

УДК 624.1, 699.8

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-2\(29\)-88-100](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2021-2(29)-88-100)

# МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО РИСКА В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

## METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS FOR ASSESSING GEOTECHNICAL RISK IN DENSE URBAN DEVELOPMENT

Д. Е. РАЗВОДОВСКИЙ, канд. техн. наук

А. В. СКОРИКОВ, канд. техн. наук

И. А. РАЗВОДОВСКАЯ

*Представлены главные положения, которые были положены в основу методических рекомендаций по оценке геотехнического риска в условиях плотной городской застройки. Приведен краткий обзор по анализу риска в геотехнике. Рассмотрены критические дефекты зданий, потенциально повышающие вероятность их обрушения. Показаны принципиальные положения экспертного и количественного анализа рисков.*

*The article presents the main provisions that were laid as the basis for methodological recommendations for assessing geotechnical risk in conditions of dense urban development. A brief overview of risk analysis in geotechnics is given. Critical defects of buildings, potentially increasing the probability of building collapse, are considered. The principal provisions of the expert and quantitative risk analysis are shown.*

### Ключевые слова:

*Анализ геотехнических рисков, идентификация рисков, зона влияния строительства, критерий риска, порядок оценки риска, риск, управления риском аварий сооружений*

### Key words:

*Analysis of geotechnical risks, identification of risks, influence zone, procedure for risk assessment, risk criterion, risk, risk management of structures accidents*

### Введение

Академик В. А. Легасов еще в 1987 г. отмечал [1], что для нашего времени характерна тенденция: при уменьшении вероятности каждого отдельно взятого негативного события масштабы последствий, как правило, заметно возрастают. Это утверждение полностью

соответствует практике современного строительства, проходящего в условиях стесненной городской застройки. Наблюдаются тенденции усложнения проектов, идет увеличение глубины подземной части зданий и внедрение новых материалов и технологий, с одной стороны, а с другой – повышается цена ошибки в процессе изысканий, проектирования или строительства. Всегда следует учитывать человеческий фактор и возможность возникновения ошибок и непредвиденных обстоятельств даже в самом отлаженном строительном процессе, совокупность которых в конечном счете приводит к возникновению аварий, в том числе – с человеческими жертвами. Как бы ни были хороши строительные нормы, избежать возникновения аварийных ситуаций не удастся. Всё это делает актуальным поиск общего подхода к выполнению анализа риска при строительстве в условиях стесненной городской застройки. С этой точки зрения разработка методических рекомендаций очень важна, так как позволяет выработать общие подходы на основании обсуждения конкретных действий по оценке рисков. Указанный путь позволяет со временем сформировать общий подход для решения такого вида задач.

В соответствии с [2] риск – это вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда. Максимальное снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций как при строительстве нулевого цикла нового здания, так и максимальное сохранение технического состояния окружающей застройки, в конечном счете, всегда являются целью инженера-геотехника.

### **Общий анализ ситуации**

Публикации по оценке риска в геотехнике постоянно появляются в отечественных изданиях, но нормативные геотехнические документы (СП и ГОСТы) пока не содержат положений не только по оценке риска строительства в условиях плотной городской застройки, но и при производстве любых других работ нулевого цикла. Исключение составляет СП 58.13330.2019 [18], где регламентируются расчетные значения вероятностей возникновения аварий для напорных гидротехнических сооружений, а также ежегодные вероятности превышения расчетных максимальных расходов воды. Есть ряд документов, связанных с анализом риска в смежных разделах геотехники и инженерной геологии [2 - 5]. Особенно следует отметить рекомендации [4], которые де-факто стали эталоном подхода к оценке геологических рисков в Москве. В отношении преемственности, по своей структуре методические документы по оценке риска должны быть близки к указанным документам.

Разработано большое число документов в области промышленной безопасности, для которых вопрос анализа рисков детально проработан [5, 7, 8]. Их положения и подходы могут стать основой при разработке методических рекомендаций, особенно в вопросах, касающихся вероятности гибели людей при разрушении зданий.

В [9] содержится утверждение, что проектирование в соответствии с системой Еврокодов приводит к приемлемому уровню надежности при условии надлежащего надзора за проектированием и строительством. Это утверждение основывается на том, что фактическое количество структурных отказов с человеческими жертвами в год в мире намного ниже других общепринятых рисков. В полной мере указанное утверждение справедливо и для разработанной в РФ системы нормативных документов и общей системы контроля

качества. Однако дополнительный анализ ситуации в любом случае позволит привести к дополнительному повышению уровня надежности принимаемых проектных решений.

В [10] и [20] проведена достаточно подробная систематизация методов оценки риска. В [11] упор сделан на применении экспертных оценок для строительства. Указанные работы содержат положения, которые следует учитывать при разработке рекомендаций. Предложенные подходы, несомненно, следует учитывать, развивать и дополнять в методических рекомендациях по оценке риска.

В соответствии с [12] мероприятия по повышению уровня безопасности объектов с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера осуществляются в соответствии с принципами:

- приоритетной реализации противоаварийных мероприятий в проектах строительства (реконструкции) зданий и сооружений;
- локализации разрушений несущих конструкций при аварийных воздействиях и повышения общей устойчивости объекта;
- технико-экономической целесообразности проектных решений по повышению безопасности;
- комплексной оценки эффективности мероприятий, обеспечивающих снижение риска и смягчение последствий ЧС.

Все эти принципы должны лежать в основе любых положений по оценке риска.

Таким образом, несмотря на отсутствие нормативных документов, формируются общие подходы к анализу рисков, которые могут быть формализованы в виде рекомендаций или иных документов. С появлением большого числа таких документов возможно формирование соответствующих подходов и в нормативной литературе. В НИИОСП им. Н. М. Герсеванова с учетом анализа указанных литературных источников были разработаны методические рекомендации, основные положения которых изложены далее.

### **Общие положения рекомендаций**

Основная задача анализа риска аварий при устройстве глубоких котлованов состоит в выявлении основных факторов, влияющих на возникновение аварийных ситуаций при строительстве. Такой анализ может осуществляться:

- путем критического рассмотрения проектных материалов;
- на основании анализа результатов обследования существующих зданий и сооружений, с выявлением факторов риска;
- путем оценки вероятности последствий аварий для людей, их имущества и для окружающей застройки от реализации опасностей как на строительной площадке, так и на примыкающей территории вследствие реализации процессов, связанных со строительством.

По результатам анализа риска могут, при необходимости, разрабатываться рекомендации по повышению уровня безопасности возводимых сооружений, а также зданий и сооружений, находящихся в зоне влияния на примыкающей территории, или по полной корректировке принимаемых проектных решений. Конечная цель анализа рисков состоит в их предельной минимизации при выбранном уровне затрат.

Для достижения указанных положений необходимо выделить основные понятия и определить действия, которые необходимо выполнить при оценке рисков.

### Критические дефекты

В [13] вводится понятие критического отказа – это отказ системы или ее элемента, тяжесть последствий которого в пределах соответствующего анализа признана недопустимой и требует принятия специальных мер по снижению вероятности отказа и/или возможного ущерба, связанного с его возникновением. Очевидно, что такой подход применим и в строительстве, т. е. возможность разрушения строительных конструкций оценивать путем выявления наличия критических дефектов. Классификация дефектов для строительства выполнялась еще в [14], но там этим термином обозначается дефект, при наличии которого здание, сооружение, его часть или конструктивный элемент функционально непригодны, дальнейшее ведение работ по условиям прочности и устойчивости небезопасно либо может повлечь за собой снижение указанных характеристик в процессе эксплуатации. С позиции анализа рисков под критическим дефектом следует понимать такое повреждение строительной конструкции, при котором возникает возможность полного или частичного ее разрушения при незначительных дополнительных деформациях его конструкций. Если для устраиваемых конструкций можно однозначно выявить перечень таких дефектов, то для существующих, а особенно, исторических зданий заранее выявить список критических дефектов представляется достаточно трудной задачей. Сложность состоит в том, что конструктивная схема здания может быть не до конца известна, может отсутствовать доступ к конструкциям в процессе обследования. Многое зависит от квалификации эксперта, проводящего обследование. Фактически должны быть оценены, кроме технического состояния конструкций, и возможная скорость развития негативных процессов, и возможность хрупкого разрушения конструкций, что строительными нормами вообще не регулируется.

Основным способом снижения риска аварии при строительстве должна быть ликвидация критических дефектов в существующих конструкциях [15].

Критические дефекты могут возникать в существующем здании как в ходе нового строительства, так и в ходе эксплуатации здания. Чаще всего появление критических дефектов при эксплуатации зданий связано с несанкционированными перепланировками, повлиявшими на изменение конструктивной схемы зданий.

Аварийные ситуации при возведении зданий могут возникать из-за ошибок при изысканиях и в проектной документации, нарушения технологии производства работ. К основным критическим дефектам можно отнести:

- трещины раскрытием более 2 мм на высоту более 2 этажей;
- сползание плит перекрытий или опор лестничных площадок с опорных поверхностей;
- взаимное смещение сборных железобетонных плит перекрытий по высоте до 3 см;
- образование вертикальных трещин между продольными и поперечными стенами зданий;
- прогибы элементов более 1/80 пролета;
- выпучивание или смещение панелей стен, разрушение узлов крепления панелей;
- разрыв арматуры в балках;
- выпучивание продольной арматуры в железобетонных колоннах.

Следует учитывать, что отнесение здания к 4-й категории технического состояния предполагает возможность его полного или частичного разрушения, т. е. характеризует возможность разрушения в соответствии с критериями первого предельного состояния.

Назначение категории технического состояния зданий окружающей застройки всегда носит условный характер и может зависеть от индивидуальных оценок лиц, проводящих

обследования. В ходе технического обследования зданий далеко не все дефекты выявляются. В случае сомнений в правильности результатов обследования следует проводить контрольные обследования. При назначении категории технического состояния существующих зданий возможны существенные ошибки, связанные со скрытием дефектов при проведении косметического ремонта или отделочных работ.

Таким образом, понятие критических дефектов является достаточно полезным для оценки рисков разрушения зданий при строительстве в непосредственной близости от них новых зданий и сооружений с заглубленной подземной частью. Желательно апробировать список таких дефектов, предложенный в методических рекомендациях, и дополнить его. Кроме того, необходимо определить достоверный способ выявления указанных дефектов.

В [16] выделяются четыре возможные степени разрушения и повреждения существующих зданий или их частей: слабая, средняя, сильная и полная. Возможное количество жертв при авариях связывается именно со степенью разрушения, такой подход можно считать в полной мере оправданным. При этом степень разрушения, очевидно, должна быть связана со степенью превышения допустимой осадки для здания. Возможность наступления разрушения здания, в том числе прогрессирующего, должна быть подтверждена расчетами. Этот подход логично распространить и на случаи строительства в условиях плотной городской застройки.

### Экспертная оценка рисков

Предложения по оценке риска чаще всего сводятся к проведению экспертной оценки ситуации, с выделением основных опасностей и оценкой вероятности возникновения той или иной ситуации. Методы экспертной оценки хорошо проработаны экономистами и опираются на соответствующий математический аппарат [17]. Как уже было указано ранее, используется он и в строительной практике. При этом способе оценки риска каждому эксперту предоставляется перечень рисков, вероятность наступления которых требуется оценить. Метод экспертных оценок нашел достаточно широкое применение за рубежом, в наших условиях, скорее, обозначена принципиальная возможность его применения, говорить о повсеместном внедрении подходов пока не приходится. Главный вопрос – исключение ангажированности ряда экспертов, а также их возможная недостаточная квалификация. Оценить достоверность прогноза, не пытаясь оценить согласованность мнения экспертов, невозможно. В этой области уже предложено значительное число различных подходов, важно только выбрать наиболее применимые на практике. Наиболее простым образом оценку согласованности мнений экспертов в группе можно осуществлять на основании применения коэффициента конкордации (коэффициент Кендалла [17]). При строгом ранжировании коэффициент конкордации находится по формуле

$$W = \frac{12S_c}{m^2(n^3 - n)}, \quad (1)$$

где  $n$  – число экспертов;  $m$  – число оцениваемых параметров;  $r_{ij}$  – ранг элемента, присвоенный  $i$ -м экспертом,

$$S_c = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{i=1}^m r_{i,j} - \frac{n(m+1)}{2} \right)^2.$$

Коэффициент Кендалла также изменяется в пределах от -1 до +1 и равен нулю при отсутствии связи между рядами рангов. Коэффициент конкордации может изменяться в диапазоне

от 0 до 1, при этом: 0 – полная несогласованность, от 0,1 до 0,3 – низкая степень согласованности; от 0,3 до 0,6 – средняя; более 0,6 – высокая; 1 – полное совпадение мнения экспертов.

Общий алгоритм оценки ситуации методом экспертных оценок следующий. На первом этапе эксперт или группа экспертов должны выделить основные риски и передать в группу выделенных экспертов для оценки вклада каждого из выбранных факторов на оценку ситуации. Численная величина каждого вида риска определяется с учетом вероятности наступления неблагоприятного события и величины ожидаемого ущерба, нанесённого его наступлением. Вся указанная информация вносится в реестр рисков, где должны быть перечислены все геотехнические риски, характерные для конкретного района строительства, и обязательно приведены числовые значения степени рисков. Далее определяется величина согласованности мнения экспертов и дается оценка возможности использования результатов оценки рисков. Блок-схема экспертной оценки рисков приведена на рис. 1.

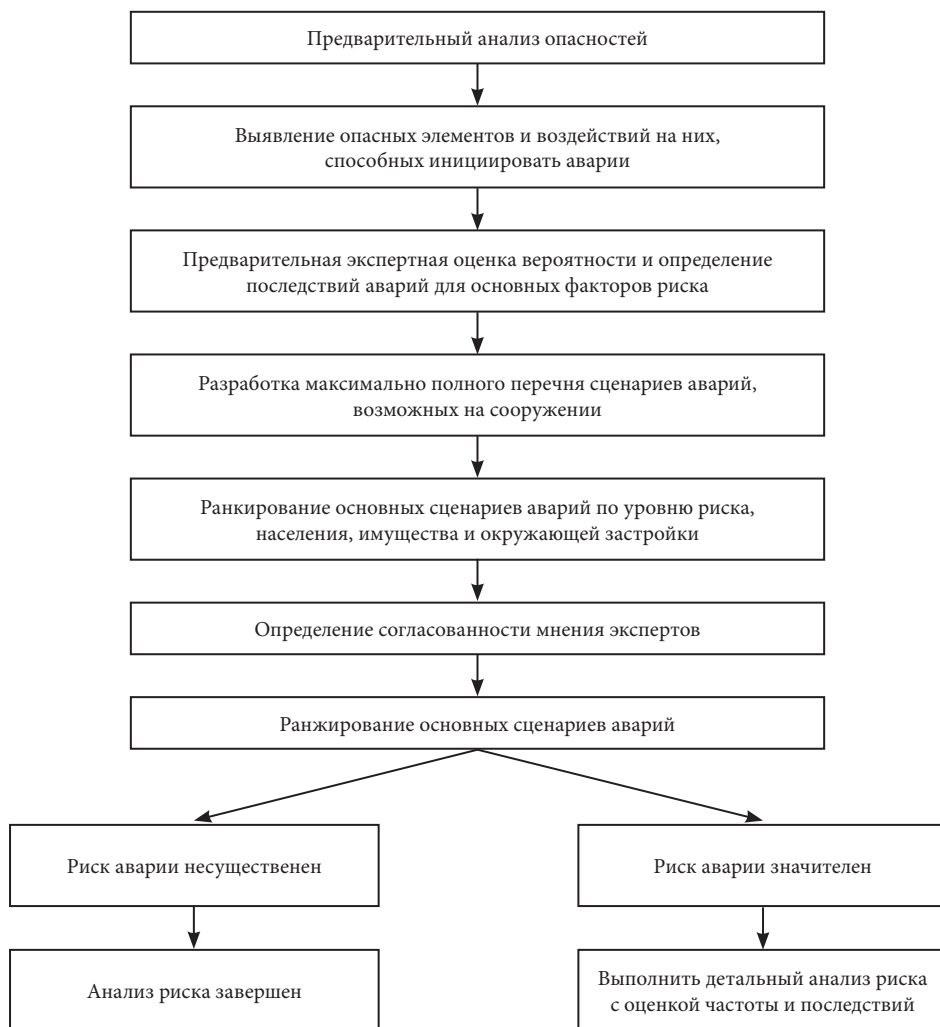


Рис. 1. Порядок действий при оценке ситуации экспертными методами

### Количественная оценка рисков

Основной целью анализа риска аварий при устройстве глубоких котлованов в условиях плотной городской застройки является заблаговременное установление степени опасности возникновения аварийных ситуаций и предупреждение угроз причинения вреда имуществу, жизни и здоровью людей. Необходимо максимально минимизировать риски для окружающей застройки, связанные с устройством котлованов. Нормативная база позволяет достичь хороших результатов – крупные аварии с обрушением зданий и человеческими жертвами достаточно редки. Если такие аварии происходят, их причины в большинстве случаев становятся известны инженерной общественности и детально анализируются. Однако говорить о фиксации всех аварийных ситуаций не представляется возможным. Если ситуация могла привести к крупной аварии, но ее удалось избежать, то такие случаи в анализ чаще всего попадают. Поэтому все обобщения носят достаточно условный характер и, в конечном счете, риск возникновения аварий оказывается недооцененным. Наиболее полный реестр аварий с обобщением их причин содержится в [14], в работе [19] подробно разбираются и анализируются причины аварий в геотехнике. В качестве первого приближения эти данные могут быть использованы для оценки вероятности возникновения аварий, поскольку общее количество объектов, которые были построены за последние годы, находится в открытом доступе.

Учитывая опыт НИИОСП, можно отметить, что в большинстве случаев, расчетные величины осадок для объектов, где фиксировались проблемы, были близки к предельным величинам. Это означает, что при оценке риска возведения котлована в условиях стесненной городской застройки оценка может основываться на основании математического моделирования. При этом в расчете должны задаваться максимально неблагоприятные инженерно-геологические условия и учитываться возможность отклонения от требований проекта в процессе производства работ. Для получения наиболее консервативной величины осадки расчеты следует вести с применением основных показателей прочностных и деформационных свойств грунта со статистической обеспеченностью 0,95. Такие расчеты обычно проводятся с применением специализированного геотехнического программного обеспечения с учетом отклонения от проекта организации строительства (ПОС), т. е. возможности отклонения от проектной отметки на каждом этапе экскавации котлована. При усилении зданий окружающей застройки оценивается возможная величина технологических осадок при устройстве геотехнических конструкций. Обычно величина технологических осадок определяется на основании сопоставимого опыта.

В [16] приведена зависимость условной вероятности поражения человека с разной степенью тяжести от степени разрушения здания. Если ввести в геотехническую практику понятие «степень разрушения здания», то этот подход может быть применим для практических расчетов. Логично увязать степень разрушения со степенью превышения расчетной величины осадки над допустимыми величинами. При этом вероятностные характеристики неблагоприятных событий или аварийных ситуации могут быть получены с использованием данных, представленных в [14].

Могут быть учтены и другие факторы, способные приводить к дополнительным технологическим осадкам. К таким факторам следует относить наличие скрытых преград для устройства ограждающих конструкций котлована, не выявленных при изысканиях полостей, влияние частичной разборки здания. Путем суммирования полученных величин, может

быть определена условная максимальная величина дополнительной осадки здания при реализации неблагоприятных факторов.

Дифференцированный экономический риск потерь в виде полного и удельного (приведенного к единице площади) значения этого риска и социальный риск от обрушения здания являются основными параметрами, используемыми для оценки риска.

Дифференцированный экономический риск потерь следует оценивать в виде полного и удельного (приведенного к единице площади) значений этого риска по следующим формулам:

$$R_e = P \cdot P_s \cdot V_c \cdot D_e; \quad (2)$$

$$R_{se} = R_e / S_o, \quad (3)$$

где  $R_e$  и  $R_{se}$  – соответственно полный, руб./год, и удельный, руб./м<sup>2</sup>·год, риск потерь от опасности  $Y$ ;  $P$  – учитываемая общая повторяемость аварийной ситуации, численно равная ее статистической вероятности интенсивности проявления аварийной ситуации, случаев/год (допускается принимать по таблице);  $P_s = S_i / S_o$  – геометрическая вероятность поражения оцениваемого объекта;  $S_o$  – площадь объекта, м<sup>2</sup>;  $S_i$  – площадь зоны влияния на основании численного моделирования, м<sup>2</sup>;  $V_c$  – экономическая уязвимость зданий и сооружений может быть определена по таблице;  $D_e$  – стоимость объекта до его поражения, руб. Если здание целиком расположено в зоне влияния, то  $P_s = 1$ .

Социальный риск от обрушения здания по аналогии с [4] рекомендуется определять в виде полных значений возможных потерь населения с летальным исходом по формуле

$$R_s = R_i(H) \cdot P \cdot V_s \cdot D_p, \quad (4)$$

где  $R_s$  – полный социальный риск погибнуть от опасности, равный числу летальных исходов от этой опасности в течение года, чел./год;  $P$  – повторяемость опасности, случаев/год;  $V_s$  – социальная уязвимость населения для опасности;  $D_p$  – общая численность населения в пределах оцениваемого объекта, чел., определяется на основании имеющихся данных о здании. При отсутствии информации допустимо принимать равной 18 м<sup>2</sup> жилой площади на 1 чел. Социальная уязвимость населения в здании,  $V_s$ , или на прилегающей к строительству территории во времени зависит от способа ее использования и может быть принята равной:

- для жилых зданий  $V_{st} = 0,45$ ;
- для производственных объектов с постоянным пребыванием персонала (41 ч / в неделю)  $V_{st} = 0,22$ ;
- для производственных объектов без постоянного пребывания персонала (менее 2 ч / в смену)  $V_{st} = 0,08$ ;
- для свободной от застройки территории (0,3 ч / в день)  $V_{st} = 0,0125$ .

Другие параметры, которые в методических рекомендациях были приведены для проведения расчетов, даны в таблице.

Концепция «приемлемого» риска смерти человека в результате разрушения конструкции поднимает очень деликатные вопросы, связанные с общественным восприятием такого события. Считается, что *допустимое* количество смертельных исходов в результате несчастных случаев отражает общественное мнение о приемлемости смертности при различных типах несчастных случаев и подверженности серьезным опасностям. Следует понимать, что систематизированные пороги вероятности отказа являются только математическим инструментом и ни в коем случае не отражает реальную допустимую вероятность смертельных случаев. Зона приемлемого риска при производстве строительно-монтажных работ менее 10<sup>-5</sup>.



**Повреждения (разрушения) составных частей объекта,  
характеризующие степени их разрушения и их характеристики**

Показатель	Степени разрушения и повреждения			
	Слабая	Средняя	Сильная	Полная
Проявления	Повреждение внутренних перегородок, кровли, перекос дверных и оконных коробок, легких пристроек и др. Основные несущие конструкции сохраняются в работоспособном состоянии	Снижение эксплуатационной пригодности зданий и сооружений. Несущие конструкции частично деформируются, при этом снижается их несущая способность. Раскрытие трещин – более 1 мм. Опасность обрушения отсутствует	Разрушение несущих конструкций зданий и сооружений на локальных участках. Сохраняются наиболее прочные элементы здания и сооружения	Обрушение здания или сооружений, может сохраниться только незначительная часть прочных элементов
Возникающие дефекты, вызывающие травмы людей	Обрушение отдельных элементов штукатурки	Разрушение фрагментов стен и плит перекрытий. Разрушение отдельных элементов перекрытий и стен	Обрушение лестничных пролетов. Обрушение стен, преимущественно фасадных, и элементов декора. Сползание плит перекрытий с опорных площадок. Разрушение фрагментов стен. Обрушение отдельных элементов перекрытий и стен	Разрушение здания или его части с образованием завалов
Признаки возникновения ситуации	Расчет здания подтверждает невозможность прогрессирующего обрушения зданий. Здание находится в работоспособном состоянии	Расчет здания подтверждает невозможность прогрессирующего обрушения зданий. Здание находится в работоспособном состоянии	Расчет здания подтверждает невозможность прогрессирующего обрушения здания. Здание находится в ограниченно работоспособном состоянии	Расчет здания подтверждает возможность прогрессирующего обрушения зданий. Здание находится в ограниченно работоспособном или неработоспособном состоянии
Учитываемая наиболее неблагоприятная повторяемость аварии	$1 \cdot 10^{-03}$	$5 \cdot 10^{-04}$	$1 \cdot 10^{-05}$	$\cdot 10^{-05}$
Экономическая уязвимость $V_{\epsilon}$	0,03	0,3	0,5	1
Повторяемость опасности гибели людей	$1 \cdot 10^{-07}$	$1 \cdot 10^{-06}$	$1 \cdot 10^{-05}$	$6 \cdot 10^{-05}$

Для зоны недопустимого риска должны выполняться требования об ограничении числа людей в опасной зоне, порядок обучения и инструктажа персонала при необходимости проведения работ в ней. Также должна быть отработана система оповещения, позволяющая в кратчайшие сроки осуществлять мероприятия по защите или эвакуации людей. Блок-схема количественной оценки рисков приведена на рис. 2.



Рис. 2. Порядок действий при количественной оценке рисков

### Заключение

Разработанные в НИИОСП им. Н. М. Герсеева методические рекомендации «Оценка риска, связанного с устройством глубоких котлованов в условиях плотной городской застройки» являются документом, требующим обсуждения для выработки положений, включаемых в нормы. Согласно Федеральному закону [2], соответствие проектных значений и характеристик здания или сооружения требованиям безопасности, а также проектируемые мероприятия по обеспечению его безопасности должны быть обоснованы, в том числе, путем оценки риска возникновения опасных природных процессов и явлений и (или) техногенных воздействий

Разработанные методические рекомендации являются шагом в решении задач в этом направлении. Следует накопить опыт применения этих и других документов в области оценки риска, который станет основанием для внесения изменений в положения нормативных документов по оценке риска строительства в условиях плотной городской застройки.

### Библиографический список

1. *Легасов В.А.* Проблемы безопасного развития техносферы // Коммунист: Теорет. и практ. журн. ЦК КПСС. – М.: Правда, 1987. – Май (№ 8 (1306)). – С. 92-101.
2. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
3. Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений. 2-е изд., под ред. Е.Н. Беллендира, Н.Я. Никитиной. СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». 2005.
4. Рекомендации по оценке геологического риска на территории г. Москвы – Правительство Москвы – Комитет по архитектуре и градостроительству г. Москвы.
5. Методические рекомендации по оценке оползневой опасности на автомобильных дорогах – Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР) – Москва, 2014.
6. Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах». Нормативные документы в сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Сер. 27 Декларирование промышленной безопасности и оценка риска. Вып. 16. 2016.
7. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывоопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. Сер. 9. Вып. 37. 2-е изд., доп. М.: ЗАО «Научно-технический центр исследования проблем промышленной безопасности», 2013.
8. Классификатор основных видов дефектов в строительстве и промышленности строительных материалов.. Утвержден Главной инспекцией Госархстройнадзора России 17 ноября 1993 года.
9. *Calgaro J.-A., Gulvanessian H.* Management of reliability and risk in the Eurocode system. IABSE International Conference ‘Safety, Risk and Reliability – Trends in Engineering’, Malta, 21-23 mars 2001.

10. Серова Е.А., Чунюк Д.Ю. Качественный и количественный подходы при анализе геотехнического риска // Вестник МГСУ. 2010. № 2. С. 164-168.
11. СМП «Нострой» 3.27.3-2014. Освоение подземного пространства. Комплексное использование подземного пространства в мегаполисах.
12. Рекомендации по применению принципов и способов противоаварийной защиты в проектах строительства (методические подходы). Разработаны в соответствии с распоряжением Правительства Москвы от 30 03 2000 г № 289-РП «О разработке нормативно-методических документов по разделу «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны. Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций» в проектах строительства». Москва, 2004.
13. ГОСТ 27.310-95 Надежность в технике (ССНТ). Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.
14. Ерёмин К. И. [и др.] Реестр аварий зданий и сооружений 2001-2010 годов / Российская акад. архитектуры и строит. наук. - Москва: [б. и.], 2011.
15. Тамразян А.Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2012. №2.С. 21-27.
16. ГОСТ Р 42.2.01-2014 Гражданская оборона. Оценка состояния потенциально опасных объектов, объектов обороны и безопасности в условиях воздействия поражающих факторов обычных средств поражения. Методы расчета.
17. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. 2-е изд. М.: Статистика, 1980.
18. СП 58.13330.2019 Гидротехнические сооружения. Основные положения СНиП 33-01-2003.
19. Колыбин И.В. Уроки аварийных ситуаций при строительстве котлованов в городских условиях // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2008. – № 12. (СПб.: Геореконструкция-Фундаментпроект).
20. Чунюк Д.Ю. Обеспечение безопасности и снижение рисков в геотехническом строительстве // Вестник МГСУ, 2008, №2. С. 107-111.

## Авторы:

Дмитрий Евгеньевич РАЗВОДОВСКИЙ, канд. техн. наук, заместитель директора НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва  
Dmitry RAZVODOVSKY, Ph. D. (Engineering), Deputy director of NIIOSP named after N. M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: 79165206707@yandex.ru

Андрей Викторович СКОРИКОВ, канд. техн. наук, заведующий лабораторией методов расчета подземных сооружений и геотехнического прогноза НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

Andrey SKORIKOV, Ph.D. (Engineering), Head of the Laboratory of methods for calculating underground structures and geotechnical forecasting of NIIOSP named after N. M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: andr-stab@mail.ru

Ирина Алексеевна РАЗВОДОВСКАЯ, старший научный сотрудник лаборатории методов расчета подземных сооружений и геотехнического прогноза НИИОСП им. Н. М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

Irina RAZVODOVSKAYA, Senior researcher of the Laboratory of methods for calculating underground structures and geotechnical forecasting of NIIOSP named after N. M. Gersevanov JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: razv2006@rambler.ru