УДК 624.046.5(083.75) DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.04-10

Еще раз о проблеме защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения

Павел Георгиевич ЕРЕМЕЕВ, доктор технических наук, профессор, e-mail: eremeevpg@rambler.ru

Иван Иванович ВЕДЯКОВ, доктор технических наук, профессор, e-mail: vedyakov@tsniisk.ru

ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ Строительство», 109498 Москва, 2-я Институтская, 6

Аннотация. *Рассмотрены причины и механизмы аварий, приводящих к прогрессирующему обрушению строительных конструкций. Выявлены противоречия между требованиями различных нормативных документов по этой проблеме. Показано, что предотвращение прогрессирующего обрушения не может быть решено одинаково для всех типов объектов. Предложены превентивные мероприятия по обеспечению сопротивления конструкций прогрессирующему обрушению без условных расчетов с исключением из работы ключевых элементов. Показано на конкретных примерах проектов, что данную проблему невозможно решить универсальными методами. Выявлена необходимость разработки системы четкой нормативной документации (своды правил и рекомендации) по вопросу учета прогрессирующего обрушения для различных типов зданий и сооружений.*

Ключевые слова: *прогрессирующее обрушение, аварии строительных конструкций, нормативные документы, превентивные мероприятия.*

ONCE AGAIN ABOUT THE PROBLEM OF PROTECTING BUILDINGS AND STRUCTURES FROM PROGRESSIVE COLLAPSE

Pavel G. YEREMEYEV, e-mail: eremeevpg@rambler.ru

Ivan I. VEDYAKOV, e-mail: vedyakov@tsniisk.ru

Research Center of Construction, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V. A. Koucherenko, 2-ya Institutskaya ul., 6, Moscow 109428, Russian Federation

Abstract. *The causes and mechanisms of accidents leading to the progressive collapse of building structures are considered. The contradictions between the requirements of various regulatory documents on the problem of progressive collapse are revealed. It is shown that the prevention of progressive collapse cannot be solved in the same way for all types of objects. Preventive measures are proposed to ensure the resistance of structures to progressive collapse without conditional calculations with the exclusion of key elements from the work. It is shown on concrete examples of projects that this problem cannot be solved by universal methods. The necessity to develop a system of clear regulatory documentation (codes of rules and recommendations) on the issue of accounting for progressive collapse for various types of buildings and structures is revealed.*

Key words: *progressive collapse, failures of building structures, regulatory documents, preventive measures.*

В последнее время в АО «НИЦ «Строительство» поступают многочисленные вопросы и замечания от проектных организаций и организаций-заказчиков по проблеме защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Известны многочисленные примеры прогрессирующего обрушения многоэтажных каркасных, крупнопанельных или монолитных жилых и офисных зданий. В исследованиях причины, обусловившие такие обрушения, систематизированы следующим образом [1—7] :

• ошибки при проектировании (неполные инженерно-геологические изыскания, неудачные конструктивные решения, неучет действительной работы конструкций, ошибки в расчетах и при назначении нагрузок, недостатки или нарушение требований нормативных документов, недостаточный контроль выполнения проектных работ, низкая квалификация исполнителей и т. д.);

• погрешности в строительстве (ненадлежащее качество выполнения работ, дефекты материалов, нарушение технологии производства работ, несвоевременная постановка связей, недостаточный контроль выполнения работ, низкая квалификация исполнителей и др.);

• упущения при эксплуатации зданий и сооружений (нарушение правил эксплуатации и сроков капитального ремонта, недостаточный контроль технического состояния конструкций, некомпетентность персонала, отсутствие мониторинга и пр.);

• аварийные воздействия природного характера (ураганы, землетрясения, карстовые провалы, оползни, ливни и т. п.);

• аварийные воздействия техногенного характера (взрывы бытового газа, взрывные устройства, используемые террористами, пожары, удары и т. д.).

Причинами прогрессирующего обрушения производственных зданий в большинстве случаев тоже являются ошибки проектирования, несоблюдение технологии проведения строительно-

© ЕРЕМЕЕВ П. Г., ВЕДЯКОВ И. И., 2021

монтажных работ, применение некачественных материалов, нарушение правил эксплуатации, а также аварийные воздействия техногенного характера.

Для большепролетных сооружений в числе отмеченных причин обрушения в ряде случаев оказалось существенное повышение климатических нагрузок, а также сочетание различных факторов.

Ориентировочное соотношение причин обрушения по различным источникам составило, %:

ошибки проектирования	25—35
дефекты изготовления и монтажа	30—40
неправильная эксплуатация	20—35
низкое качество материалов	10—15
недоработка нормативных документов	4
прочие причины и их сочетание	до 30

Количественный разброс причин отказов может быть объяснен недостаточностью статистического материала, различной методикой и несовершенством оценки причин аварий и т. п. Однако настораживает большая доля ошибок при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Данные сведения позволяют еще раз рассмотреть причины и механизмы аварий в строительстве, связанные с проблемой прогрессирующего обрушения конструкций, чтобы исключить или предотвратить их возникновение, а также с целью актуализации нормативных документов по этому вопросу. Анализ показал, что эти причины в большинстве случаев отвечают различным аварийным ситуациям, в ряде случаев они различаются для неодинаковых типов зданий и сооружений, зачастую аварии являются результатом не одной, а комплекса причин.

Проблема защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения рассмотрена во многих зарубежных [8—14] и отечественных [15—20] нормативных документах, а также научно-технических материалах [21, 22].

Следует отметить, что все зарубежные нормативные документы содержат рекомендации по проектированию с учетом предотвращения прогрессирующего обрушения *только каркасных, крупнопанельных и монолитных многоэтажных жилых и офисных зданий с многократно повторяющейся регулярной сеткой осей.* Таким зданиям посвящено подавляющее большинство научно-технических статей по данной теме.

Нормативно-технические документы, изданные в нашей стране до 2007 г. [15—19], также содержат рекомендации по предотвращению прогрессирующего обрушения только многоэтажных зданий. В 2018 г. введен СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения», который базируется на требованиях Технического регламента о безопасности зданий и сооружений (№ 384-ФЗ от 30.12.2009 г., ст. 16, п. 6, редакция от 02.07.2013).

С 2009 г. Главгосэкспертиза РФ в соответствии с законом № 384-ФЗ установила обязательное требование по расчету на прогрессирующее обрушение всех зданий и сооружений повышенного уровня ответственности (класс КС-3), а после 2018 г. распространила эти требования на здания и сооружения нормального уровня ответственности (класс КС-2) с массовым нахождением людей, что противоречит закону № 384-ФЗ. Требования по предотвращению прогрессирующего обрушения содержатся также в ГОСТ 27751—2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения», СП 56.13330.2011 «СНиП 31-03-2001 Производственные здания», СП 118.13330. 2012 «СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения», СП 132.13330.2011 «Обеспечение антитеррористической защищенности зданий и сооружений. Общие требования проектирования», СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия».

Сравнительный анализ зарубежных и отечественных нормативных документов показал, что если первые характеризуются ясными и точными требованиями по проблеме прогрессирующего обрушения к конструкциям конкретных типов зданий, то вторые зачастую отличаются друг от друга, а иногда содержат противоречия внутри одного документа [5]. Следует обратить внимание на некоторые из них.

Федеральный закон № 384-ФЗ:

- статья 5, ч. 2: «Безопасность зданий и сооружений ... обеспечивается посредством соблюдения требований настоящего Федерального закона и требований стандартов и сводов правил ... или требований *специальных технических условий»* (СТУ). Аналогичная запись относительно СТУ содержится в ст. 5, частях 4, 8, 9 и в ст. 15, ч. 6. Это положение, по нашему мнению, определяет СТУ как нормативный документ, который регулирует в том числе и требования по проблеме прогрессирующего обрушения зданий и сооружений класса КС-3;
- статья 6, ч. 1: «Правительство РФ утверждает перечень национальных стандартов и сводов правил ... в результате применения которых *на обязательной основе* обеспечивается соблюдение требований настоящего федерального закона;

• статья 6, ч. 3: «В перечень ... могут включаться национальные стандарты и своды правил, содержащие ... различные подходы к обеспечению безопасности зданий и сооружений ... В этом случае *застройщик (заказчик) вправе самостоятельно определить*, в соответствии с каким из указанных требований, подходов будет осуществляться проектирование ... здания или сооружения»;

• статья 6, ч. 7: «Национальным органом РФ по стандартизации ... утверждается ... перечень документов ... в результате применения, которых *на добровольной основе* обеспечивается соблюдение требований настоящего федерального закона», этот пункт противоречит ст. 6, ч. 1;

• статья 16, ч. 6: «При проектировании здания или сооружения *повышенного уровня ответственности* должна быть учтена также аварийная расчетная ситуация ... с точки зрения последствий достижения предельных состояний, которые могут возникнуть при этой ситуации (в том числе предельных состояний при ситуации, возникающей в связи со взрывом, столкновением, с аварией, пожаром, а также непосредственно после отказа одной из несущих строительных конструкций)». Это требование неконкретное, открывает возможности произвольного толкования.

ГОСТ 27751:

• пункт 5.2.6: «Расчет на прогрессирующее обрушение проводится для зданий и сооружений класса КС-3, а также *зданий и сооружений класса КС-2 с массовым нахождением людей»*. Под это определение попадают все жилые, офисные, общественные и другие здания высотой 5 этажей и более, а также большинство зрелищных и спортивных объектов, торговых предприятий и т. п. При этом здесь же отмечается, что «*расчет на прогрессирующее обрушение допускается не проводить, если предусмотрены специальные мероприятия*, исключающие прогрессирующее обрушение сооружения или его части».

СП 56.13330:

• пункт 5.1: «... При проектировании следует рассчитывать на прогрессирующее обрушение производственные здания *повышенного уровня ответственности по ГОСТ 27751, а также нормального уровня ответственности с массовым пребыванием граждан»*.

В письме Минстроя России от 29.09.17 г. № 35062-АС/08 указано: «Требование о необходимости расчета на прогрессирующее обрушение всех производственных зданий, установленное в п. 5.1 СП 56.13330.2011 ... является избыточным» и противоречащим федеральному закону № 384-ФЗ.

СП 118.13330:

• пункт 6.3: *«При повышенном уровне ответственности должен быть проведен расчет на аварийную ситуацию, определенную в задании на проектирование*, требования к которой определены в федеральном законе № 384-ФЗ».

Это требование относится только к зданиям и сооружениям повышенного уровня ответственности.

СП 296.1325800:

• пункт 4.5: «Действие аварийных особых воздействий учитывается расчетом сооружений на прогрессирующее обрушение. Действие аварийных особых нагрузок *допускается не учитывать расчетом сооружений на прогрессирующее обрушение, если выполнены проектные, конструктивные и организационные мероприятия, приведенные в 5.11 и указанные в задании на проектирование»*;

• пункт 5.2: «При проектировании сооружений должны быть разработаны сценарии реализации наиболее опасных аварийных расчетных ситуаций и разработаны стратегии для предотвращения прогрессирующего обрушения сооружения при локальном разрушении конструкций ... Перечень сценариев ... *устанавливается техническим заказчиком в задании на проектирование* по согласованию с генеральным проектировщиком». Требование обязательности расчета на прогрессирующее обрушение должно быть установлено в задании на проектирование;

• пункт 5.11: *«Действие аварийных особых нагрузок допускается не учитывать в том случае, если* ... выполнены все следующие требования: проведен расчет сооружения на действие ... особых воздействий, указанных в настоящем своде правил, задании на проектирование и действующих нормативных документах; введены дополнительные коэффициенты условий работы; проведены организационные мероприятия, в том числе в соответствии с СП 132.13330.2011».

Наиболее критикуемое требование ст. 16, ч. 6 закона № 384-ФЗ о необходимости обязательного учета отказа одной из несущих строительных конструкций. В ГОСТ 27751, п. 5.2.6, а также в пп. 3.5, 3.11, 6.26 записано, что расчет на прогрессирующее обрушение допускается не проводить, если предусмотрены специальные мероприятия, исключающие прогрессирующее обрушение сооружения или его части. Аналогичная формулировка приведена в пп. 4.5 и 5.11 СП 296.1325800.

В соответствии со ст. 16, ч. 6 закона № 384-ФЗ аварийная расчетная ситуация должна быть уч-

тена для сооружений повышенного уровня ответственности, так же как и в п. 6.3 СП 118.13330. А согласно п. 5.2.6 ГОСТ 27751 расчет на прогрессирующее обрушение проводится для сооружений класса КС-3 и класса КС-2 с массовым нахождением людей, так же как и по п. 5.1 СП 56.13330.

По ст. 6, ч. 3 закона № 384-ФЗ заказчик вправе самостоятельно определять требования по обеспечению безопасности сооружений. В СП 118.13330, п. 6.3 и СП 296.1325800, п. 5.2 приведен перечень сценариев аварийных расчетных ситуаций в задании на проектирование.

Наиболее спорным, по нашему мнению, является требование закона № 384-ФЗ по обязательности учета во всех случаях отказа одного из несущих элементов конструкции, что не подкреплено никакими конкретными указаниями (к каким типам зданий и сооружений и к каким элементам относится это требование и т. д.), что открывает широкие возможности для его произвольного толкования. Это требование, основанное на последствиях аварий многоэтажных зданий, не может быть применено при проектировании всех типов зданий и сооружений, в частности производственных, большепролетных и других сооружений повышенного уровня ответственности. Еще раз отметим, что во всех зарубежных нормах требование по расчету на прогрессирующее обрушение с учетом отказа одного из элементов относится только к многоэтажным жилым и офисным зданиям.

Эта сложная проблема, связанная с возможными социальными и материальными потерями при разрушении сооружения, не может быть решена одинаково для всех типов объектов. Прогрессирующее обрушение нельзя предотвратить во всех случаях условными расчетами, путем исключения из работы ключевых элементов. При буквальном соблюдении этого требования, стоимость работ существенно возрастает. В нормативном документе [14] дано сопоставление расхода металла (табл. Е-13) для многоэтажного здания с металлическим каркасом с учетом расчета на прогрессирующее обрушение и без него. Расхождение достигало 22—87 %. Кроме того, в ряде случаев при выполнении требования исключения из работы ключевых элементов проектирование таких объектов на современном уровне становится невозможным.

Приведем ряд примеров из практики реального проектирования.

Производственное здание повышенной ответственности (КС-3) с покрытием из ферм пролетом около 60 м, колоннами сечением 1×1 м и шагом 12 м, принятых с учетом технологических требований. При проектировании был рассмотрен сценарий с исключением из работы одной из колонн. В конструктивную схему ввели подстропильные фермы пролетом 24 м, воспринимающие сосредоточенную силу более 20 000 кН. Расход стали возрос в 1,5 раза. При этом невозможно представить какое-либо воздействие, способное разрушить колонну сечением 1 м^2. Если следовать букве закона, то из работы такой конструкции покрытия следует исключить и панель нижнего пояса фермы, что приводит к невозможности реализации проекта.

Покрытие Старого Гостиного двора в Москве в виде арочно-шпренгельной фермы. Здание используется для ответственных мероприятий государственного уровня. Исключение из работы нижнего пояса поперечной фермы, установленной с шагом 12 м, приведет к обрушению покрытия. А введение в конструкцию покрытия дополнительных продольных ферм исказит внешний облик изящной конструкции светопрозрачного покрытия.

Купольное покрытие стадиона «Лужники». Исключение из работы сжатого внутреннего или растянутого наружного контура приведет к обрушению покрытия.

Вантовое покрытие стадиона «Локомотив». Исключение из работы одного из угловых пилонов или одного из несущих тросов вызовет обрушение покрытия. Введение в конструктивную схему дублирующих пилонов или тросов будет выглядеть нелепо.

И таких примеров можно привести бесчисленное множество. Достаточно представить себе любое купольное покрытие с разрушенным опорным кольцом или мост без опоры, чтобы потребовать закрытия практически всех храмов и прекращения движения по всем мостам.

В последние годы в зарубежные нормы введено понятие риска, предложены подходы для определения уровня риск/последствие, оценки проектных мер, в том числе предотвращения прогрессирующего обрушения с учетом ценности и уязвимости сооружения. Отмечено, что никакими экономически оправданными мерами нельзя полностью исключить риск отказа любого несущего элемента. Каждое сооружение имеет некоторую вероятность разрушения. Попытка приблизить эту вероятность к нулю сопровождается стремительным ростом стоимости сооружения [23]. ГОСТ 27751 рекомендует применять вероятностно-статистические методы, в том числе и для обоснования аварийных воздействий. В зарубежных нормах рекомендуется рассматривать и принимать меры против серьезных аварийных случаев с вероятностью возникновения события приблизительно 10^{-4}/в год или больше. Отметим, что вероят-

ность разрушения от террористических нападений оказывается гораздо ниже этого уровня. Сооружения необходимо проектировать, возводить и эксплуатировать так, чтобы ограничивать эффект местного разрушения, предотвращать или минимизировать прогрессирующее обрушение. При этом ущерб, который возникает вследствие аварийных событий, не должен достигать размеров, несоизмеримо больших, чем последствия изначального локального повреждения.

Опыт проектирования и строительства объектов повышенного и нормального уровня ответственности показывает, что существует ряд подходов, которые позволяют обеспечивать сопротивление конструкций прогрессирующему обрушению, без условных расчетов с исключением из работы ключевых элементов. В ряде материалов, в том числе и нормативных, предложены эффективные способы предотвращения прогрессирующего обрушения различных типов зданий и сооружений благодаря применению одного или нескольких мероприятий, соответствующих определенному аварийному воздействию:

• конструктивных — выбор оптимальных конструктивных решений и материалов, избыточная несущая способность ключевых элементов, учет возможности восприятия ключевыми элементами аварийных воздействий;

• превентивных — исключающих, предупреждающих или снижающих до минимума влияние аварийных воздействий, в том числе комплексное обеспечение безопасности и антитеррористической защищенности сооружения;

• контрольных — требования и основные положения показателей качества проектирования, применяемых материалов, изготовления, монтажа и эксплуатации конструкций.

Эти мероприятия для объектов, не относящихся к многоэтажным зданиям, обеспечивают предотвращение прогрессирующего обрушения без снижения уровня их безопасности. По аналогии: немыслимо представить самолет без одного крыла (отказ одного из элементов конструкции). Его безопасность обеспечивают тщательной проектной проработкой системы в целом и всех узлов, выбором подходящих материалов, назначением обоснованных запасов прочности, исследованиями моделей, испытаниями натурных образцов с учетом сложных запроектных воздействий, регулярными техническими осмотрами, нормальной эксплуатацией и т. д.

При проектировании и возведении зданий и сооружений необходим комплексный подход в выборе оптимальных конструктивных решений и материалов, увязанных с функциональным назначением и архитектурными решениями, методами изготовления и монтажа, условиями эксплуатации, строгого контроля на всех этапах строительного процесса. В полном объеме должны выполняться требования проектной надежности, технологичности и экономической эффективности, также необходимо учитывать экологические и социальные факторы. Нарушение одного или нескольких из указанных условий приводит к снижению надежности системы, возможности возникновения аварий (отказов). Важной характеристикой объекта является его способность предотвращать существенные разрушения, обеспечить безопасность людей и возможность их своевременной эвакуации. Решение о выборе варианта защиты здания и сооружения от прогрессирующего обрушения и необходимости учета во всех случаях отказа одного из несущих элементов конструкции должно осуществляться на основе технико-экономического обоснования в каждом конкретном случае заданием на проектирование.

Выводы

1. Выявлены противоречия между требованиями различных нормативных документов по проблеме прогрессирующего обрушения. Показано, что проблема прогрессирующего обрушения не может быть решена одинаково для всех типов объектов.

2. Проанализированы мероприятия, позволяющие обеспечивать сопротивление конструкций прогрессирующему обрушению, без условных расчетов с исключением из работы ключевых элементов.

3. Отмечена необходимость разработки системы четкой нормативной документации, строго регламентирующей состав расчетов или другие способы предотвращения прогрессирующего обрушения зданий и сооружений различных типов.

4. Анализ опыта реального проектирования показал, что эта сложная проблема не может быть решена универсальными методами, что должно быть отражено в сводах правил и рекомендациях по проектированию зданий и сооружений конкретных типов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алмазов В. О.* Проблемы прогрессирующего разрушения // Строительство и реконструкция. 2014. № 6(56). С. 3–10.

2. *Ведяков И. И., Еремеев П. Г., Одесский П. Д.* [и др.]. Анализ нормативных требований к расчету строительных конструкций на прогрессирующее

обрушение // Вестник НИЦ «Строительство». 2019. Вып. 21. С. 15–29.

3. *Еремеев П. Г.* Предотвращение лавинообразного (прогрессирующего) обрушения несущих конструкций уникальных большепролетных сооружений при аварийных воздействиях // Строительная механика и расчет сооружений. 2006. № 2. С. 65–72.
4. *Еремеев П. Г.* Справочник по проектированию современных металлических конструкций большепролетных покрытий. М. : АСВ, 2021. 244 с.
5. *Дробот Д. Ю.* Возможные технологии расчета на прогрессирующее обрушение. [б. м.] : Издательские решения, 2020. 264 с.
6. *Перельмутер А. В.* Прогрессирующее обрушение и методология проектирования конструкций (совершенствование нормативных документов) // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2004. № 6. С. 32–36.
7. *Перельмутер А. В.* О расчетах на прогрессирующее обрушение // Вестник МГСУ. 2008. № 1. С. 119–129.
8. ASCE/SEI 7-10. Minimum design loads for buildings and other structures. C1.4 General structural integrity, C2.5 [Минимальные расчетные нагрузки для зданий и сооружений]. 2010.
9. Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings. NIST [Правила снижения вероятности прогрессирующего обрушения зданий]. 2007.
10. GSA. Alternate path analysis & design guidelines for progressive collapse resistance [Альтернативные методы расчета и рекомендации по проектированию с учетом предотвращения прогрессирующего обрушения]. 2016.
11. EN 1991-1-7-2009. General actions – accidental actions [Воздействия – аварийные воздействия].
12. NBCC. National building code of Canada, part 4, commentary C [Строительные нормы и правила Канады]. 1985.
13. Rules and regulations of the building code of the city of New York. Chap. 18 "Resistance to progressive collapse under extreme local loads" [Предотвращение прогрессирующего обрушения от аварийных воздействий].
14. UFC 4-023-03. Design of buildings to resist progressive collapse [Проектирование зданий, способных противостоять прогрессирующему обрушению]. 2016.
15. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. М. : Москомархитектура, 1999. 19 с.
16. Рекомендации по защите жилых зданий с несущими кирпичными стенами при чрезвычайных ситуациях. М. : Москомархитектура, 2002. 15 с.
17. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. М. : Москомархитектура, 2002. 12 с.
18. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. М. : Москомархитектура, 2005. 75 с.
19. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. М. : Москомархитектура, 2006. 60 с.
20. СТО-36554501-024-2010. Обеспечение безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях. М. : АО «НИЦ «Строительство», 2010. 20 с.
21. *Chang Hong Chena, Yan Fei Zhua, Yao Yaoa, Ying Huangb, Xu Long.* An evaluation method to predict progressive collapse resistance of steel frame structures [Метод оценки для прогнозирования прогрессирующего сопротивления разрушению стальных каркасных конструкций] // Journal of Constructional Steel Research. 2016. No. 122. Pp. 238–250.
22. *Gerasimidisa S., Sideri J.* A new partial-distributed damage method for progressive collapse analysis of steel frames [Новый метод расчета на прогрессирующее обрушение стальных каркасов] // Journal of Constructional Steel Research. 2016. No. 119. Pp. 233–245.
23. *Райзер В. Д.* Теория надежности в строительном проектировании. М. : АСВ, 1998. 304 с.

R E F E R E N C E S

1. Almazov V. O. Problems of progressive destruction. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*, 2014, no. 6(56), pp. 3–10. (In Russian).
2. Vedyakov I. I., Eremeev P. G., Odesskiy P. D. et al. Analysis of regulatory requirements for the calculation of building structures for progressive collapse. *Vestnik NITS "Stroitel'stvo"*, 2019, iss. 21, pp. 15–29. (In Russian).
3. Eremeev P. G. Prevention of avalanche-like (progressive) collapse of load-bearing structures of unique large-span structures during emergency impacts. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2006, no. 2, pp. 65–72. (In Russian).
4. Eremeev P. G. *Spravochnik po proektirovaniyu sovremennykh metallicheskikh konstruktsiy bol'sheproletnykh pokrytiy* [Handbook on the design of modern metal structures of large-span coatings]. Moscow, ASV Publ., 2021. 244 p. (In Russian).
5. Drobot D. Yu. *Vozmozhnye tekhnologii rascheta na progressiruyushchee obrushenie* [Possible technologies for calculating the progressive collapse]. Izdatel'skie resheniya Publ., 2020. 264 p. (In Russian).
6. Perelmuter A. V. Progressive collapse and structural design methodology (improvement of regulatory documents). *Seysmostoykoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzheniy*, 2004, no. 6, pp. 32–36. (In Russian).
7. Perelmuter A. V. About calculations for a progressive collapse. *Vestnik MGSU*, 2008, no. 1, pp. 119–129. (In Russian).
8. ASCE/SEI 7-10. *Minimum design loads for buildings and other structures*. C1.4 General structural integrity, S2.5, 2010.

9. *Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings*. NIST, 2007.
10. GSA. *Alternate path analysis & design guidelines for progressive collapse resistance*, 2016.
11. EN 1991-1-7-2009. *General actions — accidental actions.*
12. NBCC. *National building code of Canada*, part 4, commentary C, 1985.
13. *Rules and regulations of the building code of the city of New York.* Chap. 18 "Resistance to progressive collapse under extreme local loads".
14. UFC 4-023-03. *Design of buildings to resist progressive collapse*, 2016.
15. *Rekomendatsii po predotvrashcheniyu progressiruyushchikh obrusheniy krupnopanel'nykh zdaniy* [Recommendations for preventing progressive collapses of large-panel buildings]. Moscow, Moskomarkhitektura Publ., 1999. 19 p. (In Russian).
16. *Rekomendatsii po zashchite zhilykh zdaniy s nesushchimi kirpichnymi stenami pri chrezvychaynykh situatsiyakh* [Recommendations for the protection of residential buildings with load-bearing brick walls in emergency situations]. Moscow, Moskomarkhitektura Publ., 2002. 15 p. (In Russian).
17. *Rekomendatsii po zashchite zhilykh karkasnykh zdaniy pri chrezvychaynykh situatsiyakh* [Recommendations for the protection of residential frame buildings in emergency situations]. Moscow, Moskomarkhitektura Publ., 2002. 12 p. (In Russian).
18. *Rekomendatsii po zashchite monolitnykh zhilykh zdaniy ot progressiruyushchego obrusheniya* [Recommendations for the protection of monolithic residential buildings from progressive collapse]. Moscow, Moskomarkhitektura Publ., 2005. 75 p. (In Russian).
19. *Rekomendatsii po zashchite vysotnykh zdaniy ot progressiruyushchego obrusheniya* [Recommendations for the protection of high-rise buildings from progressive collapse]. Moscow, Moskomarkhitektura Publ., 2006. 60 p. (In Russian).
20. STO-36554501-024-2010. *Obespechenie bezopasnosti bol'sheproletnykh sooruzheniy ot lavinoobraznogo (progressiruyushchego) obrusheniya pri avariynykh vozdeystviyakh* [Ensuring the safety of large-span structures from avalanche-like (progressive) collapse during emergency impacts]. Moscow, NITs "Stroitel'stvo" Publ., 2010. 20 p. (In Russian).
21. Chang Hong Chena, Yan Fei Zhua, Yao Yaoa, Ying Huangb, Xu Long. An evaluation method to predict progressive collapse resistance of steel frame structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 2016, no. 122, pp. 238–250.
22. Gerasimidisa S., Sideri J. A new partial-distributed damage method for progressive collapse analysis of steel frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 2016, no. 119, pp. 233–245.
23. Rayzer V. D. *Teoriya nadezhnosti v stroitel'nom proektirovanii* [The theory of reliability in construction design]. Moscow, ASV Publ., 1998. 304 p. (In Russian).

Для цитирования: *Еремеев П. Г., Ведяков И. И.* Еще раз о проблеме защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения // Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 8. С. 4—10. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.04-10.

For citation: Yeremeyev P. G., Vedyakov I. I. Once Again About the Problem of Protecting Buildings and Structures from Progressive Collapse. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2021, no. 8, pp. 4—10. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2021.08.04-10.

ВНИМАНИЕ! ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ ЖУРНАЛА

«ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО» В КАТАЛОГАХ:

• УРАЛ-ПРЕСС – **70695** • ПРЕССА РОССИИ – **91622** • ПОЧТА РОССИИ – **ПП983** •

ЮРИДИЧЕСКИЕ ЛИЦА МОГУТ ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ В РЕДАКЦИИ ЖУРНАЛА С ЛЮБОГО МЕСЯЦА И НА ЛЮБОЙ СРОК. ДЛЯ ЭТОГО НУЖНО ПРИСЛАТЬ ПО ЭЛЕКТРОННОЙ ПОЧТЕ ЗАЯВКУ С УКАЗАНИЕМ РЕКВИЗИТОВ ОРГАНИЗАЦИИ.

САЙТ ЖУРНАЛА: **pgs1923.ru**; ЭЛЕКТРОННАЯ ПОЧТА: **pgs@inbox.ru**

ЖУРНАЛ «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО» ИНДЕКСИРУЮТ:

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА eLIBRARY.RU

Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science

ULRICHSWEB™ GLOBAL SERIALS DIRECTORY

САЙТ ЖУРНАЛА «ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»: **www.pgs1923.ru**