



Предотвращение обрушения стенок котлованов и траншей в стесненных условиях застроенных территорий

Р.А. Хузиахметов¹, К.Р. Хузиахметова¹, Ф.Р. Расулев²

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,

²ООО «Казанский Инженерный Проект»,

г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Опыт строительства новых зданий и производства ремонтных и реставрационных работ в условиях плотной городской застройки позволяет обеспечить безопасность выполнения работ подземной части зданий на исторически сложившихся территориях. *Целью* настоящего исследования является изучение конструктивных и технологических решений по предотвращению обрушения стенок котлованов и траншей для фундаментов различной глубины заложения в стесненных условиях городской застройки. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Выполнен информационно-аналитический обзор конструктивных решений объектов строительства, ремонта и реконструкции в стесненных условиях городской застройки.
2. Выполнен обзор современного опыта по организации и технологии работ нулевого цикла при строительстве и ремонте зданий в стесненных условиях городской застройки.
3. Выполнен обзор конструктивных решений и нормативных требований по обеспечению устойчивости стенок траншей и котлованов.

Результаты. Выполненный обзор строительства новых объектов с одновременной реконструкцией существующих зданий городской застройки позволяет констатировать, что полноценные инженерно-геологические изыскания, а также качественное конструирование и проектирование подземной и надземной частей зданий являются залогом безопасного производства выполнения строительно-монтажных работ.

Выводы. Безопасность объекта строительства и ремонта в стесненных условиях плотной городской застройки связана с сохранением работоспособного состояния всех существующих на осваиваемой территории зданий, также с недопущением опасных ситуаций на каждом этапе строительства новых объектов. При этом следует учитывать ограниченную возможность развертывания необходимой по размерам строительной площадки по сравнению с нестесненными условиями, определяемыми нормативными требованиями к новому строительству. Проанализированные конструктивные решения креплений стенок траншей и котлованов обеспечивают соблюдение требований безопасности на строительной площадке. При этом при разработке и засыпке неглубоких земляных выемок требуется безоговорочное соблюдение требований безопасного производства работ. Рассмотренные авторами отдельные схемы конструкций укрепления вертикальных стенок траншей и котлованов в различных сочетаниях позволяют выполнить новые комбинаторные схемы креплений, исполнение которых ориентировано на применение традиционных и современных легких строительных материалов и изделий.

Ключевые слова: безопасность строительных работ, стесненные условия, устойчивость, обрушение грунта, крепление стенок траншей и котлованов.

Для цитирования: Хузиахметов Р. А., Хузиахметова К. Р., Расулев Ф. Р. Предотвращение обрушения стенок котлованов и траншей в стесненных условиях застроенных территорий // Известия КГАСУ, 2023, № 3(65), с. 175-184, DOI: 10.52409/20731523_2023_3_175, EDN: NSPDCV

Prevention of collapse of pit and trench walls in cramped conditions of built-up areas

R.A. Khuziakhmetov¹, K.R. Khuziakhmetova¹, F.R. Rasulev²

¹Kazan State University of Architecture and Engineering,

²LLC «Kazan Engineering Project»,

Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* The experience of construction of new buildings and repair and restoration works in the conditions of dense urban development allows ensuring the safety of work performance of the underground part of buildings on the historically established territories.

The purpose of this research is to study design and technological solutions to prevent the collapse of the walls of pits and trenches for foundations of various depths in cramped urban conditions. The following tasks were solved to achieve this goal:

1. The information and analytical review of design solutions for construction, repair and reconstruction projects in cramped urban conditions was carried out.
2. The review of modern experience in the organization and technology of zero-cycle work during the construction and renovation of buildings in cramped urban conditions was carried out.
3. The review of design solutions and regulatory requirements to ensure the stability of the walls of trenches and pits was completed.

Results. The performed review of new construction sites with a simultaneous reconstruction of existing buildings of urban development allows stating that a full survey, as well as the qualitative design and construction of underground and above-ground parts of buildings is a guarantee of safe implementation of construction and erection works.

Conclusions. The safety of the object of construction and repair in the cramped conditions of dense urban building is linked to the preservation of serviceable condition of all existing buildings on the territory under development, as well as the avoidance of dangerous situations at each stage of construction of new facilities. At the same time, it is necessary to take into account the limited possibility of deployment of the necessary size of the construction site in comparison with the unconstrained conditions determined by the regulatory requirements for new construction. The analyzed structural solutions of trench and excavation wall supports ensure compliance with the safety requirements at the construction site. At the same time, during the development and backfilling of shallow excavations, it is required to observe the requirements of safe work performance. The individual schemes of structures for strengthening vertical walls of trenches and pits considered by the authors in various combinations make it possible to perform new combinatorial schemes of fastening, the execution of which is focused on the use of traditional and modern lightweight building materials and products.

Keywords: safety of construction works, cramped conditions, stability, soil collapse, fixing the walls of trenches and pits.

For citation: Khuziakhmetov R.A., Khuziakhmetova K.R., Rasulev F.R. Prevention of collapse of pit and trench walls in cramped conditions of built-up areas // News KSUAE, 2023, № 3(65), p. 175-184, DOI: 10.52409/20731523_2023_3_175, EDN: NSPDCV

1. Введение

Любой вид строительно-монтажных работ на новых строительных объектах, а также выполнение капитального ремонта существующих объектов недвижимости имеет достаточно высокий уровень опасности и травматизма [1, 2]. Основными причинами травматизма являются слабая подготовка и недостаточный опыт строительных рабочих [3–5]. При этом одни опасности имеют потенциально-вероятностный характер [6, 7], а другие приводят к получению травм [8–10]. Недопущение несчастных случаев при выполнении земляных работ и работ нулевого цикла в траншеях и котлованах на объектах строительства и ремонта является важной и сложной, но вполне решаемой

задачей [11, 12]. При этом одна из основных серьезных и аварийно-опасных ситуаций – это обрушение откосов или вертикальных стенок грунта [13, 14].

Строительство новых зданий и сооружений в современных городах осуществляется в условиях плотной городской застройки. В связи с этим необходимо организовывать выполнение строительно-монтажных работ в стесненных условиях как при работах нулевого цикла, так и при строительстве надземной части каждого конкретного здания, встраиваемого в комплекс уже имеющихся на территории зданий и сооружений. Сложной и ответственной частью работы является подготовка к строительству каждого нового объекта, поскольку это требует организации инженерно-геологических изысканий на месте предполагаемого строительства, проектирования и конструирования подземной фундаментной части здания и коммуникаций. При этом следует обеспечить сохранность и безопасное работоспособное состояние окружающих зданий и сооружений в непосредственной близости от возводимого объекта. В России имеется достаточный опыт такого строительства.

Принятый в Российской Федерации Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30 декабря 2009 года регламентирует необходимость обеспечения безопасности зданий и сооружений на всех периодах их жизненного цикла, в том числе при их строительстве и при ремонтно-строительных работах, во время капитального ремонта и реставрации объектов. Достижению этих целей способствует выполнение всестороннего качественного обследования технического состояния строительных конструкций здания до начала ремонтных работ [15], выбор строительной техники [16–18], а также подготовка всей требуемой проектной документации [19, 20].

Производство земляных работ, выполняемых вручную или механизированным способом, должно осуществляться в соответствии с требованиями действующего документа «Правила по охране труда при строительстве, реконструкции и ремонте»¹ и другими взаимосвязанными с ними нормативными актами. В советский период российской истории требования безопасности при выполнении земляных работ хронологически содержались в строительных нормах безопасности: СНиПах 50-ых годов, СНиП III-A.11-62, СНиП III-A.11-70, СНиП III-4-80, СНиП 12-03-2001 и СНиП 12-04-2002.

В настоящее время в Российской Федерации действует впервые принятый приказом Минстроя РФ от 23 июля 2018 года № 444/пр свод правил СП 381.132258800.2018 «Сооружения подпорные. Правила проектирования»². Кроме основных требований к проектированию подпорных сооружений и стен подвалов, этот свод правил распространяет свое действие и на ограждения котлованов, траншей и конструкций их крепления.

Целью данного обзора является изучение конструктивных и технологических решений по предотвращению обрушения стенок котлованов и траншей для фундаментов различной глубины заложения в стесненных условиях городской застройки.

Для достижения поставленной цели следует решить следующие задачи:

1. Выполнить информационно-аналитический обзор конструктивных решений объектов строительства, ремонта и реконструкции в стесненных условиях городской застройки.
2. Выполнить обзор современного опыта по организации и технологии работ нулевого цикла при строительстве и ремонте зданий в стесненных условиях городской застройки.
3. Выполнить обзор конструктивных решений и нормативных требований по обеспечению устойчивости стенок траншей и котлованов.

2. Основная часть

2.1. Информационно-аналитический обзор конструктивных решений объектов строительства, ремонта и реконструкции в стесненных условиях городской застройки.

¹ Утверждены Министерством труда и социальной защиты 11 декабря 2020 г. № 883н

² Введен в действие с 24 января 2019 г.

В 2018/19 годах в Казани была завершена реконструкция трехэтажной Шамовской больницы, построенной в 1907-1910 годах купцом Я.Ф. Шамовым³. При реконструкции здания в непосредственной близости от него была сооружена подземная четырехэтажная пристройка в котловане глубиной около 20 м. Особенно проблемным было расположение подземного котлована в непосредственной близости от фундамента существующего здания на расстоянии около 0,5 м. Авторами статьи⁴ в проектной документации⁵ были разработаны технические решения, предусматривающие усиление фундаментов основного реконструируемого здания вблизи разрабатываемого котлована для строительства подземной пристройки. Для усиления оснований и фундаментов на отдельных участках котлована были запроектированы вертикальные буронаблюдательные сваи диаметром 150 мм, длиной 9 м с объединением их монолитным железобетонным ленточным ростверком сечением 500x500 мм. Фундаменты существующего здания были пересажены на монолитную железобетонную плиту толщиной 500 мм с укреплением искусственного основания. Основными несущими элементами ограждения котлована были запроектированы буронабивные сваи диаметром 1000 мм, длиной около 33 м с железобетонным ленточным ростверком, который монолитно соединялся с плитой усиления фундамента под торцевой стеной существующего здания больницы.

Этим же коллективом авторов были разработаны конструктивные решения ограждающих конструкций котлована, а также мероприятия по обеспечению устойчивости разрабатываемого котлована глубиной более 10 м под единый трехъярусный подземный паркинг под двумя 25-этажными жилыми зданиями, возводимыми в окружении 4-х и 5-ти этажными зданиями^{6,7}.

В статье [21] представлено проектное решение 24-этажного жилого дома с пристроенной подземной двухэтажной парковкой. Здание и парковка расположены в зоне исторической застройки г. Ростов-на-Дону, где они граничат с гаражами и тремя жилыми зданиями, построенными более 100 лет назад. Конструктивное решение по укреплению стен котлована заключается в устройстве ограждения из буронабивных свай и буронаблюдательных свай-анкеров для исключения влияния на близ расположенные здания.

В исследовании [22] рассматривается устройство ограждения котлована размерами в плане 59x55 м и глубиной около 4,8 м с применением металлической шпунтовой стенки с глубиной заделки шпунта 12 м. Объект строительства (16-этажное монолитное здание) расположен в Приморском районе г. Санкт-Петербург вблизи станции метро. Для данного участка характерным являются сложные инженерно-геологические грунтовые условия, отягощенные в гидрогеологическом отношении (грунтовые воды установлены на глубине 0,2-1,3 м). Также в данной работе приведен перечень ограждений для крепления стен котлованов. Кроме этого, авторами выполнен расчет котлована с использованием современных методов расчета напряженно-деформированного состояния системы «массив грунта – шпунтовая стенка – окружающая застройка».

Прогноз оседания земляной поверхности при разработке котлована для строительства общественного здания в городских условиях выполнен в статье [23]. Здание запроектировано 16-этажным с подземным встроено-пристроенным паркингом. Размеры здания высотой 54,8 м в плане по первому этажу около 29,8x43,99 м. Котлован в плане прямоугольный с размерами 59x55 м и глубиной около 4,8 м. Укрепление стенок котлована запроектировано из металлического шпунта Ларсена. Глубина заделки шпунта

³ Реконструкция здания Шамовской больницы была начата в 2009 году.

⁴ Мирсаяпов И.Т., Хасанов Р.Р., Сафин Д.Р. Исследование ограждающих конструкций котлована подземного пристроя при реконструкции Шамовской больницы г. Казани // Известия КГАСУ, 2015, № 4 (34). С. 191-199.

⁵ Мирсаяпов И.Т., Хасанов Р.Р., Сафин Д.Р. Ограждающая конструкция котлована и конструкции, обеспечивающие устойчивость ограждения здания Шамовской больницы (1908 г. арх. К.С. Олешкевич) РТ, г. Казань, ул. Калинина, д. 5/24. Пояснительная записка к проекту. – Казань. 2015.. – 68 с.

⁶ Мирсаяпов И.Т., Хасанов Р.Р., Сафин Д.Р. Проектирование ограждения глубокого котлована в условиях стесненной городской застройки // Известия КГАСУ, 2015, № 2 (32). С. 183-191.

⁷ Мирсаяпов И.Т., Хасанов Р.Р., Сафин Д.Р. Ограждающая конструкция котлована жилого комплекса по ул. Шульгина г. Казани. Пояснительная записка к проекту. – Казань. 2015.. – 60 с.

до прочного слоя грунта составляет 12 м. Для предотвращения горизонтального сдвига шпунтовой стенки углы котлована были раскреплены распорками в два пояса на расстоянии 4 м и 8 м от углов котлована.

В работе [24] запроектирован котлован под 8-этажное здание с трехуровневой подземной автостоянкой. Котлован прямоугольный с размерами 37,6x31,3 м и глубиной 11,45 м. Ограждение котлована выполнено в виде «стена в грунте» толщиной 600 мм, которое заглубляется ниже дна котлована на 6,25 м. В зоне влияния запроектированного котлована находятся два здания застройки середины XX века, имеющие глубины заложения фундаментов до 2,1 м. Для крепления этого ограждения запроектированы активные грунтовые анкеры-РИТ и распорные конструкции. Грунтовые анкеры-РИТ установлены в двух уровнях, в том числе и под существующими зданиями.

2.2. Обзор современного опыта по организации и технологии работ нулевого цикла при строительстве и ремонте зданий в стесненных условиях городской застройки.

Факт строительства в стесненных условиях обуславливает невозможность полноценного развертывания строительной площадки и организации условий для выполнения различных строительных работ, в том числе и использование строительных машин и механизмов. Об этом говорится в статье [25], в которой рассматриваются вопросы организации строительства зданий и технологии их возведения в условиях плотной городской застройки. До начала земляных работ по периметру будущего котлована обычно устраиваются шпунтовые ограждения с применением металлических труб, швеллеров или двутавров погружением в грунтовый массив. В ответственных случаях элементы шпунтового ограждения (круглого трубчатого сечения) устанавливаются в пробуренные скважины. Также, отступив от существующих фундаментов на 1-3 м, для усиления фундаментов имеющихся зданий устраиваются буроинъекционные сваи. В особо ответственных случаях отдельные из этих свай проходят через тело существующего фундамента. После завершения работ нулевого цикла шпунтовое ограждение извлекается, а буроинъекционные сваи остаются в грунте. Также по завершении строительства подземной части здания в грунте остаются все элементы конструкции «стена в грунте». Это сооружение является достаточно сложным по исполнению и требует вложения значительных материальных затрат. В статье также изложена технология выполнения работ нулевого цикла в условиях городской застройки. Кроме этого, в данной статье приведены мероприятия, обеспечивающие соблюдение санитарных требований и требований безопасного производства работ.

Автор исследования [26] аналитически развивает приведенные в работе [25] особенности обеспечения безопасного строительства в условиях плотной городской застройки. Кроме этого, обращается внимание на необходимость геотехнического мониторинга состояния близ расположенных зданий и сооружений. Также в статье указывается на необходимость соблюдения нормативных требований учета возникающих экологических проблем, связанных с защитой атмосферного воздуха, вывозом строительных отходов и влиянием на возможность изменения состояния грунтовых вод.

В статье [27] отмечается, что «котлован является сложным инженерным сооружением». К этому же следует добавить, что котлован, разрабатываемый в стесненных условиях, усложняет задачу и повышает ответственность возводимых в нем сооружений. Это связано с тем, что требуется гарантировать сохранность находящихся рядом с ним зданий и сооружений. Важным также является обеспечение безопасного и безаварийного ведения работ в котловане при выполнении строительно-монтажных работ нулевого цикла. В статье приведен перечень котлованов по глубине, их конструктивным исполнениям, дана оценка качества ограждений котлованов, а также выполнен анализ замечаний по отклонениям от проектных решений (то есть нарушений). Кроме того, в статье представлена информация по нарушениям (причинам), вызвавшие в 12 случаях аварийные ситуации, основными из которых явились следующие: нарушения технологии производства работ, отступления от требований проекта, использование данных результатов ранее проведенных инженерно-геологических изысканий, некачественное их проведение.

2.3. Информационно-аналитический обзор конструктивных решений и нормативных требований по обеспечению устойчивости стенок траншей и котлованов.

В исследовании [22] выполнен обзор конструктивных исполнений креплений стенок траншей и котлованов:

- распорные крепления (в распор или с уклоном), комплектуемые деревянными ограждающими досками или деревянными либо металлическими щитовыми конструкциями;

- свайные ограждающие барьеры (железобетонные сваи, стальные трубы, плиты или профили) с размещением в шахматном порядке в один-два ряда через 0,5 или 1,5 м с заполнением или без него;

- «стена в грунте», применяемая в котлованах для подземных уровней зданий и сооружений глубиной до 30-40 м;

- грунтовые анкера (инъекционные или самозабуриваемые), используемые для предотвращения обрушения стен котлована;

- переносное сеточное ограждение стен траншей и котлованов из высокопрочной стальной проволоки и труб для кратковременного крепления и при незначительных сроках работ;

- шпунтовые ограждения для крепления стен котлованов глубиной до 8 м при слабых водонасыщенных грунтах с высоким уровнем грунтовых вод. Наиболее распространены шпунты «Ларсен».

Для фундаментов мелкого заложения конструктивные решения крепления стенок котлованов и траншей, их разработка, вопросы обеспечения безопасности производства работ в них представлены в учебниках и других учебно-методических разработках по технологии и организации строительства и в нормативно-технической литературе.

Обеспечение устойчивости стен неглубоких траншей и котлованов возможно при их разработке с откосами менее угла естественного откоса грунта, а также при разработке траншей с вертикальными стенками без крепления и с креплением вертикальных стенок. Разработку земляных выемок глубиной до 2 м без крепления их стенок можно производить только при связном грунте.

При большей глубине траншей с вертикальными стенками, а также при несвязных грунтах необходимо устраивать их крепление. Авторами данной статьи были проанализированы рисунки и чертежи из вышеназванных учебных и нормативных источников, где они имеют различное оформление, степень конструктивной наполненности и детализации. На нижеприведенном рисунке авторы представили оформленные ими в едином стиле часто используемые основные виды вертикальных креплений земляных выемок.

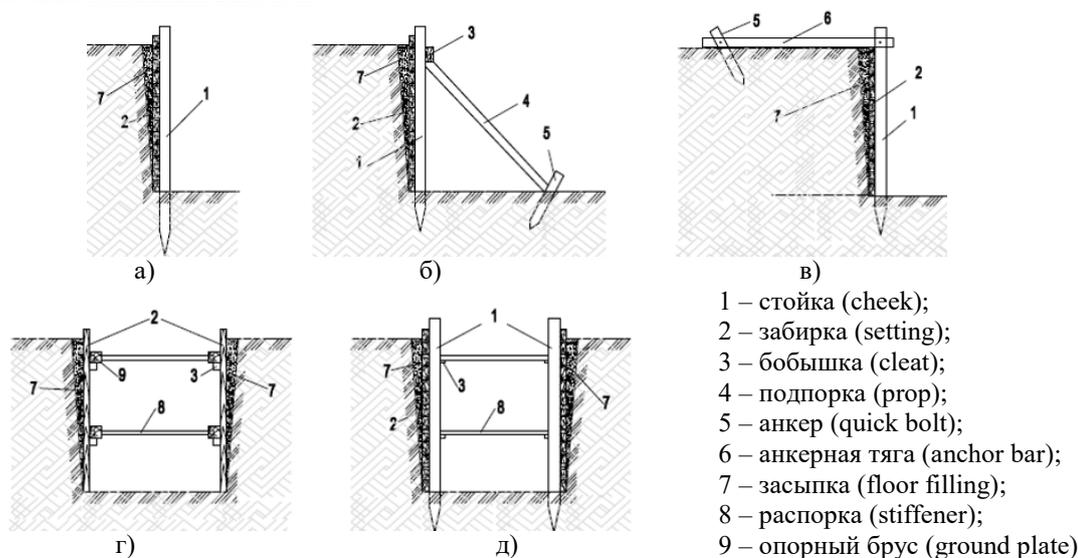


Рис.1. Крепление вертикальных стенок траншей и котлованов для фундаментов мелкого заложения (иллюстрация авторов): а) стоечное; б) опорно-стоечное; в) якорное;

г) распорное с вертикальными досками;

д) распорное с горизонтальными досками

Fig.1. Fixing the vertical walls of trenches and pits for shallow foundations (illustration by the authors): a) post; b) support-post; c) anchoring; d) spacing with vertical boards; e) spacing with horizontal boards.

В документах СП 381.132258800.2018 и «Правила по охране труда при строительстве, реконструкции и ремонте», введенном в действие приказом Минтруда № 883н от 11 декабря 2020 года, разработка котлованов и траншей с вертикальными стенками без креплений в нескальных и незамерзших грунтах выше уровня грунтовых вод и при отсутствии вблизи подземных сооружений (п. 129 Правил) разрешается на глубину не более:

- 1,0 м – в несслежавшихся насыпных и природного сложения песчаных грунтах;
- 1,25 м – в супесях;
- 1,50 – в суглинках и глинах.

Разработка котлованов и траншей с откосами без креплений в нескальных грунтах выше уровня грунтовых вод допускается при строго разрешенных глубинах выемок и крутизне откосов. Для обеспечения устойчивости вертикальных стенок земляных выемок глубиной до 3 м рекомендуется применять инвентарные вертикальные крепления, а также изготовленные по индивидуальным проектам.

При установке крепления его верхняя часть должна быть выше бровки выемки не менее чем на 0,15 м.

Стойки креплений следует устанавливать не реже через каждые 1,5 м.

Распорки креплений следует размещать одну над другой по вертикали на расстоянии не более 1 м, на концы распорок (сверху и снизу) закреплять фиксирующие бобышки.

В грунтах естественной влажности, кроме песчаных, толщина досок забирки должна быть не менее 4 см, а зазоры между досками - не более 0,15 м. В грунтах повышенной влажности и в сыпучих грунтах доски толщиной не менее 5 см следует располагать без зазоров.

Устанавливать крепления необходимо в направлении сверху-вниз по мере разработки выемки на глубину не более 0,5 м.

Разборку креплений следует производить в направлении снизу-вверх по мере обратной засыпки выемки.

Личный практический опыт работы авторов данной статьи на строительной площадке при выполнении работ по укреплению и разборке таких защитных конструкций, а также опыт участия в расследовании несчастных случаев, связанных с обрушением грунта, позволяет отметить следующее:

1. Выполнение строительно-монтажных работ в траншеях и котлованах, защищённых от обрушения грунта способами, представленными на рисунке, обеспечивает их безопасность.

2. Исходя из представленных нормативных технологических требований последовательности разработки и засыпки траншей и котлованов с использованием приведенных на рисунке креплений стенок выемок, практическое следование нормативным требованиям представляется весьма затруднительным.

3. Процесс одновременной засыпки и разборки креплений является трудоемким и потому длительным. К тому же при этом безопасность рабочего процесса в полной мере не гарантируется.

4. На настоящее время у авторов данной статьи имеются определенные наработки по новым конструктивным решениям креплений вертикальных стенок траншей и котлованов при сочетании конструктивных исполнений некоторых из представленных на рисунке вертикальных креплений.

4. Заключение

1. Выполнение строительно-монтажных работ в стесненных условиях плотной городской застройки непосредственно связано с сохранением работоспособного состояния всех существующих на осваиваемой территории зданий, а также с недопущением опасных ситуаций на каждом этапе строительства новых объектов.

Качественно выполненные инженерно-геологические изыскания, оригинальное конструирование и грамотное проектирование фундаментной части новых зданий при их совместной работе с фундаментными конструкциями имеющихся зданий обеспечивают безопасность работ на строительной площадке.

2. Организационные и технологические решения по строительству новых зданий и одновременное производство ремонта и реконструкции имеющихся объектов недвижимости во многом определяются ограниченной возможностью развертывания необходимой по размерам строительной площадки по сравнению с нестесненными условиями, определяемыми нормативными требованиями к новому строительству.

Для обеспечения безопасного строительства новых объектов и производства ремонтно-восстановительных и реконструкционных работ существующих объектов в стесненных условиях современных городских территорий до начала выполнения работ нулевого цикла в обязательном порядке следует укреплять стены и откосы разрабатываемых траншей и котлованов.

3. Конструктивные решения обеспечения устойчивости котлованов для устройства фундаментов глубокого и мелкого заложения позволяют обеспечивать нормативные требования безопасности нового строительства и строительства в условиях плотной городской застройки. Причем при разработке и засыпке грунтовых выемок для фундаментов мелкого заложения соблюдение требований технологических норм, особенно при засыпке, является трудоемким и длительным, что сказывается на выполнении требований безопасности.

4. В современных публикациях широко отображены конструктивные решения по выполнению строительно-монтажных работ по устройству фундаментов глубокого заложения. Устройство фундаментов мелкого заложения не нашло должного представления в научно-технической литературе.

Наиболее распространенные конструктивные методы защиты неглубоких земляных выемок от обрушения, отдельные из которых представлены на рисунке, рассматриваются авторами статьи как отправные для их совершенствования и разработки новых схем конструктивно-технологического применения.

Список литературы/ References

1. Birhane G.E., Yang L., Geng J., Zhu J. Causes of construction injuries: a review // *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2020. Vol. 11. Iss. 1. P. 1-26. DOI: 10.1080/10803548.2020.1761678.
2. Romero Barriuso A., Villena Escribano B.M., Rodríguez Sáiz A. The importance of preventive training actions for the reduction of workplace accidents within the Spanish construction sector // *Safety Science*. 2021. Vol. 134. P. 105090. DOI: 10.1016/j.ssci.2020.105090.
3. Abukhashabah E., Summan A., Balkhyour M. Occupational accidents and injuries in construction industry in Jeddah city // *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2020. Vol. 27. Iss. 8. P. 1993-1998. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.06.033.
4. Carrillo-Castrillo J.A., Trillo-Cabello A.F., Rubio-Romero J. Construction accidents: identification of the main associations between causes, mechanisms and stages of the construction process. 2017. Vol. 23. Iss. 2. P. 240-250. DOI: 10.1080/10803548.2016.1245507.
5. Adaku E., Ankras N.A., Ndekugri I.E. Design for occupational safety and health: A theoretical framework for organisational capability // *Safety Science*. 2021. Vol. 133. P. 105005. DOI: 10.1016/j.ssci.2020.105005.
6. Emre Güranlı G., Müngen U. An occupational safety risk analysis method at construction sites using fuzzy sets // *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2009. Vol. 39. Iss. 2. P. 371-387. DOI: 10.1016/j.ergon.2008.10.006.
7. Martínez-Rojas M., Soto-Hidalgo J.M., Martínez-Aires M.D., Rubio-Romero J.C. An analysis of occupational accidents involving national and international construction workers in Spain using association rule technique // *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2021. P. 1-37. DOI: 10.1080/10803548.2021.1901433.
8. Adetunji K., Razali Adul Hamid, Syamsul Hendra Bin Mahmud. Methods of Improving Reporting of Occupational Accidents in the Nigerian Construction Industry // *Asia Proc. Soc. Sci*. 2021. Vol. 7. Iss. 1. P. 1-4. DOI: 10.31580/apss.v.7i1.1715.

9. Dogan E., Yurdusev M.A., Yildizel S.A., Calis G. Investigation of scaffolding accident in a construction site: A case study analysis // *Engineering Failure Analysis*. 2021. Vol. 120. P. 105108. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2020.105108.
10. Keun Oh T., Jun Kwon Y., Oh B.H., Il Gwon Y., Yoon H. K. Suggestions for safety coordinator's roles at each construction stage (client, designer, supervisor, and contractor) to improve safety and health activities in South Korea // *Safety Science*. 2021. Vol. 133. P. 104994. DOI: 10.1016/j.ssci.2020.104994.
11. Bozzano F., Esposito C., Mazzanti P., Innocca F., Romeo S. Urban engineered slope collapsed in Rome on February 14th, 2018: Results from remote sensing monitoring // *Geosci*. 2020. Vol. 10. № 9. P. 331. DOI: 10.3390/geosciences 10090331.
12. Williams, O.S., Hamid, R.A., Misnan, M.S. Causes of building construction related accident in the south-western states of Nigeria // *International Journal of Built Environment and Sustainability*. 2019. Vol. 6. Iss. 1. P. 14-22. DOI: 10.11113/ijbes.v.6.n1.313.
13. Ivascu L., Sarfraz M., Mohsin M., Naseem S., Ozturk I. The Causes of Occupational Accidents and Injuries in Romanian Firms: An Application of the Johansen Cointegration and Granger Causality Test // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18. Iss. 14. P. 7634. DOI: 10.3390/ijerph 18147634.
14. Jacazz S., De Matos Y.M.P., Monteiro F.F., Cunha R.P., Ruge J.C., Gassler G. Evaluation of analytical and numerical techniques to simulate curtain pile walls in a tropical soil of the federal district of Brazil // *Geotechnical Engineering*. 2020. Vol. 51. Iss. 2. P. 30-38.
15. Sakhapov R.L., Nikolaeva R.V., Gatiyatullin M.H., Makhmutov M. Risk management model in road transport systems // *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. Vol. 738. Iss. 1. P. 012008. DOI: 10.1088/1742-6596/738/1/012008.
16. Sakhapov R.L., Nikolaeva R.V., Gatiyatullin M.H., Makhmutov M. Modeling the process of wheel drive slipping with anti-skid devices // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1391. P. 012117. DOI: 10.1088/1742-6596/1391/1/012117.
17. Sakhapov R.L., Nikolaeva R V., Gatiyatullin M.H., Makhmutov M. Modeling of traction-coupling properties of wheel propulsor // *Journal of Physics: Conference Series*. 2017. Vol. 936. Iss. 1. P. 012033. DOI: 10.1088/1742-6596/936/1/012033.
18. Sakhapov R.L., Nikolaeva R.V., Gatiyatullin M.H., Makhmutov M. Modeling the dynamics of the chassis of construction machines // *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. Vol. 738. Iss. 1. P. 012119. DOI: 10.1088/1742-6596/738/1/012119.
19. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M.I. Bearing capacity and settlement of raft-pile foundations under cyclic loading // *Energy Geotechnics*. 2016. P. 423–428. DOI: 10.1201/b21938-67.
20. Mirsayapov Ilizar T., Shakirov M.I. Behavior models of plate-pile foundations under cyclic loading: Proceedings of the baltic piling days' conference: Baltic Piling Days, Estonian Geotechnical Society ISSMGE / Tallin, 2012. P. 31–34.
21. Кузнецов М.В., Маринченко Е.В., Пушкарев М.Д. Проектирование ограждения котлована жилого дома в условиях плотной городской застройки в г. Ростов-на-Дону // *Инженерный вестник Дона*. 2018. Вып. 2. С. 188. [Kuznecov M.V., Marinchenko E.V., Pushkarev M.D. Designing the fence of the foundation pit of a residential building in a dense urban development in Rostov-on-Don // *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2018. Iss. 2. P. 188]
22. Трушко О.В., Кутявин Д.В. Устройство котлована в условиях сильнодеформируемых грунтов при строительстве многоэтажного бизнес-центра с учетом обеспечения устойчивости близстоящих зданий и сооружений // *Вестник Евразийской науки*. 2018. Т. 20. Вып. 1. С. 1-16. [Trushko O.V., Kutuyavin D.V. The construction of an excavation in highly deformable soils during the construction of a multistory business center, taking into account the stability of adjacent buildings and structures // *Vestnik Evrazijskoj nauki*. 2018. Vol. 20. Iss. 1. P. 1-16.]
23. Деменков П.А., Трушко О.В., Комолов В.В. Прогноз оседания поверхности земли при сооружении котлована вблизи застройки // *Известия ТулГУ, Науки о Земле*. 2019. Вып. 2. С. 300–309. [Demenkov P.A., Trushko O.V., Komolov V.V. Prediction of

- land surface subsidence during the construction of the excavation near the building // Izvestiya TulGU, Nauki o Zemle. 2019. Vol. 2. P. 300-309.]
24. Кубецкий В.Л., Калеев Д.И. Влияние анкерного крепления бортов котлована на дополнительные деформации существующих зданий // Вестник МГСУ. 2012. Вып. 4. С. 246–251. [Kubeckij V.L., Kaleev D.I. The influence of anchoring the walls of the excavation on the additional deformations of existing buildings // Vestnik MGSU. 2012. Iss. 4. P. 246-251.]
25. Бугаева Т.Н. Особенности возведения зданий в условиях городской застройки // Вестник ПсковГУ. 2015. Вып. 1. С. 116–120. [Bugaeva T.N. Peculiarities of the erection of buildings in the conditions of urban development // Vestnik PskovGU. 2015. Iss. 1. P. 116-120.]
26. Копотилова А.С. Особенности строительства в условиях плотной городской застройки // Молодой ученый. 2017. Т. 183. Вып. 49. С. 59–61. [Kopotilova A.S. Features of construction in a dense urban development // Young Scientist. 2017. Vol. 183. Iss. 49. P. 59-61.]
27. Ильичев В.А., Знаменский В.В., Морозов Е.Б. Опыт устройства котлованов при возведении зданий и сооружений в стесненных условиях города Москвы // Вестник МГСУ. 2010, Вып. 4-2. С. 222–230. [Ilyichev V.A., Znamensky V.V., Morozov E.B. Experience of excavation in the construction of buildings and structures in the cramped conditions of Moscow // MSCU Bulletin. 2010, Issue. 4-2. P. 222-230.]

Информация об авторах

Хузиахметов Рустам Абдулганеевич, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: hroustam@mail.ru

Хузиахметова Карина Рустамовна, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: karina261996@mail.ru

Расулев Фархад Резилович, инженер, ООО «Казанский Инженерный Проект», Казань, Российская Федерация

E-mail: sik96.96@mail.ru

Information about the authors

Rustam A. Khuziakhmetov, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: hroustam@mail.ru

Karina R. Khuziakhmetova, post-graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: karina261996@mail.ru

Farkhad R. Rasulev, engineer, LTD «Kazan Engineering Project», Kazan, Russian Federation

Email: sik96.96@mail.ru