

Технология производства строительных работ в котлованах глубиной до пяти метров

А.П. Шестакова, Н. В. Подболотова

Тюменский индустриальный университет

Аннотация: В статье приведено определение глубокого котлована, обоснование необходимости крепления стенок котлованов глубиной 3-5 метров, разработки методических рекомендаций и справочных данных по выбору оптимальных методов и конструктивных решений конструкций, применяемых для ограждения котлована. В качестве ограждения котлованов глубиной 3-5 метров рекомендуется использовать деревянное шпунтовое ограждение как самое доступное и технически простое решение. По схеме, предложенной профессором Э. К. Якоби, выполнен расчет конструктивных характеристик деревянного шпунта для различных грунтовых условий. Результаты расчета сведены в справочную таблицу, фрагмент которой приведен в статье. Разработанные справочные данные позволяют оценить целесообразность применения деревянного шпунта без дополнительных расчетов, а также определить требуемые сечения ограждения и распорок, глубину погружения шпунта, шаг установки распорок.

Ключевые слова: глубокий котлован, крепление стенок котлована, шпунтовое ограждение, метод Э. К. Якоби, обрушение котлована, откосы котлована, земляные работы, безопасность производства работ, деревянный шпунт, несчастный случай.

Грунтовое основание является частью природной геологической среды, его свойства обладают большей изменчивостью и с меньшей определенностью поддаются количественному описанию, чем свойства искусственно создаваемых, конструктивных элементов любого сооружения [с. 16-17, 1]. С учетом этих обстоятельств особую значимость приобретают производство работ нулевого цикла, инженерные изыскания, проектирование подземной части зданий и сооружений.

Только за 2021 год в прессе зафиксировано 10 случаев обрушения котлованов на российских стройках, в результате которых погибло 6 человек. В поселке Константиновский Тутаевского района 27 июля в результате обрушения 2-х метрового котлована при производстве работ в частном доме погиб рабочий [2]. Ранее в Нижнем Новгороде 26 февраля в результате обрушения 5-ти метровой траншеи погибли 2 рабочих [3].

Анализ несчастных случаев показывает, что обрушиться может как глубокий 15-ти метровый котлован, так и неглубокие 3-5-ти метровые котлованы, возводимые в условиях частного строительства и производства работ по устройству и ремонту инженерных коммуникаций [4,5]. Отсутствие человеческих жертв при обрушении котлованов обусловлено отсутствием рабочих на момент аварии в котловане. Как показывают данные, даже из относительно неглубоких котлованов рабочих не успевают спасти, и они оказываются засыпанными заживо либо получают серьезные травмы, несовместимые с жизнью.

Обрушение котлованов часто приводит к созданию чрезвычайной ситуации, перекрытию движению, отключению коммуникаций. Одним из самых сложных последствий обрушения котлованов являются деформации рядом стоящих зданий. Основание и фундаменты близстоящих зданий оказываются деформированными, что приводит к образованию трещин, крена, полного разрушения и прочих дефектов, не позволяющих продолжать эксплуатацию зданий из-за угрозы аварии.

Обрушение котлованов происходит по разным причинам: в связи с ошибками проектирования ограждения котлована и недостаточным обеспечением устойчивости его стенок, некорректно проведенными инженерно-геологическими изысканиями, подтоплением водами, халатным проведением работ, применением некачественных материалов.

Самой частой причиной обрушения стенок котлованов является отсутствие откосов и креплений выемок. Согласно СП 104-34-96, земляные выемки без крепления при условии отсутствия грунтовых вод допускается возводить с вертикальными стенками в глинах и суглинках на глубину не более 1,5 м, в песках и супесях не более 1-1,25м. Во всех остальных случаях стенки земляных выемок должны иметь откосы или быть укреплены.

В российской технической и нормативной литературе нет четкого определения, какой котлован считается глубоким [6]. В зарубежных источниках встречается определение глубокого котлована при глубине более 15 футов (4,5 м) [7,8]. В СП 104-34-96 допустимая крутизна откосов земляных выемок нормируется табличными значениями до глубины 5 м, для котлованов глубиной более 5 м устойчивость откосов должна определяться расчетом. В песчаных грунтах при глубине котлована 5 м заложение откоса будет 1:1, т.е. 5 м, что значительно увеличивает вылет грузоподъемной техники. Крепление стенок котлованов глубиной 3-5 м и более путем устройства откосов крайне затруднительно в стесненных условиях, так как при таких размерах заложения откосов пятно строительства будет гораздо больше, чем при вертикальных стенках котлована, что потребует увеличения площадки строительства. При ремонтных работах на инженерно-технических сетях часто нет возможности разрабатывать котлованы с откосами в связи с тем, что площадка строительства очень стеснена и граничит с городскими объектами и проезжими частями. По нашему мнению, глубокими котлованами должны считаться те котлованы, при разработке которых существенно возрастают риски несчастных случаев. В связи с этим, можно дать следующее определение глубокому котловану: котлован, глубиной больше человеческого роста, в котором производство работ невозможно или нецелесообразно без крепления стенок.

На наш взгляд, недостаточно внимания уделяется производству земляных работ в относительно неглубоких котлованах глубиной 3-6 м из-за того, что такие котлованы устраивают в рядовом строительстве, при ремонтных и аварийных работах, в частных домовладениях.

При строительстве высотных, уникальных зданий с развитой подземной частью, технология и организация производства работ нулевого цикла достаточно подробно разрабатывается в проектах производства работ.

Такие стройки всегда находятся под пристальным вниманием и повышенным контролем, поэтому случаи обрушения действительно глубоких котлованов редки, по сравнению с зафиксированными случаями обрушения относительно неглубоких котлованов и траншей, выполняемых для производства ремонтных и восстановительных работ на инженерных сетях.

Для повышения безопасности работ в данной области необходима разработка методических рекомендаций, позволяющих рабочим и инженерам без специальных знаний и трудоемких расчетов определить безопасную технологию производства земляных работ и методы крепления стенок котлованов.

Для крепления неглубоких котлованов глубиной до 5 м применяют деревянный шпунт из досок, толщиной до 8 см (рис.1, а), или брусьев, толщиной от 10 до 24 см (рис.1, б) при большей глубине используют в качестве шпунтовых стенок металлический профиль [с. 182, 9].



Рис. 1. – Типы деревянного шпунта:

а–деревянный шпунт из досок; б– деревянный шпунт из бруса

Деревянный шпунт широко доступен, устройство монтажных соединений деревянного шпунта не требует высококвалифицированных навыков и производства сварочных работ. Деревянный шпунт можно использовать даже при незначительном притоке грунтовых вод, так как плотность шпунта повышается вследствие разбухания древесины [С. 316, 10].

Деревянный шпунт легче металлического, что является очевидным преимуществом при незначительном объеме строительных работ и позволяет обойтись средствами малой механизации при работе с ним.

Деревянный шпунт погружают молотами с облегченным оборудованием, для удобства производства работ и повышения их эффективности перед забивкой несколько деревянных шпунтин сплачивают между собой.

Есть много приемов расчета шпунтовых стенок. Рассчитаем шпунтовое крепление по методу, предложенному Э.К. Якоби, для различных грунтовых условий и глубины котлована. Согласно данному методу, чтобы ограждение находилось в равновесии и не опрокидывалось, необходимо выполнение условия (1) [11]:

$$\sum M_A = 0 \quad (1)$$

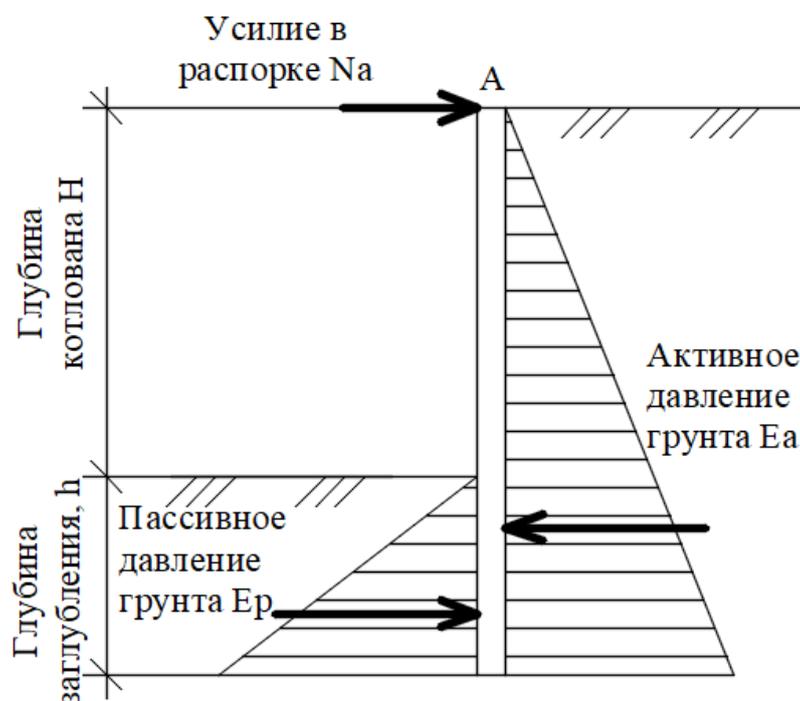


Рис. 2. Расчетная схема шпунтового ограждения котлована

Фрагмент результатов расчета приведен в таблице №1. Расчет был выполнен для грунтов с различным удельным весом и углом внутреннего трения.

Таблица № 1

Расчетные и конструктивные характеристика деревянного шпунтового ограждения

Глубина котлована Н, м	Глубина заглубления ограждения Н, м	Минимальный момент сопротивления сечения ограждения W, см ³	Минимальная площадь сечения распорки А, см ² , при шаге распорок S, м		Минимальный момент сопротивления сечения ограждения W, см ³	Минимальная площадь сечения распорки А, см ² , при шаге распорок S, м	
Удельный вес грунта		γ=18,0 кН/м ³			γ=20,0 кН/м ³		
Угол внутреннего трения φ=25°							
3,0	1,65	1400	3	55,9	1556	3	62,0
			4	74,5		4	82,7
			5	93,1		5	103,4
3,5	1,9	2374	3	79,4	2638	3	88,2
			4	105,9		4	117,6
			5	132,3		5	147,0
4,0	2,2	3319	3	99,3	3688	3	110,3
			4	132,3		4	147,0
			5	165,4		5	183,8
4,5	2,45	4975	3	130,0	5527	3	144,5
			4	173,3		4	192,6
			5	216,7		5	240,7
5,0	2,7	7097	3	164,8	7886	3	183,0
			4	219,7		4	244,0
			5	274,6		5	305,1
Угол внутреннего трения φ=30°							
3,0	1,2	1013	3	42,1	1125	3	46,8
			4	56,2		4	62,4
			5	70,2		5	78,0
3,5	1,4	1608	3	57,3	1787	3	63,7
			4	76,5		4	84,9
			5	95,6		5	106,2
4,0	1,6	2340	3	74,9	2667	3	83,2
			4	99,9		4	111,0
			5	124,8		5	138,7
4,5	1,8	3417	3	94,8	3797	3	105,3
			4	126,4		4	104,4
			5	158,0		5	175,5



5,0	2,0	4688	3	117,0	5208	3	130,0
			4	156,0		4	173,3
			5	195,0		5	216,7

Расчетное сопротивление древесины на сжатие и изгиб было принято $R_{сж}=10000$ кПа, $R_{изг}=20000$ кПа.

Руководствуясь табличным минимальным моментом сопротивления сечения, толщину шпунтового ограждения определяем по формуле (2):

$$\delta_{тр} = \sqrt{\frac{6W_{тр}}{100}}, \quad (2)$$

Согласно проведенным расчетам, чем меньше угол внутреннего трения грунта, тем более развитыми будут сечения ограждения котлована и распорок.

Имея такие справочные данные, можно оперативно принять решение о необходимости крепления стенок котлована, запроектировать безопасную конструкцию ограждения. Опираясь на представленные расчеты, можно принять решение о целесообразности применения деревянного шпунта при глубине котлована 5 метров и более. Так, согласно рассчитанным значениям, минимальная толщина ограждения котлована при глубине 5 метров, удельном весе грунта $20,0$ кН/м³, угле внутреннего трения 25° составит 22 см (таблица №1). При таких характеристиках сечения возможно целесообразно рассмотреть крепление стенок котлована с помощью металлического шпунта.

Наличие методических рекомендаций и справочных данных, касающихся производства работ в глубоких котлованах, призвано обратить внимание на ведение строительных работ в относительно неглубоких котлованах и снизить количество несчастных случаев.

Литература

1. Теличенко В.И., Король Е.А., Каган П.Б., Комиссаров С.В., Аруюнов С. Г., Афанасьев А.А. Управление программами и проектами возведения высотных зданий: Научное издание.- М.: Издательство АСВ, 2010.-144с.



2. Трагедия под Ярославлем: рабочих завалило землей // БЕЗФОРМАТА
URL: yaroslavl.bezformata.com/listnews/yaroslavlem-rabochih-zavalilo-zemley/96048894/ (дата обращения: 01.11.2021)

3. Двое строителей погибли в траншее 26 февраля на ул. Светлоярской // НИА «Нижний Новгород» URL: niann.ru/?id=562487 (дата обращения: 01.11.2021)

4. Один человек находится под завалами после обрушения стены в котловане на стройке в Екатеринбурге // Коммерсант URL : kommersant.ru/doc/4997754 (дата обращения: 01.11.2021)

5. Установили причину обрушения грунта и гибели сварщика в котловане // Воронежский городской портал URL: 36on.ru/news/people/97251-ustanovili-prichinu-obrusheniya-grunta-i-gibeli-svarschika-v-kotlovane?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop (дата обращения: 01.11.2021)

6. Кунтше К. Устройство глубоких котлованов и откосов в условиях городской застройки // Развитие городов и геотехническое строительство, 2010 №2. URL: urban-development.ru/2010/7.pdf (дата обращения: 01.11.2021)

7. Deep excavation // Quinn Developments URL : quinndevelopments.co.uk/groundworks-civil-engineering/deep-excavation/ (дата обращения: 01.11.2021)

8. Puller M. Deep Excavations: A practical manual. - London: Thomas Telford Publishing, 1998. - 457 p.

9. Берлинов М.В. Основания и фундаменты: Учебник. –5-е изд., стер.– СПб.: Издательство «Лань», 2016.-320 с.: ил.

10. Далматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии): Учебник. - СПб.: Лань, 2012. - 416 с.

11. Ухов, С.Б., Семёнов В.В., Знаменский В.В. [и др.]. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебное пособие для строит. спец. вузов. - М.: Высшая школа, 2010. - 566 с.

References

1. Telichenko V.I., Korol' E.A., Kagan P.B., Komissarov S.V., Aruyunov S. G., Afanas'ev A.A. Upravlenie programmami i proektami vozvedeniya vysotnykh zdaniy: Nauchnoe izdanie [Management of programs and projects for the high-rise buildings' construction]. M.: Izdatel'stvo ASV, 2010. 144 p.

2. Tragediya pod YAroslavlem: rabochih zavalilo zemlej [Tragedy near Yaroslavl: workers piled underground]. URL: yaroslavl.bezformata.com/listnews/yaroslavlem-rabochih-zavalilo zemley/96048894/ (date of the application: 01.11.2021)

3. Dvoe stroitelej pogibli v transhee 26 fevralya na ul. Svetloyarskoj [Two builders died in a pit on February 26 on Svetloyarskaya street]. NIA «Nizhnij Novgorod». URL: niann.ru/?id=562487 (date of the application: 01.11.2021)

4. Odin chelovek nahoditsya pod zavalami posle obrusheniya steny v kotlovane na strojke v Ekaterinburge [One person is under the rubble after the collapse of a foundation pit in Yekaterinburg] t URL: kommersant.ru/doc/4997754 (date of the application: 01.11.2021)

5. Ustanovili prichinu obrusheniya grunta i gibeli svarshchika v kotlovane [The cause of the collapse of the ground and the death of the welder in the excavation was established] Voronezhskij gorodskoj portal. URL: 36on.ru/news/people/97251-ustanovili-prichinu-obrusheniya-grunta-i-gibeli-svarschika-v kotlovane?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop (date of the application: 01.11.2021)

6. Kuntshe K. Ustrojstvo glubokih kotlovanov i otkosov v usloviyah gorodskoj zastrojki [Construction of deep pits and slopes in urban areas] Razvitie gorodov i



geotekhnicheskoe stroitel'stvo, 2010, №2. URL : urban-development.ru/2010/7.pdf
(date of the application: 01.11.2021)

7. Deep excavation Quinn Developments. URL:
quinndevelopments.co.uk/groundworks-civil-engineering/deep-excavation/ (date
of the application: 01.11.2021)

8. Puller M. Deep Excavations: A practical manual. London: Thomas Telford
Publishing, 1998. 457 p.

9. Berlinov M.V. Osnovaniya i fundamenty [Foundations]: Uchebnik. 5-e izd.,
ster. SPB.: Izdatel'stvo «Lan'», 2016. 320 p.

10. Dalmatov, B.I. Mekhanika gruntov, osnovaniya i fundamenty
(vklyuchaya special'nyj kurs inzhenernoj geologii) [Soil mechanics and
foundations (including a special course in engineering geology)]: Uchebnik. SPb.:
Lan', 2012. 416 p.

11. Uhov, S.B., Semyonov V.V., Znamenskij V.V. [i dr.]. Mekhanika
gruntov, osnovaniya i fundamenty [Soil mechanics and foundations]: Uchebnoe
posobie dlya stroit. spec. vuzov. M.: Vysshaya shkola, 2010. 566 p.