

**КИЛЬВАНДЕР Э. Я.**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом частного предприятия "Институт КрымГИИНТИЗ", г. Симферополь

**СИЛЬЧЕНКО К. В.**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом частного предприятия "Институт КрымГИИНТИЗ", г. Симферополь

**ШАРИКОВ В.В.**

Ведущий инженер асного предприятия "Институт КрымГИИНТИЗ", г. Симферополь

**КАЛЮХ Ю. И.**

Доктор технических наук, профессор, заведующий лаборатории, государственного предприятия "Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций", г. Киев

**ШОКАРЕВ В. С.**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, директор Запорожского отделения государственного предприятия "Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций"

**КЛИМЕНКОВ О. А.**

Научный сотрудник Института телекоммуникаций и глобального информационного простору Национальной академии наук Украины, г. Киев

**БЕРЧУН В. П.**

Научный сотрудник Института телекоммуникаций и глобального информационного простору Национальной академии наук Украины, г. Киев

УДК 624.131

## **УСТРОЙСТВО ГЛУБОКОГО КОТЛОВАНА 18-ТИ ЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ Г. ЯЛТЫ НА ОПОЛЗНЕВОЙ ТЕРРИТОРИИ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ 8 БАЛЛОВ**

*Ключевые слова: котлован, оползневая территория, буровые и анкерные сваи, мониторинг.*

*В статті розглядаються технічні рішення щодо побудови глибокого котловану в умовах зсувній території на ділянці будівництва 18-ти поверхового будинку в м. Ялта. Складність об'єкта будівництва обумовлена наявністю зсувній небезпеки, водоносного горизонту, сейсмічністю 8 балів, глибоким підрізанням ґрунту під котлован, стисненістю ділянки, примиканням до котловану паркової зони, під'їзних доріг, необхідністю виконання двох рівнів котловану і нерівномірним підрізанням схилу вздовж споруди.*

*В статье рассматриваются технические решения устройства глубокого котлована в условиях оползневой территории на участке строительства 18-ти этажного здания в г. Ялта. Сложность строительства объекта обусловлена наличием оползневой опасности, водоносного горизонта, сейсмичностью 8 баллов, глубокой подрезкой под котлован, стесненностью участка, примыканием к котловану парковой зоны, подъездных дорог, необходимостью выполнения двух уровней котлована и неравномерной подрезкой склона вдоль сооружения.*

*The technical solutions for arrangement of deep pit in landslide territory in site for construction of 18-th storey building in Crimea are considered in paper. The construction complexity is conditioned by presence of landslide danger, water-bearing formation, 8 point seismicity, deep cutting for pit, constraint of construction site, its adjacent to park area and access roads, necessity of two-level pit and uneven cutting of slope along building.*

При посадке современных многоэтажных зданий с многоуровневым подземным паркингом на склоновый рельеф возникает необходимость в устройстве глубоких котлованов, которые для безопасного строительства требуется укрепить защитными сооружениями. Строительство в инженерно-геологических условиях г. Ялты, где оползнями занято около 1700 гектар, сопряжено с необходимостью учитывать оползневую опасность территории. Подрезка склона под котлован создает дополнительное негативное влияние на устойчивость оползневых участков. В этих условиях ограждение котлована должно служить, как на период строительства, так и эксплуатации здания удерживающим противооползневым сооружением (УПС).

На практическом примере строительства объекта на оползневой территории г. Ялты рассмотрим устройство глубокого котлована. Участок проектируемого строительства 18-ти этажного здания находится в юго-западной части г. Ялты, на территории Приморского парка в районе танцевальной площадки «Дружба». С северо-запада, запада, юга и востока он ограничен подъездными асфальтовыми и грунтовыми дорогами. Рассматриваемый участок в рельефе выражен двумя террасами искусственного происхождения: северо-западной, где будет находиться основное здание и расположенной ниже её примерно на 2 метра юго-восточной. Северо-западная терраса представляет собой спланированную площадку с крутизной поверхности до 1° с падением в западном направлении. Ее длина достигает 40 м а ширина – 30 м. Площадка покрыта тротуарной плиткой и огорожена стеной из легких сварных конструкций. В юго-

восточной части площадка закреплена подпорной стеной высотой 1,5м, мористее которой расположена следующая искусственная терраса. Юго-восточная терраса имеет наклон до 3-5° с падением в юго-восточном направлении. Ее длина составляет до 40 м, ширина до 12-15м. Терраса частично заасфальтирована. С юго-восточной стороны она закреплена подпорной стеной высотой 2,0м. В западной части территории примыкает парковая зона с многолетними редкими деревьями, которые не подлежат вырубке или пересадке.

В геоморфологическом отношении участок планируемого строительства приурочен к средней части верхнечетвертично-современного оползневого склона юго-восточной экспозиции, с общим уклоном в сторону моря под углом 10-15° и характерными оползновыми формами рельефа - оползновыми площадками, чередующимися с уступами. В пределах оползневого склона выделен современный оползень № 58 «Чукурларский» (рис. 1).

Размеры оползня следующие: длина по оси движения 500м, ширина по фронту в головной части - 180м, в языковой части - 90м. Мощность современных оползневых отложений в пределах участка достигает 9,5м. Головная часть оползня находится на отметках 100-112м, базисом его разгрузки служит современный уровень Черного моря. Продольный профиль оползня № 58 имеет ступенчатый характер с ярко выраженными тремя оползновыми ступенями.

Катастрофические подвижки оползня происходили в 1906, 1907 гг. и в 1927 г. По данным многолетних наблюдений Ялтинского участка ККГП КП «Южэкогеоцентр», оползень № 58 проявлял активность до 1968 г. Величина ежегодных оползневых смещений составляла 0,05-0,25м, а вертикальная осадка составляла до 0,1м. Стабилизация оползневых процессов произошла после строительства комплекса берегозащитных сооружений в 1965-1967 гг., устранившего главный оползнеобразующий фактор - абразионный размыв языковой части оползня. Затухание оползневой активности происходило от языковой части до головной.

В пределах верхней оползневой ступени от головной части оползня до ул. Коммунаров до настоящего времени фиксируется слабая активизация оползневых процессов, наблюдаемая по освежающимся деформациям на старых зданиях (дом Багратиона, 1906 г.) и на подпорных стенах вдоль правого борта оползня, на территории пансионата «Заря» и на бывших спортивных площадках.

Средняя ступень, где находится участок, относится к более стабильной части оползня. Эта ступень имеет более пологий рельеф и, по сути, является буферной зоной между головной частью оползня (верхняя ступень) и его языковой частью (нижняя ступень).

По данным инженерно-геологических изысканий на исследованную глубину до 25,0м в геологическом строении участка принимают участие: техногенные образования, современные и верхнечетвертично-современные оползневые отложения, подстилаемые породами таврической серии в коренном залегании. Грунты, слагающие участок проектируемого строительства, относятся ко II категории по сейсмическим свойствам, согласно [1].

Подземные воды не имеют выдержанного водоносного горизонта, носят поточно-струйчатый харак-

Смотри рис. 1 на 4 стр. обложки

тер и приурочены, в основном к ослабленным зонам. На момент проведения изысканий, подземные воды в пределах участка, на разведанную глубину до 25,0 м встречены были во всех скважинах на глубине 5,1 м - 9,5 м, что соответствует абсолютным отметкам 30,80 - 25,80 м. Базисом разгрузки является Черное море.

На площадке планируется строительство 18-ти этажного здания полукруглой формы в плане, у которого 4 этажа заглублены. Размеры здания в осях 38,6×46,8м. Условная высота здания составляет около 63м. Конструктивная схема здания - рамно-связевая, высота этажей 3,3м и цокольного этажа 5,1м. Фундамент - монолитная железобетонная плита толщиной 2000мм. За условную отметку ±0.00 принят уровень чистого пола первого этажа, соответствующий абсолютной отметке +33,50м. Абсолютная отметка подошвы фундамента +17,80м. Под зданием предусмотрена дренажная система, представляющая собой кольцевой трубчатый дренаж и тех. камеры для его обслуживания, выступающие за контур стен на 3,0 м. Пазухи котлована засыпаются щебнем с уплотнением.

К основному зданию в южной части примыкает подземная насосная станция с резервуарами запаса воды, фундаменты которых находятся на абсолютной отметке 25,80 м. Котлован проектируемой застройки на этом участке необходимо выполнить в два уровня.

Территория застройки проектируемого строительства благоустраивается (подпорные стены, дорожные покрытия и т.д.).

Котлован под строительство имеет замкнутую, сложную конфигурацию в плане со значительным перепадом высот необходимой подрезки от 15,7 м до 20,1 м. В непосредственной близости от планируемого котлована в районе пересечения осей здания 10 и А находится многолетнее ценное дерево парковой зоны с широкой кроной, которое необходимо сохранить.

Таким образом, сложность строительства объекта обусловлена наличием оползневой опасности, водоносного горизонта, сейсмичностью 8 баллов, глубокой подрезкой под котлован, стесненностью участка, примыканием к котловану парковой зоны, подъездных дорог, необходимостью выполнения двух уровней котлована и неравномерной подрезкой склона вдоль сооружения.

Конструкция условно разделена на противооползневое сооружение, которое служит для защиты проектируемого здания от оползневых нагрузок, а так же подпорное сооружение укрепления вертикальных откосов котлована. На рис. 2 показан ситуационный план места проектируемого строительства и сооружения укрепления котлована.

Расчеты устойчивости склона участка проектируемого строительства проведены по методу Г.М. Шахунянца. Активные давления на подрезках под котлован проектируемого здания определены согласно [2]. В расчетах учитывались этапы возведения сооружения, сейсмичность 8 баллов и дополнительные нагрузки, в зависимости от расположения расчетного сечения, от подвижного транспорта (АК, НК 80), от башенного крана МК 110 и случайной пригрузки интенсивностью 10 кПа. Коэффициент динамической сейсмичности для грунтов II категории составляет 0,042.

Значения нормативных коэффициентов запаса устойчивости для различных сочетаний нагрузок

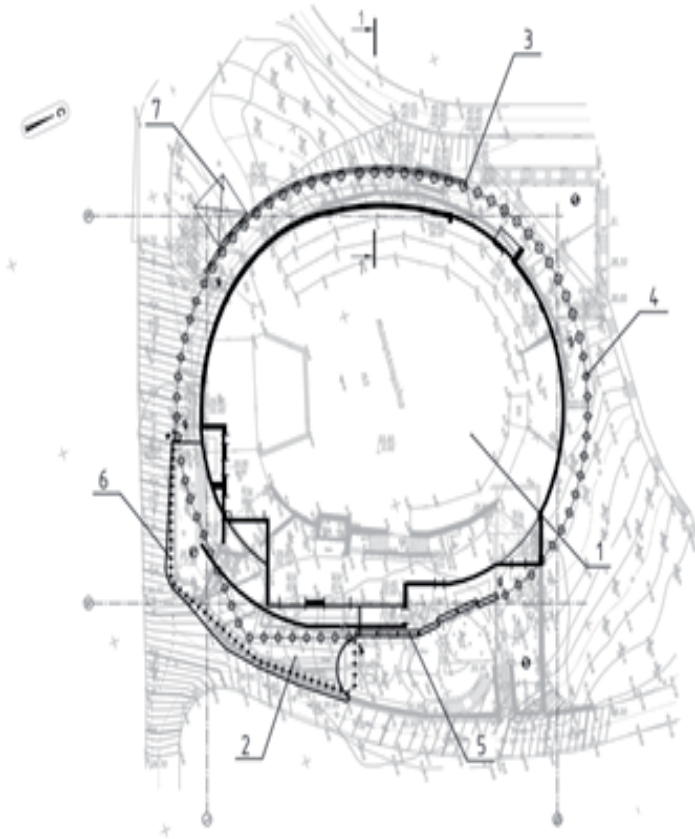


Рис.2. Ситуаційний план.

1 - проєктуємує 18-ти етажне здание; 2 - проєктуємує насосна станція; 3 - проєктуємує противооползневе сооружење; 4 - проєктуємує сооружење № 1 укрєплення котлована 18-ти етажного здания; 5 - участок устроїства анкерних плит; 6 - проєктуємує сооружење № 2 укрєплення котлована насосной станції; 7 - башенный кран МК 110.

приняты в соответствии с [3] для сооружения класса ответственности СС2.

В расчётах устойчивости прочностные характеристики грунтов по плоскости скольжения для оползня получены опытным путем при повторном срезе по подготовленной поверхности при искусственном замачивании  $c = 0,6-12,9$  кПа и  $\varphi = 11^\circ$ .

В расчётах активного давления прочностные характеристики приняты для противооползневого сооружения в замоченном состоянии, а для подпорного сооружения откосов котлована на период строительства для грунтов выше уровня подземных вод прочностные характеристики приняты в естественном состоянии, ниже - в замоченном состоянии.

Наиболее характерный расчетный разрез рассматриваемого склона при наибольшем перепаде высот необходимой подрезки около 20,1 м с размещением проєктуємуєго строительства и противооползневого сооружења представлен на рис. 3.

В результате выполненных расчетов установлено, что при подрезке под котлован проєктуємуєго здания коэффициент устойчивости достигает значения  $K_{st} = 0,979$  - при основном сочетании нагрузок,  $K_{st} = 0,833$  - при аварийном сочетании с учётом сейсмического воздействия. Наибольшее из значений, полученных при определении оползневых давлений достигает значения  $E = 1201$  кН/м. Активное давление, возникающее при максимальном подпоре на подрезке под котлован строящегося здания в период строительства могут достигать значения  $E_{ah} = 1797,3$  кН/м, в период

эксплуатации  $E_{ahs} = 1671,5$  кН/м.

Снижение величины активного давления периода эксплуатации на сооружение связано с уменьшением общего подпора на высоту  $h = 2,5$  м фундаментной плиты здания, которая служит жёсткой распорной конструкцией. Результаты расчетов устойчивости склона свидетельствуют о необходимости защиты проєктуємуєго строительства и устройства сооружений, служащих противооползневої защитой проєктуємуєго здания и территории, а также ограждением котлована на период строительства.

Проєктуємуєе сооружење условно разделено на два участка. Конструктивное решение сооружења № 1 защиты котлована основного здания представляет собой систему из ряда буронабивных свай диаметром 0,82-1,0 м переменной длины, усиленных в нескольких ярусах (от 1 до 3 ярусов) жёсткими грунтовыми анкерами типа TITAN 52/26, 73/45, 73/35 системы ISCHEBECK через горизонтальные железобетонные балки и ростверк. Анкера TITAN постоянные. На участке устройства насосной станции конструктивное решение сооружења № 2 представляет собой ряд буроинъекционных свай диаметром 310 мм, длиной 7,9-10,4 м, с жёстким армированием в виде двутавра, усиленный в 1-2 уровнях заанкеренными металлическими балками. Грунтовыми инъекционными анкерами TITAN временные с рабочей частью длиной 10,7 м.

Для оценки проектного конструктивного решения расчет противооползневого сооружења и ограждения котлована на оползневоє и активное давления грунта выполнен в программном комплексе ЛИРА методом конечных элементов.

Выполнены расчеты объёмной схемы в соответствии с сечениями сооружења котлована. Подбор оптимальных параметров конструкции выполнен на основе анализа расчётной схемы в виде стержневой модели (рис. 4).

В расчетной схеме сваи, ростверки, балки и грунтовоє анкера заданы в виде стержневых конечных элементов. Стена на ростверке принята в виде конечного элемента - пластина. Заделка сваи в устойчивый грунт моделируется одноузловыми конечными элементами параметры которых определены на основе коэффициента постели, линейно возрастающего с глубиной. В расчете учтены нагрузки от собственного веса конструкций, от давления грунта при различных сочетаниях и периодах, от усилия преднатяжения анкеров. В результате расчётов были получены следующие параметры конструкции сооружења:

- для свай длина составила 21,6-22,1 м, шаг в ряду 1,9-2,4 м, достаточная длина заделки в грунт 6,1 м, рабочее армирование гибкой арматурой класса А400С, поперечная арматура А240С с шагом 50-100 мм, бетон тяжёлый класса В25, W6, F50;
- для анкеров общая длина составила 18,5-30 м,

Смотри рис. 3 на 4 стр. обложки



Таблиця 1. Смещения элементов сооружения.

Этапы возведения	Глубина экскавации (отметка)	Максимальные смещения		
		Расчётные		По результатам наблюдений
		Свая (ростверк) по X	Анкер по X	Сооружения по X
		м	мм	мм
I	4,6 (32,40)	65,6	-	30,1
II	11,05 (25,95)	19,45	4,94	4,0
III	14,7 (22,30)	18,38	-3,4	0,0
IV	20,1 (16,9)	19,40	-6,8	-

корневая часть длиной ~8,0-10,0 м, наклон к горизонту 20-30°, шаг 2,0-3,0 м, блокировочная нагрузка - 410-860 кН.

Горизонтальные балки так же проверялись отдельно от общей расчётной схемы в связи с необходимостью учёта испытательной нагрузки, которая составляет 1,2-1,5 N рабочего усилия. Так же были проведены расчётные проверки расстояния между сваями из условия не продавливания грунта, несущей способности сечения свай с жёстким армированием и анкеров ТИТАН с учётом срока службы.

В результате расчета получены численные значения смещения элементов сооружения на различных этапах возведения глубокого котлована. В процессе возведения ведется мониторинг за состоянием сооружения, определяются смещения конструкции. Эти значения по сечению 1-1 с максимальной подрезкой склона сведены в таблицу 1.

Геотехнический анализ напряжённо-деформированного состояния системы в программном комплексе ЛИРА показал, что прочность и жесткость сооружения достаточна для восприятия давления грунта при разработке котлована на различных этапах, а максимальные горизонтальные деформации конструкций сопоставимы со значениями, полученными в ходе наблюдений.

В результате анализа данных двух этапов расчетов проектируемого сооружения получены следующие максимальные значения параметров:

1. Изгибающий момент в сваях не превышает 1524 кН м.
2. Перемещение сооружения не превышает 19,45 мм.
3. Усилие в анкере не превышает 1011 кН.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Будівництво у сейсмічних районах України : ДБН В.1.1-12:2006. – [Чинний від 2007-01-02]. – Вид. офіц. – К. : Укрбудинформ, 2006. – 83 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Проектирование подпорных стен и стен подвалов / ЦНИИпромзданий. – М. : Стройиздат, 1990. – 104 с. – (Справ. Пособие к СНиП)
3. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування : ДБН В.1.1-24:2009. – Вид. офіц. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 69 с. – (Державні будівельні норми України).

Смотри рис. 5 на 4 стр. обложки

На локальном участке сооружения устройство свайного ряда заменено на пять ярусов анкерных вертикальных плит высотой 2,8-3,3м, шириной 2,4-2,75м, сечением 400-500 мм, закрепленные от горизонтального смещения грунтовыми инъекционными анкерами 13,5-19,5 м под углом 20° к горизонту из расчета 1 анкер на 1 плиту.

Это замена выполнена из-за возможности повреждения кроны ценных двух деревьев парковой зоны направляющей бурового станка при вертикальном бурении. Бетонирование анкерных плит выполняется в распор к грунту по задней грани.

В настоящее время 2014 г. выполняется третий ярус анкеров сооружения. Ценные деревья парковой зоны сохранены. На рис. 5 показаны основные этапы строительства объекта.

В результате анализа проектного решения сооружения укрепления глубокого котлована рассматриваемого строительства и выполненных расчетов можно сделать следующие

**ВЫВОДЫ:**

1. Конструкция в виде буронабивных свай Ø 0,82-1,0 м, усиленных в нескольких ярусах жёсткими грунтовыми анкерами типа ТИТАН, через горизонтальные железобетонные балки, является наиболее приемлемой для защитного сооружения глубокого котлована (около 15-20 м) на оползневом склоне.
2. При устройстве глубоких котлованов расчётная схема и конструктивные решения защитного сооружения назначаются на основе наиболее полного учёта усложняющих факторов строительства на данной площадке.
3. В процессе мониторинга за строительством при поэтапном выполнении глубокого котлована на оползневой территории не было зафиксировано деформаций защитного сооружения превышающих расчётные показатели.

РИСУНКИ К СТАТЬЕ Э.Кильвандер, К. Сильченко, В.Шариков, Ю.Калюх, В.Шокарев, О.Клименков, В.Берчун  
 «УСТРОЙСТВО ГЛУБОКОГО КОТЛОВАНА 18-ТИ ЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ г.  
 ЯЛТЫ НА ОПОЛЗНЕВОЙ ТЕРРИТОРИИ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ 8 БАЛЛОВ»



Рис. 1. Обзорная схема.

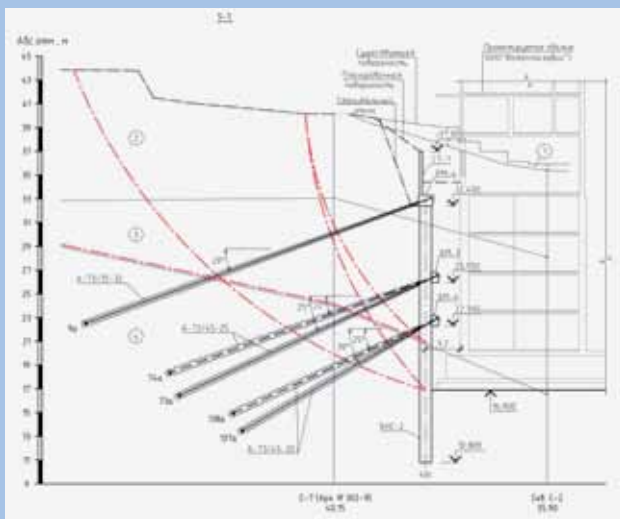


Рис. 3. Расчетный разрез 1-1.

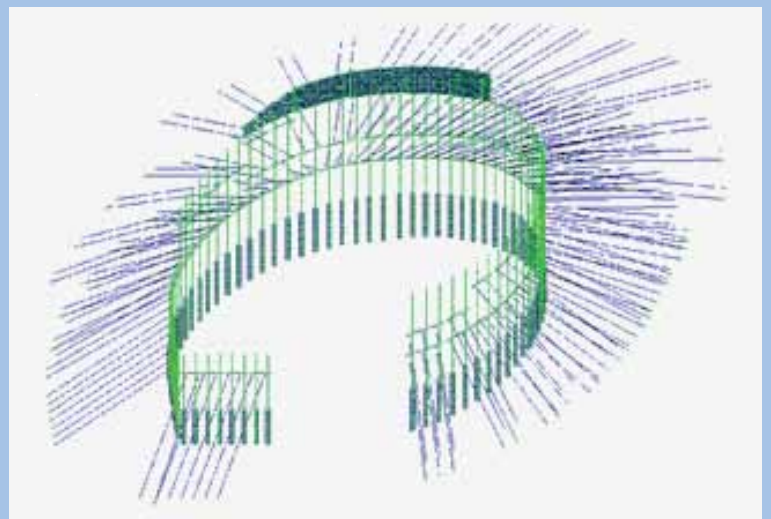


Рис. 4. Расчетная схема сооружения № 1 защиты котлована.



а)



б)

Рис. 5. Этапы строительства объекта: а - котлован при устройстве 2 яруса балок анкерного закрепления; б - участок сооружения с анкерными плитами с сохраняемыми деревьями парковой зоны.