

УДК 624.159.2

О ПРИЧИНАХ АВАРИЙ В ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНАХ

СЕДИН В. Л.^{1*}, *д.т.н., проф.*,
ГРАБОВЕЦ О. Н.², *к.т.н., доц.*,
ТРЯЩЕНКО А. Ю.³, *магистр.*

^{1*} Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562) 46-93-43, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

² Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», e-mail: ksushagrabovets@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8890-9811

³ Кафедра оснований и фундаментов, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», e-mail: any-tryashhenko@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8649-618X

Аннотация. *Цель.* Исследование причин многочисленных аварий при расчете и возведении глубоких котлованов в условиях плотной городской застройки. *Методика.* В качестве материала для анализа были выбраны аварии котлованов глубиной свыше 15 метров. *Результаты.* Проведенный анализ различных ошибок, приводящих к авариям, показал основные причины и последствия этих аварий. Были классифицированы три основные группы причин аварий: ошибки при выполнении изысканий, ошибки при проектировании и расчетах, а также нарушения выполнения работ на строительной площадке и в период эксплуатации. Также были выявлены подгруппы ошибок с примерами случившихся аварий во всем мире. *Научная новизна.* В статье изложены результаты комплексного анализа аварий глубоких котлованов и их последствия. Были классифицированы основные причины разрушений котлованов, что позволяет повысить уровень понимания в вопросе об авариях глубоких котлованов и избежать подобных ошибок в дальнейшем.

Ключевые слова: аварийные ситуации; глубокие котлованы; геотехнический мониторинг.

О ПРИЧИНАХ АВАРИЙ У ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНАХ

СЕДИН В. Л.^{1*}, *д.т.н., проф.*,
ГРАБОВЕЦ О. М.², *к.т.н., доц.*,
ТРЯЩЕНКО А. Ю.³, *магистр.*

^{1*} Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва і архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(0562) 46-93-43, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243

² Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва і архітектури», e-mail: ksushagrabovets@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8890-9811

³ Кафедра основ і фундаментів, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва і архітектури», e-mail: any-tryashhenko@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8649-618X

Анотація. *Мета.* Дослідження причин численних аварій при розрахунку та зведенні глибоких котлованів в умовах щільної міської забудови. *Методика.* У якості матеріалу для аналізу були обрані аварії глибиною більше 15 метрів. *Результати.* Проведений аналіз різноманітних помилок, які призвели до аварій, показав основні причини та наслідки цих аварій. Були класифіковані три основні групи причин аварій: помилки при виконанні досліджень, помилки при проектуванні і розрахунках, а також порушення виконання робіт на будівельному майданчику та у період експлуатації. Також були виявлені підгрупи помилок з прикладами аварій, що сталися у всьому світі. *Наукова новизна.* У статті викладені результати комплексного аналізу аварій глибоких котлованів і їх наслідки. Були класифіковані основні причини руйнувань котлованів, що дозволяє підвищити рівень розуміння в питанні про аварії глибоких котлованів і уникнути подібних помилок надалі.

Ключові слова: аварійні ситуації, глибокі котловани, геотехнічний моніторинг.

ABOUT THE CAUSES OF THE ACCIDENTS IN DEEP FOUNDATION PITS

SEDIN V. L.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*
GRABOVETS O. M.², *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. prof.*,
TRIASHCHENKO A. Y.³, *Master Stud.*

^{1*} Foundation Engineering Department, Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture (PSACEA), 24-a, Chernyshevs'koho str., Dnipropetrovsk, 49600, Ukraine, ph. +38(0562) 46-93-43, e-mail: geotecprof@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2293-7243;

² Foundation Engineering Department, Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture (PSACEA), e-mail: ksushagrabovec@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8890-9811

³ Foundation Engineering Department, Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture (PSACEA), e-mail: any-tryashhenko@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0001-8649-618X

Annotation. Purpose. Scientific research of the causes of the numerous accidents in the calculation and construction of the deep foundation pits in the conditions of the compact urban development. **Methodology.** The accidents in the foundation pits more than 15 meters depth were selected as a material for the analysis. **Findings.** After carrying out the analysis of the various errors that leads to the accidents, the main causes and consequences of these accidents have been investigated. Three main groups of causes of accidents were classified as: errors in carrying out of the geological, errors in the calculation and designing, and errors in the construction and the irregular running. Also the subgroups of errors have been identified with the examples of the accidents have happened in the world. **Practical value.** The article presents the results of the complex analysis of the accidents in deep foundation pits and their consequences. The main causes of the destruction of foundation pits were classified, which allows increasing the level of the understanding on the issue of the accidents in deep foundation pits and avoiding making similar mistakes in the future.

Keywords: accidents, deep foundation pits, geotechnical monitoring.

Введение. Еще несколько лет назад глубокие котлованы в городском строительстве Украины не превышали глубины 3-4 метра. Отдельные случаи устройства глубоких котлованов для строительства уникальных объектов (электростанций, станций метро, защитных сооружений) оставались практически неизвестными для большинства проектировщиков. В настоящее время устройство котлованов глубиной более 15 метров стало рядовым в мировой практике. К сожалению, небольшой опыт проектирования и устройства глубоких котлованов приводит к частым авариям. Их анализ и выявление основных ошибок является необходимым для предотвращения аварий в будущем.

Обеспечение устойчивости ограждений котлованов и ограничение их влияния на окружающую среду (по ДБН В.2.1-10-2009) является, как правило, самой важной целью при проектировании и возведении подземных частей зданий [5].

Подземное строительство относится к повышенному уровню геотехнической сложности и ответственности. В то же время количество аварий, произошедших при устройстве глубоких котлованов, значительно возросло. Изучение причин случившихся аварий и анализ возможностей их предупреждения являются чрезвычайно важными для избегания повторения ошибок на новых объектах [6].

Под аварийной ситуацией понимаются создавшиеся в процессе строительства отклонения от проекта или результатов прогноза, которые требуют вмешательства в производство работ и в противном случае могут привести к аварии. Далее приведена геотехническая классификация аварийных ситуаций при устройстве котлованов, предложенная Колыбиным И. В. [4, табл. 1].

Цель. Исследование причин аварий при расчете и возведении глубоких котлованов и анализ возможностей их предупреждения.

Методика и результаты. Причины, вызывающие аварии в глубоких котлованах, могут возникать на любом из этапов, начиная с инженерно-геологических изысканий и заканчивая процессом эксплуатации. Анализ комплекса причин, наиболее часто приводящих к авариям, позволяет выделить из них следующие группы:

- 1) ошибки и просчеты при выполнении инженерно-геологических и других видов изысканий;
- 2) ошибки при проектировании, которые могут допускать как геотехники, анализирующие взаимодействие конструкций с грунтовым массивом, так и конструкторы, определяющие параметры конструктивных элементов;
- 3) ошибки при выполнении работ, отсутствие надлежащего контроля качества, неправильная эксплуатация.

1. Изыскания на строительной площадке

На первом этапе наиболее важным является исследование инженерно-геологического строения и гидрогеологических условий территории. По результатам геотехнических изысканий составляют модель грунтов основания. В модели должны проясниться характер и мощность слоев, их характерные параметры и классы. Качественная оценка геотехнической ситуации обязательно учитывает возможные риски, которые могут повлиять на котлован или последующие строительные работы.

Таблица 1

Классификация аварийных ситуаций при устройстве котлованов / Classification of the accidents during the arrangement of the foundation pits

Категории аварий	Объект воздействия			
	Строящееся сооружение	Окружающая застройка	Инженерные коммуникации	Грунтовый массив
	А	В	С	Д
I катастрофические	Полное разрушение ограждения котлована и конструкций в котловане	Полное разрушение всех объектов вблизи котлована, повреждение объектов на значительном расстоянии от котлована		Смещение значительных по объему грунтовых масс, связанное с активизацией опасных инженерно-геологических процессов
II тяжелые	Разрушение ограждения котлована и конструкций в котловане с аварийной стороны	Разрушение и повреждение зданий и сооружений вблизи котлована с аварийной стороны	Разрушение и повреждение коммуникаций, в том числе водонесущих, усугубляющие последствия аварии	Смещение в котлован грунтовых масс, связанное с обрушением его ограждающей конструкции или водонасыщением массива, образование значительных провалов
III средней тяжести	Частичное разрушение ограждения котлована или его конструктивных элементов	Разрушение и повреждение несущих конструктивных элементов примыкающих зданий и сооружений	Локальные конструктивные повреждения коммуникаций, не усугубляющие последствия аварии	Локальное смещение грунта в котлован, сопровождающееся образованием провалов на дневной поверхности
IV легкие	Чрезмерные деформации ограждения котлована или его конструктивных элементов	Сверхнормативные деформации зданий и сооружений, сопровождающиеся повреждением их элементов	Значительные деформации инженерных коммуникаций, грозящие потерей их эксплуатационной пригодности	Значительные деформации земной поверхности вблизи котлована, образование трещин и заколов на поверхности

Наиболее частые *ошибки при проведении инженерных изысканий*:

- часто невозможность учета жестких техногенных включений, незаполненных полостей (Москва, 2008, стена в грунте, на глубине 12 метров – пропущенные изысканиями остатки фундаментов существовавшего на этом месте завода, остатки металлического проката [4. С.4]);
- неполное освещение грунтовой обстановки (Берлин, 2007, при устройстве котлована обнаружены валуны [3. С.5]);
- неучет особенностей образования конкретных территорий (Лиссабон, 2009, котлован насосной станции – интервал разведывательных скважин 1,5 м, между ними значительное падение кровли твердых глин, что не было учтено при изысканиях [13. С.6]);
- потери отдельных слоев (Сантос, Бразилия, 1968 – пропустили пласт глины на глубине 30 метров, в итоге крен зданий составил до 4,5м [11]);
- ошибки в классификации;

- слабый прогноз поведения в период строительства и эксплуатации (Лиссабон, 2007 - активизация оползня вынудила применить противоаварийные мероприятия во время строительства [4. С.6];
- Варшава, 2003 – неучёт повышения давления грунтовых вод привело к разрыву «стены в грунте» на глубине 6 метров [9]);
- слабые знания региональных условий.

Строительство глубоких котлованов ввиду повышенных строительных рисков предъявляет дополнительные требования и к другим видам инженерных изысканий. До начала рабочего проектирования должны быть выполнены обследования близлежащих зданий, сооружений, крупных коммуникаций.

2. Проектирование и расчет глубоких котлованов
Первое представление относительно методов устройства и проектирования котлована должно основываться на надежных исследованиях инженерно-геологических условий площадки.

Общие требования, которые необходимо соблюдать при устройстве котлованов: деформации должны быть ограничены до таких величин, чтобы можно было контролировать устойчивость котлована по ширине и глубине и удерживать воздействие нагрузок в допустимых пределах, если требуется – водопонижение или устройство гидроизоляционных мер [4].

Ошибки при проектировании:

- большинство проектов выполняется подрядчиками, не имеющими достаточного опыта и квалификации, что приводит к неизбежным ошибкам (Москва, 2010, котлован многоэтажного паркинга - ошибочное решение об увеличении глубины котлована около подпорной стены снизило ее устойчивость и отсутствие монолитного железобетонного обвязочного пояса поверху секций котлована [6]);
- отсутствие необходимых расчетных программ и малый практический опыт проектировщиков (Москва, 2006, котлован подземной части здания в ЮЗАО – ошибка при определении усилий в анкерах, что привело к обрушению большей части стены в грунте [12]);
- отсутствие стандартов и норм по проектированию ограждений глубоких котлованов и системы крепления как основы для проектирования (Минск, 2012, насосная станция ТЭЦ-5 – обрушение 5 секций из-за мощного напора воды, так как расчет воздействия фильтрационных сил на сооружение не учитывается в нормативной документации) [7. С.30];
- проектировщики не учитывают критические ситуации, связанные с гидрогеологическими условиями площадки, климатической особенностью и наличием плотной застройки (Минск, 2013, котлован метро - недостаточная глубина заземления стен ниже дна котлована и близкое расположение водоупора) [7. С.29];
- отсутствие специального оборудования для возведения глубоких котлованов.

3. Выполнение работ и эксплуатация

Множество крупных аварий происходят вследствие нарушения технологии работ, изменением проекта в процессе строительства, неудовлетворительным контролем качества и организации строительных работ.

Ошибки при строительстве:

- невыполнение работ в соответствии с проектом (Сингапур, 2005, сервисный центр - обрушение из-за увеличения пригрузки бровки котлована в 6 раз выше проектной и уменьшение толщины плиты в 1,5 раза [8]);
- недопустимое отклонение осей фундаментов от проектного положения;

- невыполнение правил эксплуатации материалов и конструкций, их гидроизоляции и антикоррозионной защиты;

- затопление котлованов и траншей водой (Москва, 2008, 3-этажный подземный центр – осадка ж/б колодца, что привело к разрыву нижележащей трубы водопровода и насыщению грунтового массива водой [4. С.22];

Дубай, 2007, 73-этажное здание Infinity Tower с котлованом 22 м – обрушение участка стены из-за образовавшейся течи, полное затопление котлована за 4 минуты [10. С.3]);

- неудовлетворительное качество строительно-монтажных работ (Москва, 2010, котлован нового здания МИД – значительные перемещения стены в грунте из-за потери преднапряжения в анкерах в результате длительного перерыва строительства [9]).

Научная новизна и практическая ценность. В статье изложены результаты комплексного анализа аварий глубоких котлованов и их последствия. Были классифицированы основные причины разрушений котлованов, что позволяет повысить уровень понимания в вопросе об авариях глубоких котлованов и избежать подобных ошибок в дальнейшем.

Выводы. В результате анализа было выявлено три основные группы причин аварий: ошибки при выполнении изысканий, ошибки при проектировании и расчетах, а также нарушения выполнения работ на строительной площадке и в период эксплуатации. Основное внимание следует уделить ошибкам при проектировании, так как большинство аварий происходят из-за недостаточного опыта проектировщиков или же неправильно выбранной расчетной модели. Изучение в дальнейшем данного вопроса является перспективным для исследований.

Также обязательным является привлечение к работам только квалифицированных подрядчиков и выполнение регулярного технического и авторского надзора заказчиком и авторского надзора проектировщиком [2].

Еще раз стоит подчеркнуть необходимость и важность выполнения оперативного геотехнического мониторинга при устройстве котлованов [1]. Для глубоких котлованов обязательными должны являться наблюдения за величинами усилий в анкерах и распорках, температурными деформациями конструкций, изменениями уровней подземных вод.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что минимизировать вероятность аварийных случаев при строительстве глубоких котлованов позволяет только комплексный подход к обеспечению безопасности строительства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Геотехническое сопровождение высотного строительства // Научно-исследовательский центр «Геодинамика» МИИГАиК. — Режим доступа: <http://www.geodinamika.ru/geotekhnicheskoe-soprovozhdenie>

2. Зехниев Ф.Ф. Преимущества применения методов наблюдения за деформациями ограждения котлована / Ф.Ф. Зехниев, Д.А. Внуков, А.С. Петухов // Взаимодействие оснований и сооружений. Подземные сооружения и подпорные стены. — Санкт-Петербург, 2014. — С. 111-119.
3. Колыбин И.В. Подземные сооружения и котлованы в городских условиях – опыт последнего десятилетия. — М.: Российская геотехника - шаг в XXI век. Труды конференции, посвященной 50-летию РОМГГиФ, 2007. — С. 1-35.
4. Понамарев А.Б. Подземное строительство: учебн. пособие / А.Б. Понамарев, Ю.Л. Винников. — Пермь: изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. — 262 с.
5. Седин В.Л. Внедрение комбинированного плитно-свайного фундамента на примере строительства подземного паркинга в Одессе / В.Л. Седин, Е.М. Бикус, А.О. Дюльдев, А.М. Мельник // 36. наук. праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво / Полт. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. — Полтава, 2013. — № 3. — С. 321-328.
6. Улицкий В.М. Гид по геотехнике / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин // ПИ «Геореконструкция». — Санкт-Петербург, 2012. — 288 с.
7. Югов А.М. Анализ аварийных ситуаций при возведении подземных частей зданий / А.М. Югов, Н.С. Новиков // Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства. «Вісник» ДНАСА, 2014. — № 6. — С. 27-33.
8. Artola J. A solution the braced excavation collapse in Singapore. — Massachusetts, 2005. — Режим доступа: <http://hdl.handle.net/1721.1/31123>
9. Brandl H. Destruction of deep foundation pit in the urban area. — Vienna, 2007.
10. Chang-Yu Ou. Deep excavations. Theory and practice. — London: Taylor & Francis, 2006. — 551 p.
11. Conçalves H. Discussing city of Santos' building foundations // «What to do about 100 tilted tall buildings?» / Proc. Internat. Geotech. Conference. «Soil-Structure Interaction: Calculation Methods and Engineering Practice». — 2009. — vol. 1. — pp. 165-174.
12. El-Mossallamy Y., Wahby A., Eltahawy W. Deep pit excavation in special geotechnical conditions // Proceedings of the 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering. — Paris, 2013. — pp. 126-134.
13. Kunstche K. Construction of deep foundation pits / Proceedings of the 32nd Annual Conference on Deep Foundations. — Colorado Springs, USA, 2007. — pp. 298-310.

REFERENCES

1. *Geotekhnicheskoe soprovozhdenie vysotnogo stroitelstva* [Geotechnical tracking of the high-rise buildings]. // Nauchno-issledovateskiy tsentr «Geodinamika» MIIGAiK. — Available at: <http://www.geodinamika.ru/geotekhnicheskoe-soprovozhdenie>
2. Zehniev F.F. *Preimuschestva primeneniya metodov nablyudeniya za deformatsiyami ograzhdeniya kotlovana* [Advantages of the application of methods to monitor the deformations of the in foundation pits] / F.F. Zehniev, D.A. Vnukov, A.S. Petuhov // *Vzaimodeistvie osnovaniy i sooruzheniy. Podzemnyye sooruzheniya i podpornyye steny* — Saint-Petersburg, 2014. — pp. 111-119. (In Russian)
3. Kolybin I.V. *Podzemnye sooruzheniya i kotlovany v gorodskikh usloviakh – opyt poslednego desyatiletia* [Underground Structures and Foundation Pits in the Urban Conditions – Experience of the Last Decade]. — М.: Rossiyskaya geotekhnika - tshag v XXI vek. Trudy konferentsii, posviatshenykh 50-letiyu ROMGGiF, 2007. — pp. 1-35. (In Russian)
4. Ponomarev A.B. *Podzemnoe stroitelstvo: uchebnoe posobie* [Underground construction: study guide] / A.B. Ponomarev, Y.L. Vinnikov // Perm: izd-vo Perm. nats. issled. politeh. un-ta, 2014. — 262 p. (In Russian)
5. Sedin V.L. *Vnedrenie kombinirovannogo plitno-svainogo fundamenta na primere stroitelstva podzemnogo parking v Odesse* [Combined pile-part foundations implementation: underground parking development in Odessa as an example] / V.L. Sedin, E.M. Bikus, A.O. Diuldev, A.M. Melnik // *Zb. nauk. prats. Seria: Galuzeve mashinobuduvannia, budivnytstvo / Polt. nats. tehn. un-t im. Y. Kondratuka*. — Poltava, 2013. — № 3. — p. 321-328. (In Russian)
6. Ulitskiy V.M. *Gid po geotekhnike* [Guide to the geotechnical engineering]. / V.M. Ulitskiy, A.G. Shashkin, K.G. Shashkin // *PI «Georekonstruktsiya»*. — Sankt-Peterbourg, 2012. — 288 p. (In Russian)
7. Yugov A.M. *Analiz avariinykh situatsiy pri vozvedenii podzemnykh tchastey zdaniu* [Analysis of the Accidents during the Arrangements of the Underground Parts of the Building] / A.M. Yugov, N.S. Novikov // *Tehnologiya, organizatsiya, mehanizatsiya i geodezicheskoe obespechenie stroitelstva. «Visnuk» DNASA*, 2014. — № 6. — pp. 27-33. (In Russian)
8. Artola J. *A solution the braced excavation collapse in Singapore*. — Massachusetts, 2005. — Available at: <http://hdl.handle.net/1721.1/31123>
9. Brandl H. *Destruction of deep foundation pit in the urban area* // Vienna, 2007.
10. Chang-Yu Ou. *Deep excavations. Theory and practice*. — London: Taylor & Francis, 2006. — 551 p.
11. Conçalves H. *Discussing city of Santos' building foundations*. «What to do about 100 tilted tall buildings?» / Proc. Internat. Geotech. Conference «Soil-Structure Interaction: Calculation Methods and Engineering Practice». — 2009. — vol. 1. — pp. 165-174.
12. El-Mossallamy Y., Wahby A., Eltahawy W. *Deep pit excavation in special geotechnical conditions* // 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering. — Paris, 2013. — pp. 126-134.
13. Kunstche K. *Construction of deep foundation pits* / Proceedings of the 32nd Annual Conference on Deep Foundations. — Colorado Springs, USA, 2007. — pp. 298-310.

Стаття рекомендована до публікації д-ром техн. наук, проф. Є. А. Єгоровим; д-ром техн. наук, проф. С. А. Щербаком.