпных грунтах и в пределах «молодого» оползня, находящегося с восточной стороны храма.

Противооползневые сооружения состоят из четырех сооружений. Противооползневые сооружения ПС-1, ПС-2 и ПС-3 создаются в трех уровнях по склону. Противооползневое сооружение ПС-1 закрепляет береговой откос и примыкает к берегоукрепительному сооружению. Противооползневое сооружение ПС-2 размещено в средней части оползневого склона. Противооползневое сооружение ПС-3 размещается в верхней части оползневого склона и закрепляет насыпной откос от дороги и храма, а также от аварийного подъезда к храму.

Противооползневые сооружения ПС-1 – ПС-3 представляют собой комбинированные свайные ростверки, плитно-анкерные конструкции и подпорные стены с грунтовыми анкерами.

Свайные ростверки состоят из свай диаметром 1000 мм, длиной 8,6-16,8 м, расположенных в один ряд, с шагом 2,0-2,5 м. Сваи объединены железобетонным ростверком сечением 800 × 1200 мм, 1050 × 1200 мм со стеной толщиной 400 мм. В уровне ростверка на определенных участках устроены грунтовые анкера.

Плитно-анкерные конструкции состоят из вертикальных железобетонных плит высотой 2200-2600 мм, толщиной 400-500 мм, закрепленных грунтовыми анкерами. На участках с подрезками грунта более 2 м перед устройством анкерных плит выполняются буроинъекционные сваи диаметром 325 мм и длиной 6 м. На участках без свайной защиты для укрепления плит создаются нагели длиной 2,5 м.

Подпорные стены выполняются высотой 3 м, шириной подошвы 1,8 м, сечением 500 мм. Подпорные стены закрепляются грунтовыми анкерами.

Грунтовые анкера в конструкциях применяются с жесткой арматурой длиной 16-27 м и гибкими канатами длиной 15-27 м.

С западной стороны храмового комплекса устраивается противооползневое сооружение ПС-4, представляющее собой двухрядный свайный ростверк из свай диаметром 325 мм, длиной 8 м, объединенных ростверком высотой 500 мм.

В качестве основания заглубленных конструктивных элементов сооружений служат суглинки твёрдые, дресвяные (ИГЭ 1 (1а)), суглинок (перемятый аргиллит) дресвяный, твёрдый (ИГЭ 2), а также аргиллит твёрдый (ИГЭ 3).

В рамках научно-технического сопровождения была выполнена общая оценка устойчивости склона методом конечных элементов с помощью программы PLAXIS в плоской постановке. В расчете был использован метод, когда прочностные характеристики грунта $\tan \varphi$ и c последовательно уменьшается до тех пор, пока не происходит разрушение конструкции. Моделирование анкеров производилось напрямую (с учетом условности перехода от трехмерной задачи к плоской).

Общая устойчивость склонов определялась для двух случаев: на основное сочетание нагрузок и на особое сочетание. При этом по утвержденным Специальным техническим условиям (СТУ) сейсмическое ускорение принималось равным 0,043g.

Нормативные коэффициенты запаса устойчивости принимались по СП 116.13330.2012 (СНиП 22-02-2003) «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов» и СТУ (табл. 4).

Нормативные коэффициенты запаса устойчивости

Сочетание нагрузок	γ_n	ψ	γ_d	$[k_{st}] = \frac{\gamma_n \times \psi}{\gamma_d}$
Основное	1,15	1,0	1,0	1,15
Особое	1,15	0,95	1,0	1,093

План-схема расчетных сечений приведена на рис. 2

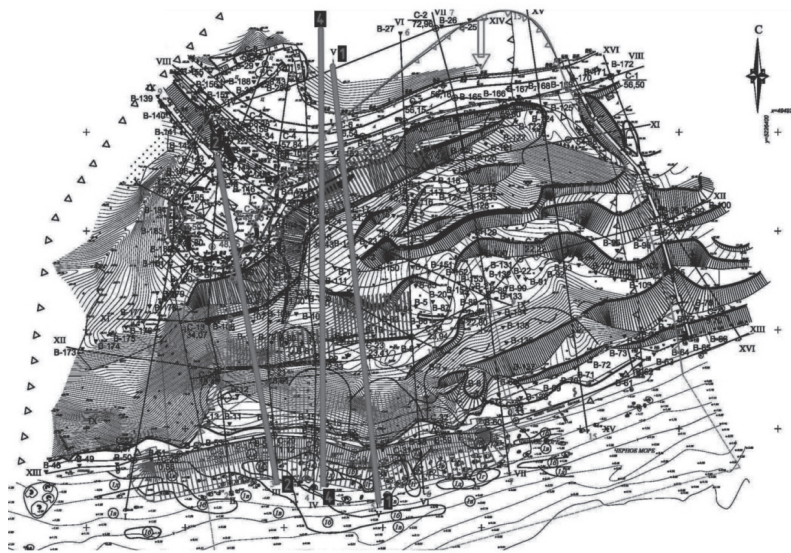


Рис. 2. План-схема расчетных сечений

Характерная расчетная схема с противоположными конструкциями по разрезу 4-4 приведена на рис. 3.

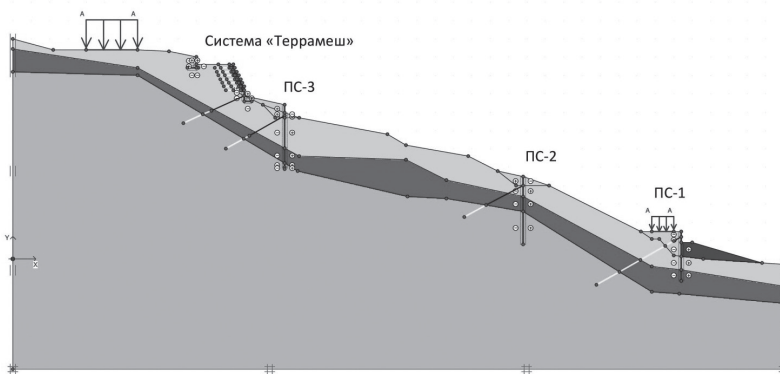


Рис. 3. Расчетная схема разреза 4-4

Результаты расчетов для разреза 4-4 на основное и особое сочетание нагрузок приведены на рис. 4 и 5.

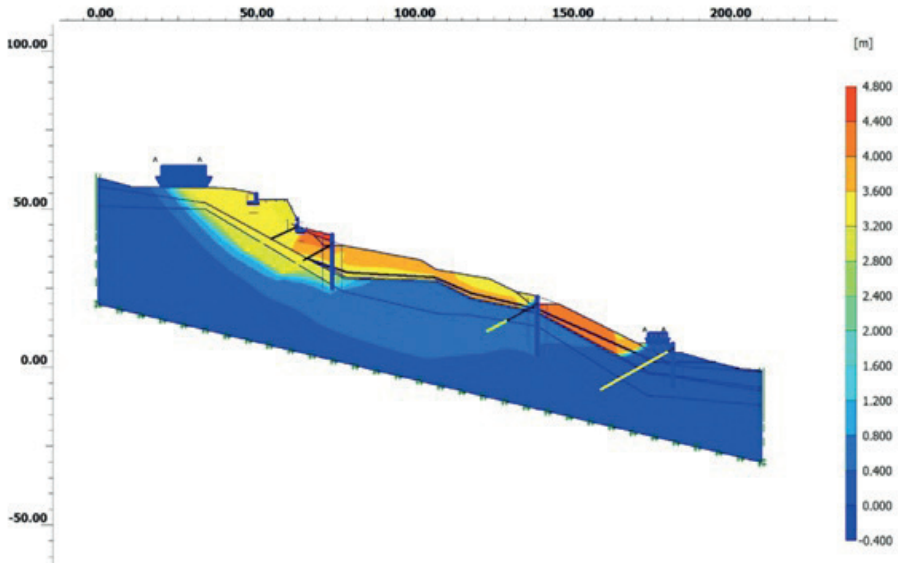


Рис. 4. Результат расчета на основное сочетание нагрузок

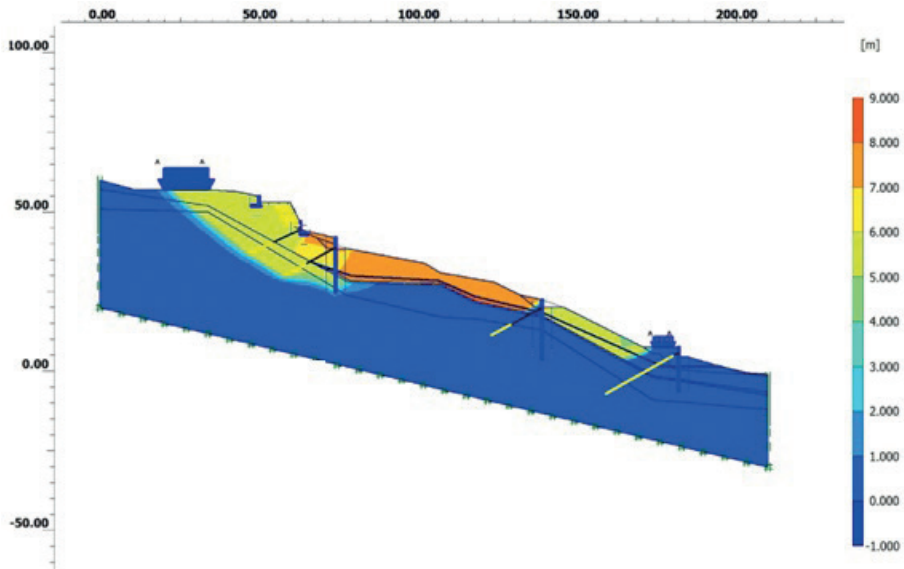


Рис. 5. Результат расчета на особое сочетание нагрузок

Результаты расчетов с физико-механическими свойствами, полученными по лабораторным испытаниям, представлены в табл. 5.

Таблица 5

**Результаты расчетов с физико-механическими свойствами,
полученными по лабораторным испытаниям**

№ п. п.	Расчетное сечение	Коэффициент общей устойчивости склона на сочетание нагрузок	
		основное	особое
1	1-1	0,853	-
2	2-2	1,087	1,020
3	4-4	0,968	-

Результаты расчетов с физико-механическими свойствами, полученными по полевым испытаниям, представлены в табл. 6.

Таблица 6

**Результаты расчетов с физико-механическими свойствами,
полученными по полевым испытаниям**

№ п. п.	Расчетное сечение	Коэффициент общей устойчивости склона на сочетание нагрузок	
		основное	особое
1	1-1	1,411	1,23
2	2-2	1,197	1,100
3	4-4	1,349	1,295

Сравнительный анализ результатов расчетов табл. 5 и 6 показал, что при наличии крупных включений в грунтах необходимо определять их физико-механические характеристики полевыми методами по ГОСТ 20276-2012.

Заключение

Лабораторные испытания крупнообломочных грунтов неприемлемы для получения достоверных физико-механических характеристик грунтов.

При наличии грунтов с крупными включениями в обязательном порядке в объеме изысканий необходимо предусматривать полевые испытания грунтовых целиков по ГОСТ 20276-2012.

Полевые испытания грунтовых целиков инженерно-геологических элементов с крупными включениями позволило получить более достоверные результаты расчетов и обосновать проектные решения противоползневых конструкций.

Необходимость проведения полевых испытаний крупнообломочных грунтов была подтверждена авторами статьи.

Библиографический список

1. Технический отчет по результатам инженерно-геологических работ для подготовки проектной документации. Берегоукрепительные и противооползневые сооружения территории, прилегающей к храму-маяку св. Николая в с. Малореченское, г. Алушта. Стадия «П». Том 2. Книга 1. Шифр: 30/06/2016/ФП/004-ИГИ. ООО «Институт «КрымГИИНТИЗ». Симферополь, 2018 г.
2. ГОСТ 20276-2012. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости.
3. *Эттель Д. И.* Исследование динамики оползневых процессов на примере некоторых характерных участков Южного берега Крыма: дисс. ... канд. геол.-минер. наук: 04.00.07. Л., Ленингр. горн. ин-т им. Г. В. Плеханова, 1980.

Авторы:

Сергей Александрович РЫТОВ, канд. техн. наук, заведующий лабораторией электротехнических технологий НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergey RYTOV, Ph. D. in Engineering, head of the laboratory of electro technical technologies NIIOSP named after N. M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: lab38@mail.ru

тел.: +7 (499) 170-69-12

Илья Михайлович ИОВЛЕВ, старший научный сотрудник лаборатории электротехнических технологий НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

Ilya IOVLEV, senior researcher of the laboratory of electro technical technologies NIIOSP named after N. M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: lab38@mail.ru

тел.: +7 (499) 170-69-12

Александр Сергеевич ШИШАРИН, инженер лаборатории электротехнических технологий НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

Aleksandr SHISHARIN, engineer of the laboratory of electro technical technologies NIIOSP named after N. M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: lab38@mail.ru

тел.: +7 (499) 170-69-12