

УДК 69.05:658.562:728.1

В.А. Гришин, А.В. Гришин, А.А. Сипливец

КРЕПЛЕНИЕ ОТКОСОВ КОТЛОВАНОВ

Приведены некоторые современные сведения о назначении, расчете и возведении котлованов рядом с существующими сооружениями.

Ключевые слова: котлованы, вертикальные и наклонные откосы, укрепление откосов, расчеты.

Приведено деякі сучасні відомості про призначення, розрахунок і зведення котлованів поруч з існуючими спорудженнями.

Ключові слова: котловани, вертикальні та похилі укоси, укріплення укосів, розрахунки.

Some modern data on appointment, calculation and erection of foundation ditches near to existing constructions are resulted.

Keywords: foundation ditches, vertical and slope dip-slopes, strengthening of dip-slopes, calculations.

Из ошибок, происходящих на постройке, наиболее пагубны те, которые касаются фундамента, так как они влекут за собой гибель всего здания и исправляются с величайшим трудом.

Палладио, архитектор и строитель, 1570 г.

В настоящее время в городах часто ведется новое строительство за счет уплотнения старой застройки. Рядом с существующими сооружениями, снос которых нежелателен, строятся новые здания повышенной этажности или возводятся сложные подземные комплексы различного назначения, как например, показанный на рисунке 1. Это наблюдается и в Одессе. На рисунке 2 изображено строительство подземного паркинга на Греческой площади. Такие сооружения часто возводятся в открытых котлованах значительной глубины с наклонными (рис. 3) и вертикальными (рис. 4) откосами. Устройство котлована первого типа является наиболее простым и экономичным решением, однако применение этого способа встречает ряд ограничений. Так при увеличении глубины заложения сооружений существенно возрастает занимаемая площадь и объемы вынутого из котлована грунта. Чтобы избежать обрушения откосов,

© Гришин В.А., Гришин А.В., Сипливец А.А., 2014

и, следовательно, разрушения рядом стоящих зданий, их приходится укреплять, что является довольно сложной задачей. Причина состоит в том, что конструкции существующих зданий со временем становятся очень чувствительными к неравномерным осадкам, которые зависят от конструктивных схем, возраста и физического износа материала сооружений, т. е. от их технического состояния. На способы крепления откосов котлованов также влияют геологические, гидрологические, климатические и сейсмические свойства окружающих грунтов. Так как грунты являются существенно нелинейной средой, то их напряженно-деформированное состояние очень сильно зависит от пути и времени нагружения и технологии выполнения строительных работ.



Рис. 1. Подземное строительство в городе Москве



Рис. 2. Стrojительство подземного паркинга в городе Одессе



Рис. 3. Сооружение котлована под Дворец Советов в Москве, 1938 г.



Рис. 4. Котлован с вертикальными укрепленными откосами

Многочисленные наблюдения показывают, что сооружение котлованов вблизи существующих зданий без принятия необходимых эффективных мер по недопустимости деформаций их откосов может привести к различным аварийным ситуациям вплоть до разрушения, как самих котлованов, так и расположенных рядом с ними зданий. На рисунках 5 и 6 приведены примеры разрушений котлованов. Много различных случаев аварий с их анализом приведены, например, в следующих работах [1, 2, 3].



Рис. 5. Обрушение стенок котлована на Греческой площади в Одессе



Рис. 6. Обрушение котлована в Загребе в 2007 г.

В данной статье будут рассмотрены котлованы только с вертикальными откосами, которые укреплены от разрушения. В настоящее время для крепления стен котлованов в основном принимаются следующие конструкции [4, 5]: <стена в грунте>, шпунтовые ограждения и стенки из сплошного или разреженного с забиркой ряда свай. В зависимости от глубины котлованов такие стенки могут работать по консольной или балочной расчетной схеме. В качестве опор во втором случае могут использоваться анкерные устройства или другие удерживающие конструкции. Как показал анализ возведенных к настоящему времени котлованов [6], 18 % из них имеют глубину менее 5 м, 52 % – 5-10 м, 23 % – 10-15 м и глубина остальных более 15 м. Использовались ограждения: <стена в грунте> 37 %, ограждение из труб 47 %, буронабивные сваи 10 % и остальные 6 %. Применялись крепления: распорки 38 %, подкосы 28 %, грунтовые анкера 16 % и другие 18 %. Невозможно в одной статье рассмотреть расчеты всех применяемых стенок и креплений котлованов, поэтому здесь будут рассмотрены только железобетонные стенки типа <стена в грунте> с грунтовыми анкерами, расположенными в один или несколько ярусов. Современное оборудование позволяет создавать стенки этого типа глубиной до 70 м и шириной от 0,4 м до 1,2 м.

Отметим преимущества и недостатки таких креплений. Наблюдения показывают, что откосы котлованов обычно деформируются, и поэтому вокруг них происходит разуплотнение грунтов. Оно и вызывает осадки сооружений, находящихся вблизи котлованов. Применение предварительно-напрягаемых анкеров позволяет прижать стенку к грунту до того, как он разуплотнится и этим предупредить осадки сооружений построенных рядом с котлованом. Следовательно, анкерные крепления не должны разрушать расположенные рядом с котлованом ранее построенные здания и инженерные коммуникации, а также не препятствовать возможному строительству новых сооружений. Анкера могут располагаться за пределами участка застройки, поэтому должны быть получены юридические согласования с хозяевами этих земель или расположенных на них сооружений.

Установлено, что возникающие деформации ползучести в анкерах являются незначительными и регламентируются нормами проектирования. Крепления в виде рассматриваемых стенок широко используются при слабых водонасыщенных грунтах и при высоких отметках уровня подземных вод. Они способны воспринимать не только давление грунта, но и гидростатическое давление грунтовой воды, являясь одновременно противофильтрационной завесой. Обычно анкерные крепления наиболее эффективны для больших котлованов и при их глубине более 6 м. Устройства анкеры подразделяются на буровые, завинчиваемые, задавливаемые, забивные и комбинированные. Они устанавливаются по периметру котлована с шагом по горизонтали, обычно, 0,8-2,5 м под углом наклона к горизонту до 30-40 °. Корни анкеров должны располагаться вне призмы активного давления грунта на стенку. При расположении оголовков анкеров ниже уровня подземных вод необходимо обеспечить их гидроизоляцию. Для более равномерной передачи усилий от анкеров на ограждающую стенку устраивают распределительные пояса. Анкера могут удаляться после возведения в котловане планируемого сооружения, способного воспринимать давление грунтовой среды, или они остаются не извлекаемыми.

При расчете котлованов с креплениями считаем, что грунтовая среда и материал конструкций крепления могут находиться в упругопластическом состоянии. Это отвечает их реальной работе во время строительства и эксплуатации. Используется теория пластического течения с упрочнением, по которой напряжено-деформированное состояние (НДС) системы, состоящей из грунтового массива, ранее построенных около котлована сооружений, ограждающих котлован конструкций и подземное сооружение, можно определять в зависимости от пути ее нагружения [7, 8]. При этом, этапы расчета могут соответствовать последовательности технологии выполнения строительных работ. Для решения таких задач может применяться программный комплекс Plaxis, работа с которым подробно описана в книге [9].

Порядок расчета котлована с креплениями откосов покажем на примере, расчетная схема которого приведена на рисунке 7. Котлован глубиной 10 м и шириной 24 м укреплен монолитной железобетонной стенкой высотой 16 м и толщиной 0,5 м с двумя ярусами анкеров. Слева от котлована расположено пятиэтажное каркасное здание, а справа сооружена железобетонная плита, на которую приложена распределенная нагрузка интенсивностью 50 кН/м^2 . Фундамент здания выполнен в виде плиты. На нижнем этаже трехэтажного подземного гаража действует нагрузка интенсивностью 100 кН/м^2 .

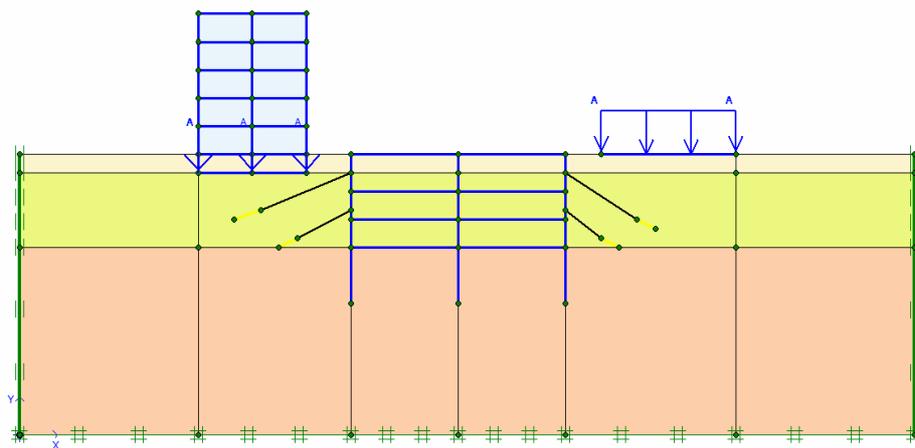


Рис. 7. Расчетная схема

Грунтовый массив состоит из трех слоев: песок, суглинки и глина. Приняты следующие этапы последовательности выполнения расчета котлована с креплением его откосов и трехэтажного подземного гаража по определению их НДС: 1, только от действия собственного веса грунтового массива, т. е. будет учтено природное давление в грунте; 2, дополнительно от действия построенного здания и от приложенной на плиту нагрузки до возведения котлована; 3, дополнительно от сооружения стенок, ограждающих котлован, и выемки в нем грунта до отметки первого яруса анкеров; 4, дополнительно от установки анкеров первого яруса и от выемки грунта до отметки второго яруса анкеров; 5, дополнительно от установки анкеров второго яруса и от выемки грунта до отметки дна котлована; 6, дополнительно от временной нагрузки, действующей только на нижнем этаже подземного гаража. При этом, перемещения, полученные на первом этапе расчета обнуляются, а напряженное состояние сохраняется и учитывается на последующих этапах расчета. Следовательно, строительство котлована и подземного гаража начинается только на третьем этапе.

На рисунке 8 приведена в увеличенном масштабе деформация системы после второго этапа расчета, т. е. ее состояние к началу строительства котлована и подземного гаража. Наибольшая осадка системы находится под зданием, расположенным левее будущего котлована, и равна 3,04 см. На этом же рисунке показаны деформируемые конечные элементы, на которые разбивается система.

На рисунке 9 приведена в увеличенном масштабе деформация системы после шестого этапа расчета, т. е. ее состояние после завершения строительства котлована, подземного гаража и действия временной нагрузки.

На рисунках 10, 11 и 12 показаны соответственно эпюры перемещений, полных и касательных напряжений системы после шестого этапа расчета. Справа от эпюр приведены масштабные линейки, используя которые можно определить напряженно-деформируемое состояние в любой точке системы.

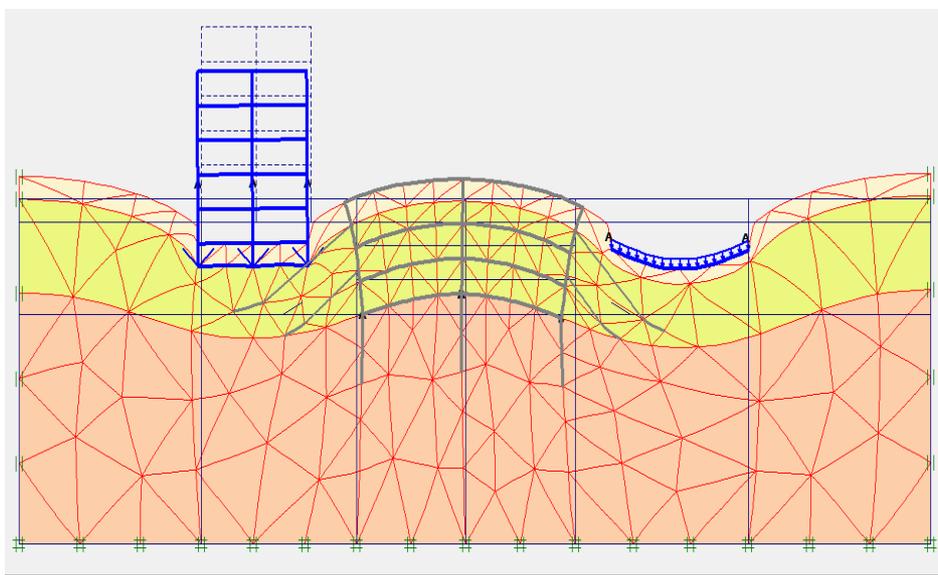


Рис. 8. Деформация системы в увеличенном масштабе после второго этапа расчета

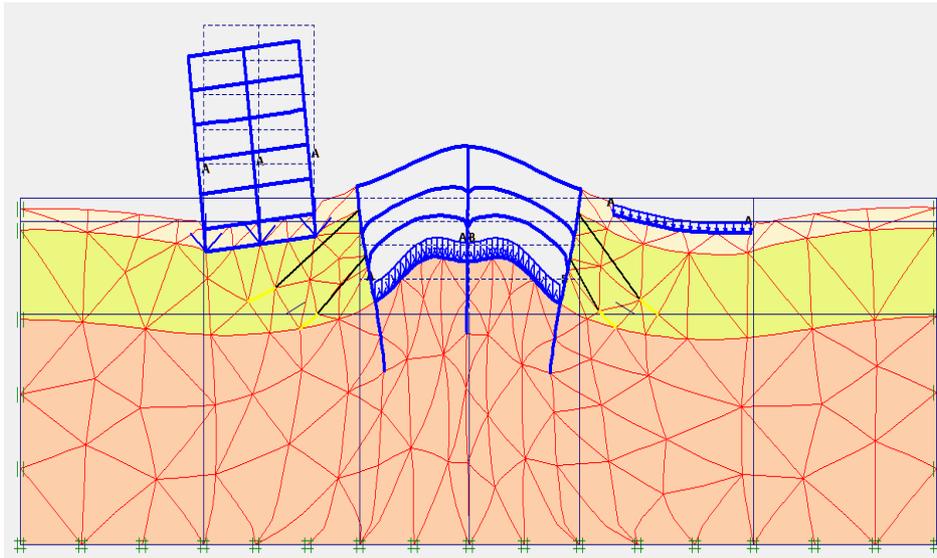


Рис. 9. Деформация системы в увеличенном масштабе после шестого этапа расчета

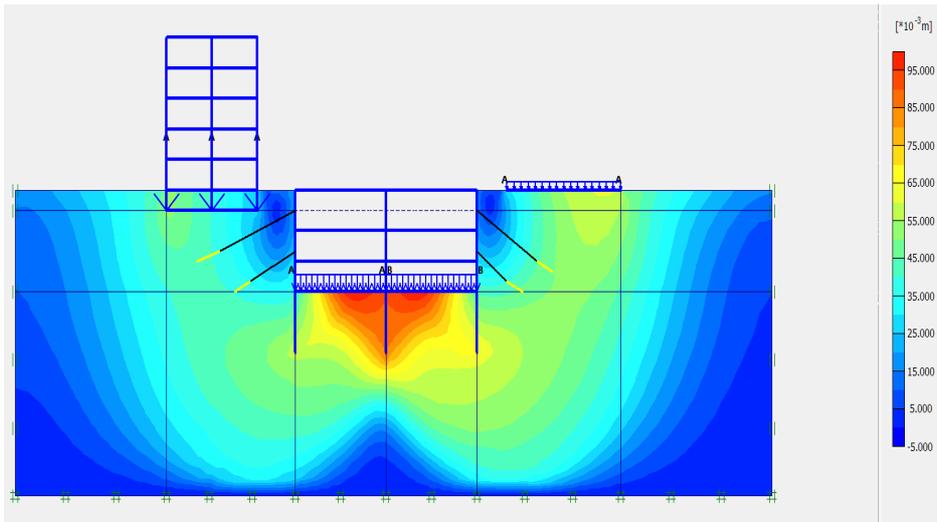


Рис. 10. Эпюра перемещений системы после шестого этапа расчета

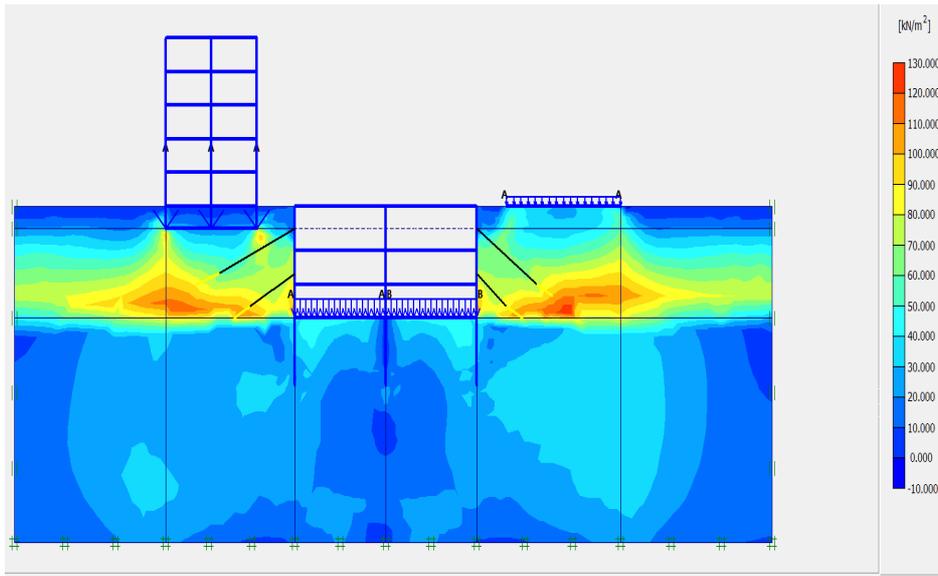


Рис. 11. Эюра полных напряжений в системе после шестого этапа расчета

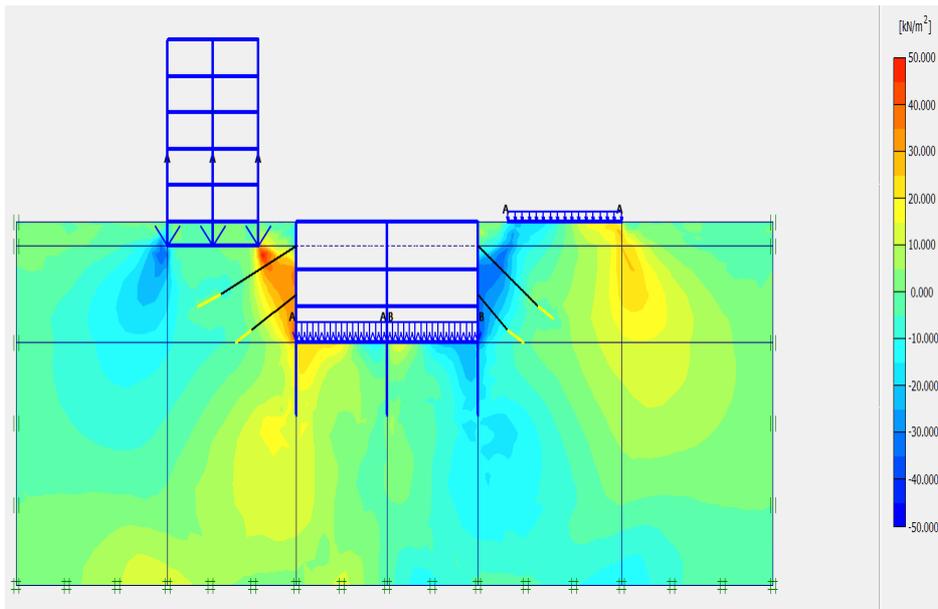


Рис. 12. Эюра касательных напряжений в системе после шестого этапа расчета

Анализируя приведенные выше рисунки, можно отметить следующее. От действия ранее построенных сооружений и собственного веса грунта происходит его поднятие внутри котлована и уменьшение с глубиной его ширины. Левая крайняя точка фундаментной плиты ранее построенного слева от котлована здания опустилась после окончания строительства дополнительно на 4 см, а правая только на 1 см, поэтому здание совместно с его фундаментной плитой наклоняется влево. Во втором слое грунта вблизи боковых стенок крепления котлована возникают пластические деформации.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Еремин В.Я. Крепление бортов глубоких котлованов // E-mail: *ke@rita.com.ru*
2. Сотников С.Н. Проектирование и возведение фундаментов вблизи существующих сооружений. – М.: Стройиздат, 1986. – 96 с.
3. Колыбин И.В. Уроки аварийных ситуаций при строительстве котлованов в городских условиях. – М.: НИИОСП, 2012. – 72 с.
4. Современные методы устройства котлованов // Стройматериал, № 2(21). – 4 с.
5. Петрухин В.П., Колыбин И.В., Разводовский Д.Е. Ограждающие конструкции котлованов, методы строительства подземных и заглубленных сооружений. – М.: НИИОСП, 2012. – 17 с.
6. Знаменский В.В., Чунюк Д.Ю., Морозов Е.Б. Опыт применения распорных и подкосных креплений ограждающих конструкций котлованов // Геотехника. – № 3. – 2010. – С. 6-11.
7. Гришин В.А., Дорофеев В.С. Нелинейные модели конструкций, взаимодействующих с грунтовой средой. – Одесса: Зовнішнєрекламсервіс, 2006. – 242 с.
8. Гришин В.А., Дорофеев В.С. Некоторые нелинейные модели грунтовой среды. – Одесса: Внешнєрекламсервіс, 2007. – 309 с.
9. Гришин В.А. и др. Определение напряженно-деформированного состояния склонов и откосов в системе Plaxis. – К.: МП Леся, 2012. – 218 с.

Стаття надійшла до редакції 17.02.2014

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор, генеральний директор
Морського інженерного бюро **Г.В. Єгоров**

доктор технічних наук, професор, науковий консультант
Морського інженерного бюро **В.В. Козляков**