



(22)-0439-1

К АНАЛИЗУ ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ЛАВИНООБРАЗНОГО ОБРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ (ЧАСТЬ 1)

В. Ф. Муцанов

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.
E-mail: mvf@donnasa.ru*

Получена 14 апреля 2022; принята 27 мая 2022.

Аннотация. В статье выполнен анализ основных нормативных документов, действующих на постсоветском пространстве стран СНГ, в странах Европейского Союза, США, Великобритании, в рамках которых рассматриваются процедуры проектирования, направленные на предотвращение развития прогрессирующего обрушения. Сравниваются и анализируются различные подходы в формулировках рассматриваемых расчетных ситуаций, конструктивных решений, к критериям несущей способности, параметрам зданий и сооружений, на которые распространяются требования по разработке мероприятий, исключающих развитие прогрессирующего обрушения. Выполнена критическая оценка конструктивных приемов, ориентированных на предупреждение развития прогрессирующего обрушения в конструкциях каркасов многоэтажных зданий, регламентированных нормативными документами. В дополнение к этому выполнен анализ основных научных исследований, направленных как на предупреждение развития лавинообразного обрушения, так и на решение смежных проблем (повышение живучести, снижение вероятности отказа и т. д.). На основе проведенного анализа формулируются актуальные задачи, на которых должны сфокусировать свое внимание исследователи, работающие в этом направлении.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, здания и сооружения, нормы проектирования.

ДО АНАЛІЗУ ОСНОВНИХ ПОЛОЖЕНЬ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ З ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЛАВИНОПОДІБНОГО ОБВАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ (ЧАСТИНА 1)

В. П. Муцанов

*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.
E-mail: mvf@donnasa.ru*

Отримана 14 квітня 2022; прийнята 27 травня 2022.

Анотація. У статті виконано аналіз основних нормативних документів, що діють на пострадянському просторі країн СНД, в країнах Європейського Союзу, США, Великобританії, в рамках яких розглядаються процедури проектування, спрямовані на запобігання розвитку прогресуючого обвалення. Порівнюються і аналізуються різні підходи у формулюваннях розрахункових ситуацій, конструктивних рішень, до критеріїв несучої здатності, параметрів будівель і споруд, на які поширюються вимоги з розробки заходів, що виключають розвиток прогресуючого обвалення. Виконано критичну оцінку конструктивних прийомів, орієнтованих на попередження розвитку прогресуючого обвалення в конструкціях каркасів багатопверхових будівель, регламентованих нормативними документами. На додаток до цього виконано аналіз основних наукових досліджень, спрямованих як на запобігання розвитку лавиноподібного обвалення, так

і на вирішення суміжних проблем (підвищення живучості, зниження ймовірності відмови тощо). За підсумками проведеного аналізу формуються актуальні завдання, на яких мають сфокусувати свою увагу дослідники, які працюють у цьому напрямі.

Ключові слова: прогресуюче руйнування, будівлі та споруди, норми проектування.

TO THE ANALYSIS OF THE MAIN PROVISIONS OF REGULATORY DOCUMENTS FOR THE PREVENTION OF PROGRESSIVE COLLAPSE OF BUILDING STRUCTURES (PART 1)

Vladimir Mushchanov

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

E-mail: mvf@donnasa.ru

Received 14 April 2022; accepted 27 May 2022.

Abstract. The article analyzes the main regulatory documents in force in the post-Soviet space of the CIS countries, the countries of the European Union, the USA, Great Britain, within which design procedures are considered aimed at preventing the development of progressive collapse. Different approaches are compared and analyzed in the formulation of the considered design situations, constructive solutions, to the bearing capacity criteria, parameters of buildings and structures, which are subject to the requirements for the development of measures that exclude the development of progressive collapse. A critical assessment of constructive techniques aimed at preventing the development of progressive collapse in the frame structures of multi-storey buildings, regulated by regulatory documents, has been carried out. In addition to this, an analysis of the main scientific studies aimed both at preventing the development of an avalanche collapse and at solving related problems (increasing survivability, reducing the probability of failure, etc.) was carried out. On the basis of the analysis carried out, actual tasks are formulated, on which researchers working in this direction should focus their attention.

Keywords: progressive collapse, buildings and structures, regulatory documents.

Введение

В соответствии с устоявшимися определениями под лавинообразным (или прогрессирующим) обрушением будем понимать последовательное обрушение конструкций здания (или его части в виде двух или более пролетов, двух и более этажей), потерявших опору в результате локального разрушения отдельных несущих конструктивных элементов.

Примечание: Вместе с тем в свое время в работе [33] отмечалось отсутствие единого определения того, что представляет собой прогрессирующее обрушение даже в стандартах и руководящих принципах проектирования. Выбор интерпретаций термина «прогрессирующее обрушение» приведен в таблице 1.

Как показывает анализ статистики обрушений зданий и сооружений, такой вид разруше-

ния обусловлен наступлением чрезвычайных ситуаций, которые могут иметь как природный характер (повышенные атмосферные нагрузки, сейсмическая активность, деформации основания и др.), так и техногенный (пожары, взрывы, аварии на транспорте), или выражаться через пресловутый человеческий фактор (ошибки в проектировании, дефекты изготовления или монтажа, некачественная эксплуатация и др.).

Принятые для исключения прогрессирующего обрушения меры направлены на повышение живучести конструкции (прежде всего, повышенного уровня ответственности) – свойства объекта сохранять ограниченную работоспособность под влияниями, не предусмотренными условиями эксплуатации, при наличии каких-либо

Таблица 1. К выбору интерпретации термина «прогрессирующее обрушение»

| |
|--|
| «Прогрессирующее обрушение определяется как распространение начального локального разрушения от элемента к элементу, приводящего, в конечном итоге, к обрушению всей конструкции или непропорционально большей ее части». [35] |
| «Прогрессирующее обрушение – это ситуация, когда локальный отказ основного структурного компонента приводит к обрушению соседних элементов, что, в свою очередь, приводит к дополнительному обрушению. Следовательно, полное обрушение непропорционально исходной причине». [7] |
| «Прогрессирующее обрушение – цепная реакция отказов элементов конструкции до степени, несоразмерной первоначальному локальному повреждению». [6] |
| «Непропорциональное обрушение является результатом небольшого повреждения или незначительного воздействия, ведущего к обрушению относительно большей части конструкции... Прогрессирующее обрушение – это распространение повреждений посредством цепной реакции, например, через соседние элементы или этаж за этажом. Часто прогрессирующее обрушение является непропорциональным, но обратное не может быть верным». [36] |
| «Прогрессирующее обрушение – это обрушение, когда начальный отказ одного или нескольких компонентов приводит к серии последующих отказов компонентов, не затронутых исходным действием напрямую, является режимом отказа, который может привести к непропорциональному обрушению». [37] |
| «Прогрессирующее обрушение характеризуется потерей несущей способности относительно небольшой части конструкции из-за аномальной нагрузки, которая, в свою очередь, вызывает каскад отказов, затрагивающих большую часть конструкции». [38] |

эффектов и повреждений, а также при отказе некоторых компонентов объекта.

Примечание: в научной литературе часто встречается термин «непропорциональное обрушение». Под ним будем понимать полное разрушение здания или сооружения или разрушение значительной его части вследствие незначительного локального разрушения.

Основная часть

1. Нормативные документы, базирующиеся на отечественной школе проектирования

В соответствии с п. 5.2.7. [17] расчет на прогрессирующее разрушение при действии особых нагрузок должен проводиться для сооружений I и II классов ответственности. Этим же документом к объектам повышенной ответственности (говоря о многоэтажных зданиях) относятся жилые здания высотой более 75 метров и крупные (с пребыванием более 200 чел. одновременно) административные здания.

Увязывая наступление прогрессирующего обрушения с рассматриваемыми расчетными ситуациями, следует отметить следующие первоочередные моменты [16]:

- необходимость рассмотрения аварийной расчетной ситуации, имеющей (по определе-

нию) малую вероятность появления и небольшую продолжительность, но обуславливающей высокую вероятность наступления катастрофических последствий при наступлении соответствующих предельных состояний;

- осуществлять учет ответственности проектируемого здания (сооружения) за счет назначения соответствующих значений коэффициента надежности по ответственности γ_n .

Анализ существующей нормативной базы в этом направлении позволяет сделать вывод о недостаточной разработанности в отечественной нормативной базе четких рекомендаций по составу и алгоритмам расчетов, направленных на предотвращение наступления прогрессирующего обрушения. Некоторые сведения о требованиях или рекомендациях, содержащихся в отечественных нормативных документах, приведены ниже в таблице 2.

Документ СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения» [9] вобрал в себя, как наиболее «свежий», все рациональные подходы в части проектирования, в том числе многоэтажных зданий, способных противостоять прогрессирующему (лавинообразному) обрушению, в том числе и

Таблица 2. Анализ отечественной нормативной базы

| № п/п | Наименование документа | Основные требования (рекомендации) | |
|-------|---|---|--|
| 1 | 2 | 3 | |
| 1 | Федеральный закон №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» | Ст. 7: строительные конструкции зданий и сооружений должны обладать такой прочностью и устойчивостью, чтобы при разрушении отдельных несущих конструкций или их частей не возникало угрозы причинения вреда здоровью людей. Ст. 16.6: указывается на необходимость учета аварийной ситуации в расчетах зданий и сооружений повышенного уровня ответственности, к которым в соответствии с Градостроительным кодексом относят технически сложные, особо опасные и уникальные объекты. | |
| 2 | ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения | П. 5.2.6: указывается на необходимость выполнения расчета на прогрессирующее обрушение для зданий класса КС-3 и КС-2 при условии большого скопления людей, перечень которых указан в приложении Б. | |
| 3 | Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. – М., 1999. | Материалы носят рекомендательный характер. Оценку проектных решений рассматриваемых в документах объектов предлагается выполнять с помощью кинематического метода теории предельного равновесия. Общими для документов также являются следующие моменты: – анализ отказов элементов выполняется лишь на соответствие требованиям первой группы предельных состояний; – подбор «слабого звена» (элемента с наиболее вероятной возможностью разрушения) выполняется по данным анализа конструктивной схемы при ее рассмотрении в назначаемых проектировщиком аварийных ситуациях. | |
| 4 | Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. – М., 2002. | | |
| 5 | Рекомендации по защите жилых зданий с несущими кирпичными стенами при ЧС. – М., 2002. | | |
| 6 | Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. – М., 2005. | | |
| 7 | Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. – М., 2006. | | |
| 8 | МДС 20-2.2008. Временные рекомендации по обеспечению безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного обрушения / ФГУП «НИЦ «Строительство». – М.: ОАО «ЦПП», 2008. – 16 с. | | |
| 9 | СТО-008-02495342-2009. Предотвращение прогрессирующего обрушения монолитных конструкций зданий. – М., 2009. | | Стандарт разработан специалистами ОАО «ЦНИИпромзданий» и ГУП «МНИИТЭП». Документ имеет уровень стандарта организации и устанавливает правила проектирования железобетонных монолитных конструкций жилых, общественных и производственных зданий, подлежащих защите от прогрессирующего обрушения при аварийных ситуациях. Подчеркивается, что в рамках проектирования таких объектов выполненным статическим расчетом сооружения должны анализироваться расчетные схемы: – исходная – на действие основного сочетания нагрузок, – измененная (при удаленном элементе) – на действие особого сочетания нагрузок, и их анализом должно быть |

Продолжение таблицы 2

| 1 | 2 | 3 |
|----|--|--|
| | | <p>подтверждено отсутствие развития прогрессирующего обрушения.</p> <p>В качестве гипотетического локального разрушения (без какого-либо строгого обоснования) предлагается рассматривать поочередное разрушение колонн первого этажа либо ограниченного участка стены.</p> <p>Предлагаются конструктивно-планировочные решения для достижения цели.</p> |
| 10 | <p>СТО-36554501-024-2010.</p> <p>Обеспечение безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях. – М., 2010.</p> | <p>Стандарт разработан ЛМК ЦНММСК им. В. А. Кучеренко ОАО «НИЦ «Строительство» и имеет статус стандарта организации. Предусмотрены рекомендации общего вида в части:</p> <ul style="list-style-type: none"> – учета лавинообразного обрушения конструкций, обусловленного ошибками проектирования, изготовления, монтажа или ошибками эксплуатации (путем корректировки коэффициента условий работы γ_c для «ключевых» узлов и элементов конструкции); – исключения или предупреждения опасности аварийных воздействий, которым могут подвергнуться конструкция или объект; – выбора оптимальных (рациональных) конструктивных решений и материалов; – проектирования «ключевых» элементов, способных воспринимать аварийные воздействия в дополнение к стандартным проектным нагрузкам и воздействиям); – основных требований по мониторингу состояния несущих конструкций сооружения; – основных требований по организации надлежащей эксплуатации большепролетных сооружений |
| 11 | <p>СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования»</p> | <p>Свод правил разработан АО «ЦНИИЭП жилища – институт комплексного проектирования жилых и общественных зданий».</p> <p>Конструктивные решения, предохраняющие проектируемые объекты от прогрессирующего обрушения, рассмотрены в разд. 8.3 документа.</p> <p>В качестве параметра, характеризующего локальное начальное разрушение, разрушение (удаление) несущих конструкций одного (любого) этажа здания на участке, ограниченном кругом площадью до 80 м² (диаметр 10 м) для зданий высотой до 200 м и до 100 м² (диаметр 11,5 м) для зданий выше 200 м, в следующих случаях:</p> <ul style="list-style-type: none"> а) <i>пересекающихся стен</i> на участках от места их пересечения (в частности, от угла здания) до ближайшего проема в каждой стене или до следующего вертикального стыка со стеной другого направления или на участке указанного размера (при размещении центра круга в месте пересечения стен); б) <i>отдельно стоящей стены</i> (стены) от края до ближайшего проема или на участке указанного размера (при размещении центра круга на краю стены); в) <i>отдельно стоящей стены</i> (стены) от края до ближайшего проема или на участке указанного размера (при размещении центра круга в центре тяжести сечения стены); |

Продолжение таблицы 2

| 1 | 2 | 3 |
|----|--|--|
| | | <p>г) колонн (пилонов) или колонн (пилонов) с примыкающими к ним участками стен, расположенных на участке указанного размера [при размещении центра круга в центре тяжести сечения одной из колонн (пилонна)].</p> <p>Расчет по прочности и устойчивости проводят на особое сочетание нагрузок и воздействий, включающее в себя постоянные и временные длительные нагрузки, а также воздействие на конструкцию здания локальных гипотетических разрушений.</p> <p>Постоянная и длительная временная нагрузки принимаются согласно действующим нормативным документам и принятым проектным решениям с коэффициентами сочетания нагрузок и коэффициентами надежности по нагрузкам, равными 1.</p> <p>Расчетные прочностные и деформационные характеристики материалов принимаются равными их нормативным значениям.</p> <p>Основные средства защиты высотных жилых зданий от прогрессирующего обрушения рекомендуется достигать выполнением соответствующих конструктивных мероприятий:</p> <ul style="list-style-type: none"> – резервированием прочности конструктивных элементов в соответствии с расчетами; – повышением пластических свойств применяемой стали и арматуры, стальных связей между конструкциями (в виде арматуры соединяемых конструкций, закладных деталей, элементов стальных жестких узлов и т. п.); – включением в работу пространственной системы несущих элементов. |
| 12 | <p>МГСН 4.19-2005 «Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве»</p> | <p>Московские городские строительные нормы приняты Правительством Москвы.</p> <p>6.26. При проектировании высотных зданий необходимо учитывать вероятность локальных разрушений несущих конструкций. Эти разрушения не должны приводить к прогрессирующему обрушению здания. Мероприятия по защите от прогрессирующего обрушения приведены в прил. 6.1.</p> <p>6.1.3. Расчет устойчивости здания необходимо производить на особое сочетание нагрузок, включающее постоянные и длительные нагрузки при следующих возможных схемах локальных разрушений:</p> <ul style="list-style-type: none"> – разрушение (удаление) двух пересекающихся стен одного (любого) этажа на участке от их пересечения (в частности, от угла здания) до ближайших проемов в каждой стене или до следующего пересечения с другой стеной длиной не более 10 м, что соответствует повреждению конструкций в круге площадью до 80 м² (площадь локального разрушения); – разрушение (удаление) колонн (пилонов) либо колонн (пилонов) с примыкающими к ним участками стен, расположенных на одном (любом) этаже на площади локального разрушения; – обрушение участка перекрытия одного этажа на площади локального разрушения. |

| 1 | 2 | 3 |
|----|--|--|
| 13 | СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения» | Разработан специалистами ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», АО «ЦНИИПромзданий», ЗАО «ГОРПРОЕКТ», АО МНИИТЭП, ООО «Техрекон». Распространяется на проектирование зданий и сооружений нормального и повышенного уровня ответственности классов КС-2 и КС-3 различных конструктивных систем. |

ДБН В.2.2-24.2009 «Проектирование высотных и гражданских зданий» [10].

Применимость рекомендаций, изложенных в этом документе, в отношении рассматриваемых объектов приведена в таблице 3.

Регламентируемые этим документом мероприятия для высотных зданий в краткой форме могут быть сведены к следующим:

- оценка размеров зоны локального разрушения принята аналогично [8];
- как наиболее рациональные рекомендуются конструктивные меры, повышающие степень статической неопределимости конструкции (повышение неразрезности конструкции, уменьшение числа шарнирных соединений и пр.);
- применение материалов и конструктивных решений, обеспечивающих развитие в конструктивных элементах и их соединениях пластических деформаций. При этом при расчете сооружений на защиту против прогрессирующего обрушения расчетные прочностные характеристики материалов принимают равными их нормативным значениям, а для реконструируемых зданий и сооружений – с учетом результатов обследования;
- критерии несущей способности при соответствующем обосновании следует формировать как для особого предельного состояния. В качестве критериев особого предельного состояния в рассматриваемом расчетном сечении конструкции для стальных конструкций следует принимать относительные предельные деформации:

- для сталей с физическим пределом текучести – 0,025,
- для сталей с условным пределом текучести – 0,010.

Также на повышение сопротивляемости проектируемых конструкций прогрессирующему об-

рушению направлены значения частных коэффициентов надежности, которые рекомендуется принимать при соответствующих расчетах:

– *коэффициенты условий работы:*

нормативные характеристики сопротивления прокатной стали следует принимать по [39] с учетом допустимости работы пластичных сталей за пределом текучести. Коэффициент условий работы особого предельного состояния для пластичных сталей с пределом текучести в соответствии с СП [40] следует принимать равным 1,1;

– *коэффициент надежности по ответственности:*

при расчете сооружений: следует принимать $\gamma_n = 1,0$. Допускается в задании на проектирование назначение заказчиком:

- $\gamma_n = 1,1$ – для зданий высотой от 75 до 200 м, или пролетом от 50 до 120 м, или с консольными конструкциями с вылетом от 10 до 20 м;
- $\gamma_n = 1,2$ – для зданий высотой более 200 м, или пролетом более 120 м, или с консольными конструкциями с вылетом более 20 м;

– *коэффициенты надежности по нагрузке:*

следует принимать $\gamma_f = 1,0$;

– *коэффициенты сочетаний нагрузок:*

следует принимать равными 1,0.

Прогибы изгибаемых элементов конструктивной системы для особого предельного состояния при условии обеспечения минимально допустимой длины зоны опирания во всех случаях не должны превышать $1/50$ длины пролета.

Основные требования к расчетным моделям, формируемые этим документом, можно свести к следующим:

- расчет защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения следует выполнять на сочетание нагрузок C_S^{PO} , включающее постоянные P_d и длительные P_l временные нагрузки, с учетом изменения расчетной схемы сооружения в результате локального разрушения;

Таблица 3. Классификация зданий и сооружений по требованиям к защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения

| Уровень ответственности | Требования к защите | Перечень объектов по уровню ответственности |
|---|---|---|
| 1. Повышенный | 1. Расчетная проверка с использованием пространственных расчетных схем по первому предельному состоянию с удалением одного из несущих элементов, с учетом нормативных характеристик материалов конструкций, физической, геометрической и конструктивной нелинейности. 2. По требованию заказчика в задании на проектирование (в дополнение к необходимым требованиям по несущей способности) могут быть установлены дополнительные требования по обеспечению трещиностойкости и деформативности конструкций сооружения при локальном разрушении. | Перечень (или классификация) особо опасных, технически сложных или уникальных объектов, установленный Федеральным законом от 22 декабря 2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации», статья 48.1, за исключением сооружений, не входящих в область применения настоящего свода правил. |
| 2. Нормальный | Расчетная проверка зданий и сооружений по пространственным расчетным схемам по первому предельному состоянию с удалением одного из несущих элементов (см. раздел 7), с учетом нормативных характеристик материалов конструкций, физической, геометрической и конструктивной нелинейности. | Все сооружения, при проектировании и строительстве которых используются принципиально новые конструктивные решения и технологии, которые не прошли проверку в практике строительства и эксплуатации. Перечень других зданий принимают в соответствии с положениями ГОСТ 27751, за исключением указанных в п.1 настоящей таблицы. |
| 3. Пониженный | Нет требований | Здания и сооружения не перечисленные выше |
| <p>Примечания:</p> <p>1. По требованию заказчика в задании на проектирование (в дополнение к необходимым требованиям по несущей способности) могут быть установлены дополнительные требования, например, по обеспечению трещиностойкости и/или деформативности конструкций сооружения при локальном разрушении.</p> <p>2. Для зданий и сооружений нормального уровня ответственности допускается не выполнять расчет и проектирование защиты от прогрессирующего обрушения в случаях, если их необходимость не указана в приложении и данного документа или нормативных документах, включенных в перечни указанные в Федеральном законе от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (статья 6 части 1, 7)</p> | | |

- использование пространственной расчетной модели, учитывающей взаимодействие с грунтовым основанием;
- учет в расчетной модели элементов, которые при нормальной эксплуатации сооружения являются ненесущими, а при локальном разрушении сооружения активно участвуют в

- перераспределении усилий в элементах конструктивной системы;
- выполнение постадийного расчета, на начальной стадии которого определяется напряженно-деформированное состояние конструкций в доэксплуатационный период и при условиях нормальной эксплуатации, а на

последующих – напряженно-деформированное состояние конструкций, возникающее при локальном разрушении, при условии учета напряжений и деформаций конструкций, возникших в результате нормальной эксплуатации;

- расчет выполнять по деформированной схеме для каждого из рассматриваемых локальных разрушений отдельно;
- учитывать в расчетной модели сооружения реальную диаграмму работы материала конструкций и их стыков, а также возможность возникновения особого предельного состояния;
- использовать для расчета на устойчивость против прогрессирующего обрушения *квазистатический* или *динамический* метод. В случае обеспечения пластичной работы конструктивной системы в предельном состоянии расчет выполнять кинематическим методом теории предельного равновесия.

Говоря о реализации *квазистатического* метода, следует придерживаться следующей последовательности операций [19]:

- определяем напряженно-деформированное состояние элементов конструкции для условий нормальной эксплуатации на основе расчета двух расчетных схем: первичной и вторичной (первичная схема соответствует проектному состоянию объекта, во вторичной схеме удалению подлежит один вертикальный (или горизонтальный) элемент 1-го и 2-го уровней). При этом нагрузки во вторичной расчетной схеме принимаются с коэффициентами надежности и сочетаний, приведенными выше, а мгновенное удаление выключаемого элемента моделируется усилиями, определенными в этом элементе при расчете по первичной расчетной схеме, прикладываемыми во вторичной расчетной схеме с обратным знаком. При статичном догружении системы допускается отсутствие удаляемого элемента моделировать без обратного нагружения;
- выполняем проверку несущей способности оставшихся элементов и узлов конструкции с учетом их характера работы (величин прогибов, податливости опорных узлов и т.д.);
- если по результатам проверки несущая способность каких-либо элементов и узлов не

обеспечена, то производится дальнейшая корректировка расчетной схемы с учетом допущений, приведенных в предыдущем абзаце;

- при дальнейшем нарастании количества элементов или узлов, выходящих из работы, фиксируется наступление лавинообразного прогрессирующего разрушения конструкции.

При использовании кинематического метода предельного равновесия необходимо:

- для каждой расчетной схемы определить наиболее вероятную последовательность выключения из работы элементов (в том числе и вследствие образования пластических шарниров) и узлов и найти возможные обобщенные перемещения w_i по направлению усилий в этих связях. Так как рассматривается наиболее вероятный механизм разрушения, ему будет соответствовать минимум потенциальной энергии на рассматриваемых обобщенных (возможных) перемещениях;
- на основании результатов анализа расчетных схем для каждого из выбранных механизмов разрушения определить предельные усилия, которые могут быть восприняты сечениями всех упруго-пластически разрушаемых элементов и связей S_i , в том числе с образованием пластических шарниров;
- определить равнодействующие G_i внешних сил, приложенных к отдельным неразрушаемым элементам или их частям, и перемещения по направлению их действия u_i ;
- в соответствии с приведенными ниже выражениями определить работы внутренних сил W и внешних нагрузок U на возможных перемещениях рассматриваемого механизма:

$$W = \sum_i S_i w_i, \quad (1)$$

$$U = \sum_i G_i u_i, \quad (2)$$

и выполнить проверку условия равновесия

$$W \geq U. \quad (3)$$

В случае невыполнения условия равновесия для какой-либо из расчетных схем необходимо либо выполнить усиление конструктивных элементов, либо с помощью иных мероприятий (например, учета работы ненесущих элементов в расчетной схеме) добиться выполнения условия равновесия. Поскольку в несущих вертикальных элементах,

расположенных не над зоной локального разрушения, воздействие от локального разрушения приводит к увеличению напряжений и усилий, то необходимо выполнить проверку несущей способности этих элементов.

При использовании *динамического* метода необходимо:

- динамический расчет в нелинейной постановке во временной области выполнять в программных комплексах, реализующих метод конечных элементов и схемы прямого интегрирования по времени (явные или неявные) уравнений динамики;
- расчет выполнять с учетом физической, геометрической и конструктивной нелинейностей при разрушении (обрушении) отдельных частей конструкций;
- в обязательном порядке учитывать в расчетной схеме как общие, так и локальные несовершенства конструкции, включая погиб элементов по длине, отклонении геометрии сечений согласно нормативам на проектирование и изготовление.

В качестве основных конструктивных мер для зданий со стальным каркасом данным документом рекомендуются следующие дополнительные конструктивные мероприятия:

- при проектировании следует исключить возможность хрупкого разрушения конструктивных элементов и их узлов с соблюдением требований, изложенных в [39]. Для исключения сочетания неблагоприятных факторов и с целью обеспечения пластичной работы конструктивной системы следует применять малоуглеродистые и низколегированные стали с относительным удлинением не менее 20%. Для обеспечения пластичной работы узловых соединений это достигается повышением:
 - в болтовых соединениях прочности отдельных болтов на срез в 1,1 раза выше их прочности на смятие;
 - обеспечение пластичной работы сварных соединений в предельном состоянии в соответствии с [39] и [40];
- для повышения пространственной жесткости и устойчивости к прогрессирующему обрушению конструкций со стальным каркасом следует предусматривать эффективную систему связей (рисунки 1 и 2). Связи должны быть запроектированы таким образом, что-

бы они не выключались из работы и допускали без разрушения развитие необходимых деформаций для перераспределения силовых потоков после локального разрушения одного из несущих элементов.

Методическое пособие [19] разработано в развитии СП 385.1325800.2018 и ориентировано на детализацию указаний свода правил. В качестве основных отличительных особенностей данного пособия стоит указать детализацию:

- требований к учету нагрузок,
- требований к назначению прочностных и деформационных характеристик материалов,
- общих положений по проектированию защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения,
- требований к расчетным моделям,
- конструктивных мероприятий.

Также особое внимание в пособии уделено детализации алгоритмов расчета и примерам реализации этих алгоритмов в расчетах различных типов конструктивных систем зданий и сооружений.

Продолжение следует

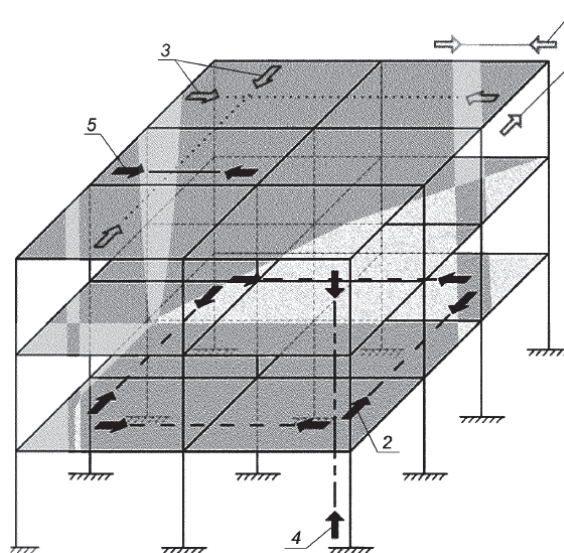


Рисунок 1. Рекомендуемая постановка дополнительных связей: 1 – связи по угловым колоннам, 2 – контурные связи, 3 – внутренние связи, 4 – вертикальные связи, 5 – горизонтальные связи по внешним колоннам или стенам.

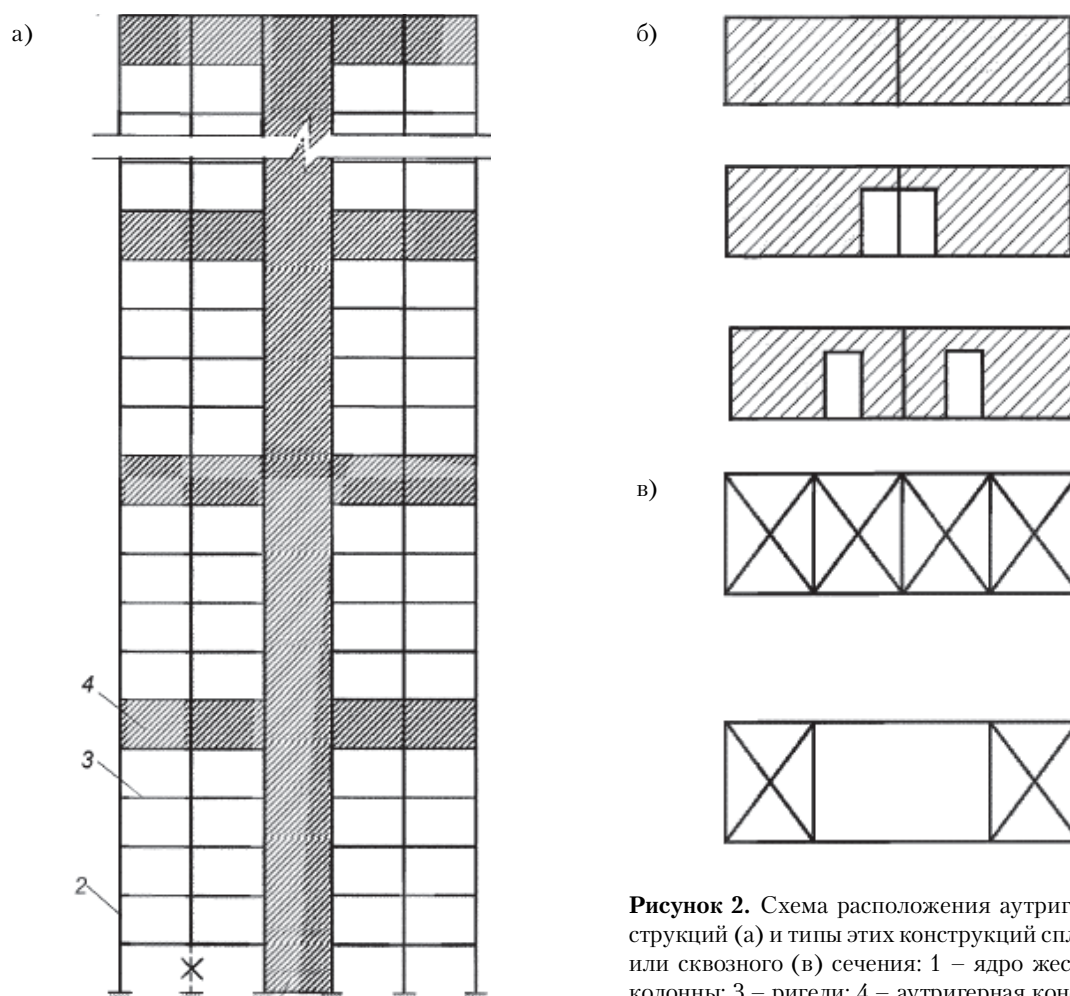


Рисунок 2. Схема расположения аутригерных конструкций (а) и типы этих конструкций сплошного (б) или сквозного (в) сечения: 1 – ядро жесткости; 2 – колонны; 3 – ригели; 4 – аутригерная конструкция.

Литература

1. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения = Reliability for constructions and foundations. General principles : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 декабря 2014 г. № 1974-ст : введен впервые : дата введения 2015-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 14 с. – Текст : непосредственный.
2. EN 1990:2002+A1. Eurocode. Basis of structural design. Supersedes ENV 1991-1:1994; This European Standard was approved by CEN on 29 November 2001. – Brussels : CEN, 2005. – 116 p. – Текст : непосредственный.
3. Уточненные методы расчета и проектирования инженерных сооружений / В. Ф. Мущанов, А. Н. Оржеховский, А. В. Зубенко [и др.]. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный журнал. – 2018. – № 2. – С. 101–115. – doi: 10.18720/MCE.78.8.

References

1. GOST 27751-2014. Reliability for constructions and foundations. General principles. – Moscow : Standardinform, 2015. – 14 p. – Text : direct. (in Russian)
2. EN 1990:2002+A1. Eurocode. Basis of structural design. – Brussels : CEN, 2005. – 116 p. – Text : direct. (in English)
3. Mushchanov, V. F.; Orzhekhovskii, A. N.; Zubenko A. V. [et. al.]. Refined methods for calculating and designing engineering structures. – Text : direct. – In: *Engineering and construction magazine*. – 2018. – № 2. – P. 101–115. – doi: 10.18720/MCE.78.8. (in Russian)
4. Orzhekhovskii, A. N. Features of the stress-strain state and reliability of designed and operated frame-cantilever coatings over the stands of stadiums : Thesis of Ph. D. in Engineering ; Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture. – Makeevka, 2017. – 144 p. – Text : direct. (in Russian)
5. Lepeshkina, D. O. Progressive collapse of buildings and structures. – Text : electronic. – In: *Scientific community of students of the XXI century. Engineering sciences : electronic collection of articles based on the*

4. Оржеховский, А. Н. Особенности напряженно-деформированного состояния и надежность проектируемых и эксплуатируемых рамно-консольных покрытий над трибунами стадионов : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Оржеховский Анатолий Николаевич ; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 2017. – 144 с. – Текст : непосредственный.
5. Лепешкина, Д. О. Прогрессирующее обрушение зданий и сооружений / Д. О. Лепешкина. – Текст : электронный // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки : электронный сборник статей по материалам LXI международной студенческой научно-практической конференции (10–20 декабря 2018 г.). – Новосибирск : Ассоциация научных сотрудников «Сибирская академическая книга», 2018. – № 1(60). – С. 19–36. – URL: [https://sibac.info/archive/technic/1\(60\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/1(60).pdf). (дата обращения: 10.04.2022).
6. UFC 4-023-03. Desiesign of Buildings to Resist Progressive Collapse, with Change 3. Series 4: Multi-disciplinary and facility-specific design / U.S. Army corps of engineers. – Virginia : United States Department of Defense, 2016. – 245 p. – Текст : непосредственный.
7. GSA. Alternate Path Analysis and Design Guidelines for Progressive Collapse Resistance / Office of Design and Construction. – Washington : [S. n.], 2016. – 203 p. – Текст : непосредственный.
8. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования = High rise buildings and complexes. Design rules : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г. № 1032/пр : введен впервые : дата введения 2017-07-01 / разработан Акционерное общество «ЦНИИЭП жилища – институт комплексного проектирования жилых и общественных зданий». – Москва : Стандартинформ, 2017. – 102 с. – Текст : непосредственный.
9. СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения = Protection of buildings and structures against progressive collapse. Design code. Basic statements : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 5 июля 2018 г. № 393/пр : введен впервые : дата введения 2019-06-01 / разработано Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЮЗГУ»), Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений – ЦНИИПромзданий» (АО «ЦНИИПромзданий»), Закрытое акционерное общество «materials of the LXI international student scientific and practical conference». – Novosibirsk : Association of Researchers «Siberian Academic Book», 2018. – № 1(60). – P. 19–36. – URL: [https://sibac.info/archive/technic/1\(60\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/1(60).pdf). (date of the application: 10.04.2022). (in Russian)
10. UFC 4-023-03. Desiesign of Buildings to Resist Progressive Collapse, with Change 3. Series 4: Multi-disciplinary and facility-specific design / U.S. Army corps of engineers. – Virginia : United States Department of Defense, 2016. – 245 p. – Text : direct. (in English)
11. Chapter 18. Resistance to Progressive Collapse under Extreme Local Loads. – In: *Rules and Regulations of the Building Code of the City of New York* / New York State Department of State. – Binghamton : Gould Publication, 2001. – 5 p. – Text : direct. (in English)
12. BS 5950-1:2000. Structural use of steelwork in building (Incorporating Corrigenda Nos. 1 and 2 and Amendment № 1) : 2.4.5 Structural integrity / British Constructional Steelwork Association, Building Research Establishment Ltd, Cold Rolled Sections Association [et. al.]. – London : British Standards Institution, 2008. – 224 p. – Text : direct. (in English)
13. Review of international research on structural robustness and disproportionate collapse / Department for Communities and Local Government. – London : Queen's Printer and Controller of Her Majesty's Stationery Office, 2011. – 200 p. – Text : direct. (in English)
14. Way, A. Structural Robustness of Steel Framed Buildings . – UK, Berkshire : SCI, 2011. – 132 p. – Text : direct. (in English)
15. Khog, E.; Choi, K.; Komkov, V. ; translation from English by S. Yu. Ivanova, A. D. Larichev. Sensitivity Analysis in Structural Design. – Moscow : Mir, 1988. – 428 p. – Text : direct. (in Russian)
16. Russian Federation. Laws. Technical regulation on the safety of buildings and structures : Federal Law № 384-FZ. – St. Petersburg : Codex, 2009. – 24 p. – Text : direct. (in Russian)

- общество «Городской проектный институт жилых и общественных зданий» (ЗАО «ГОРПРОЕКТ») [и др.]. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 24 с. – Текст : непосредственный.
10. ДБН В.2.2-24-2009. Проектирование высотных жилых и общественных зданий. Здания и сооружения : Приложение Е. Методика расчета высотного здания на сопротивление к прогрессирующему обрушению : государственные строительные нормы Украины : утвержден и введен в действие Приказом Минрегионстроя Украины от 12 февраля 2009 г. № 67 : введен впервые : дата введения 2009-09-01 / разработан научно-исследовательским институтом строительного производства. – Киев : Минрегионстрой Украины, 2009. – 105 с. – Текст : непосредственный.
 11. Chapter 18. Resistance to Progressive Collapse under Extreme Local Loads // Rules and Regulations of the Building Code of the City of New York / New York State Department of State. – Binghamton : Gould Publication, 2001. – 5 p. – Текст : непосредственный.
 12. BS 5950-1:2000. Structural use of steelwork in building (Incorporating Corrigenda Nos. 1 and 2 and Amendment № 1) : 2.4.5 Structural integrity / British Constructional Steelwork Association, Building Research Establishment Ltd, Cold Rolled Sections Association [et. al.]. – London : British Standards Institution, 2008. – 224 p. – Текст : непосредственный.
 13. Review of international research on structural robustness and disproportionate collapse / Department for Communities and Local Government. – London : Queen's Printer and Controller of Her Majesty's Stationery Office, 2011. – 200 p. – Текст : непосредственный.
 14. Way, A. Structural Robustness of Steel Framed Buildings / A. Way. – UK, Berkshire : SCI, 2011. – 132 p. – Текст : непосредственный.
 15. Хог, Э. Анализ чувствительности при проектировании конструкций / Э. Хог, К. Чой, В. Комков ; перевод с английского С. Ю. Ивановой, А. Д. Ларищева. – Москва : Мир, 1988. – 428 с. – Текст : непосредственный.
 16. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный Закон № 384-ФЗ : [принят Государственной думой 23 декабря 2009 года : одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 года]. – Санкт-Петербург : Кодекс, 2009. – 24 с. – Текст : непосредственный.
 17. СНИП РФ. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения : проект. – Москва : [Б. и.], 2006. – 28 с. – Текст : непосредственный.
 18. ВНиП МГСН 4.19-2005. Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Правительства Москвы от 28 декабря 2005 г. № 1058-ПП : введен
 17. СНИП РФ. Reliability of building structures and foundations. Fundamentals : project. – Moscow : [S. n.], 2006. – 28 p. – Text : direct. (in Russian)
 18. VNiP MGSN 4.19-2005. Temporary norms and rules for the design of multifunctional high-rise buildings and building complexes in the city of Moscow. – Moscow : GUP NIATS, 2005. – 140 p. – Text : direct. (in Russian)
 19. Designing measures to protect buildings and structures from progressive collapse : manual / JSC TsNIIpromzdaniy, FAU Federal Center for Regulation, Standardization and Conformity Assessment in Construction, CJSC Gorproekt [et. al.]. – Moscow : [S. n.], 2018. – 158 p. – Text : direct. (in Russian)
 20. Ledenev, V. V. High-Rise Buildings : tutorial. – Tambov : TSTU, 2014. – 277 p. – Text : direct. (in Russian)
 21. Raizer, V. D. To the problem of survivability of buildings and structures. – Text : direct. – In: *Structural mechanics and calculation of structures*. – 2012. – № 5. – P. 77–78. (in Russian)
 22. KrasnoShchekov, Yu. V. Scientific basis for research on the interaction of elements of reinforced concrete structures. – Omsk : SSARU, 1997. – 276 p. – Text : direct. (in Russian)
 23. Series 1.020-1/87. Frame structures of interspecific application for multi-storey buildings / Central Research and Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures. – Moscow : Central Research and Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures, 1990. – 20 p. – Text : direct. (in Russian)
 24. Perelmuter, A. V. Selected problems of reliability and safety of building structures. – Moscow : ACU, 2007. – 256 p. – Text : direct. (in Russian)
 25. Kudishin, Yu. I.; Drobot, D. Yu. To the question of the survivability of building structures. – Text : direct. – In: *Structural mechanics and calculation of structures*. – 2008. – № 2. – P. 36–43. (in Russian)
 26. Sventikov, A. A. Evaluation of the progressive destruction of spatial hanging rod coatings. – Text : direct. – In: *Structural mechanics and calculation of structures*. – 2010. – № 5. – P. 34–38. (in Russian)
 27. Raizer, V. D. Theory of Structures Reliability. – Moscow : ACU, 2010. – 384 p. – Text : direct. (in Russian)
 28. Nazarov, Yu. P. To the problem of ensuring the survivability of building structures under emergency impacts. – Text : direct. – In: *Structural mechanics and calculation of structures*. – 2009. – № 4. – P. 5–9. (in Russian)
 29. Tikhonov, I. N.; Kozelkov, M. M. Calculation and design of reinforced concrete monolithic floors of buildings, taking into account protection against progressive collapse. – Text : direct. – In: *Concrete and reinforced concrete*. – 2009. – № 3. – P. 2–8. (in Russian)
 30. Starossek, U.; Haberland, M. Robustness of structures. – Text : direct. – In: *International Journal of Lifecycle Performance Engineering*. – 2012. – № 1. – P. 3–21. (in English)

- впервые : дата введения 2006-02-11 / разработаны ОАО ЦНИИЭП жилища (головная организация), ФГУ ВНИИПО МЧС России, ВАН КБ [и др.]. – Москва : ГУП НИИЦ, 2005. – 140 с. – Текст : непосредственный.
19. Проектирование мероприятий по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения : методическое пособие / АО ЦНИИПромзданий, ФАУ Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве, ЗАО Горпроект [и др.]. – Москва : [Б. и.], 2018. – 158 с. – Текст : непосредственный.
 20. Леденев, В. В. Высотные здания : учебное пособие / В. В. Леденев. – Тамбов : ТГТУ, 2014. – 277 с. – Текст : непосредственный.
 21. Райзер, В. Д. К проблеме живучести зданий и сооружений / В. Д. Райзер. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012. – № 5. – С. 77–78.
 22. Краснощеков, Ю. В. Научные основы исследований взаимодействия элементов железобетонных конструкций / Ю. В. Краснощеков. – Омск : СибАДИ, 1997. – 276 с. – Текст : непосредственный.
 23. Серия 1.020-1/87. Конструкции каркаса межвидового применения для многоэтажных зданий / ЦНИИПромзданий. – Москва : ЦНИИПромзданий, 1990. – 20 с. – Текст : непосредственный.
 24. Перельмутер, А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А. В. Перельмутер. – Москва : АСВ, 2007. – 256 с. – Текст : непосредственный.
 25. Кудишин, Ю. И. К вопросу о живучести строительных конструкций / Ю. И. Кудишин, Д. Ю. Дробот. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 2008. – № 2. – С. 36–43.
 26. Свентиков, А. А. Оценка прогрессирующего разрушения пространственных висячих стержневых покрытий / А. А. Свентиков. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 2010. – № 5. – С. 34–38.
 27. Райзер, В. Д. Теория надежности сооружений / В. Д. Райзер. – Москва : АСВ, 2010. – 384 с. – Текст : непосредственный.
 28. Назаров, Ю. П. К проблеме обеспечения живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях / Ю. П. Назаров. – Текст : непосредственный // Строительная механика и расчет сооружений. – 2009. – № 4. – С. 5–9.
 29. Тихонов, И. Н. Расчет и конструирование железобетонных монолитных перекрытий зданий с учетом защиты от прогрессирующего обрушения / И. Н. Тихонов, М. М. Козелков. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 2009. – № 3. – С. 2–8.
 30. Starossek, U. Robustness of structures / U. Starossek, M. Haberland. – Текст : непосредственный // International Journal of Lifecycle Performance Engineering. – 2012. – № 1. – P. 3–21.
 31. Perelmuter, A. V.; Pichugin, S. F. On assessing the vulnerability of building structures. – Text : direct. – In: *Magazine of Civil Engineering*. – 2014. – № 5. – P. 5–15. – doi: 10.5862/MCE.49.1. (in Russian)
 32. Starossek, Uwe; Haberland, Marco. Approaches to measures of structural robustness. – Text : direct. – In: *Structure and Infrastructure Engineering*. – 2011. – Volume 7, № 7. – P. 625–631. – DOI: 10.1080/15732479.2010.501562. (in English)
 33. Haberland, Marco; Starossek, Uwe. Progressive Collapse Nomenclature. – Text : direct. – In: *Structures*. – 2009. – Volume 1. – P. 1886–1895. (in English)
 34. NISTIR 7396. Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings / National Institute of Standards and Technology (NIST). – USA : Department of Commerce, 2007. – 126 p. – Text : direct. (in English)
 35. ASCE SEI/ASCE 7-05. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures / Structural Engineering Institute. – Washington : American Society of Civil Engineers, 2005. – 408 p. – Text : direct. (in English)
 36. Agarwal, J.; England, J. Recent developments in robustness and relation with risk. – Text : direct. – In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*. – 2008. – Volume 161, Issue 4. – P. 183–188. (in English)
 37. Canisius, T. D. G.; Sorensen, J. D.; Baker, J. D. Robustness of structural system. – A new focus for the Joint Committee on Structural Safety (JCSS). – Text : direct. – In: *Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering : Proceedings of the 10th International Conference*. – Tokyo : CRC Press, 2007. – 632 p. (in English)
 38. Gross, J. L.; McGuire, W. Analysis for Progressive Collapse Resistant Design. – Text : direct. – In: *Journal of Structural Engineering, ASCE*. – 1983. – Volume 109, № 1. – P. 1–15. (in English)
 39. SP 16.13330.2017. Steel structures. – Moscow : Rosstandart, 2017. – 139 p. – Text : direct. (in Russian)
 40. SP 296.1325800.2017. Buildings and structures. Accidental actions. – Moscow : Ministry of Construction, Housing and Communal Services of the Russian Federation, 2017. – 28 p. – Text : direct. (in Russian)

31. Перельмутер, А. В. Об оценке уязвимости строительных конструкций / А. В. Перельмутер, С. Ф. Пичугин. – Текст : непосредственный // Magazine of Civil Engineering. – 2014. – № 5. – С. 5–15. – doi: 10.5862/MCE.49.1.
32. Starossek, Uwe. Approaches to measures of structural robustness / Uwe Starossek, Marco Haberland. – Текст : непосредственный // Structure and Infrastructure Engineering. – 2011. – Volume 7, № 7. – P. 625–631. – DOI: 10.1080/15732479.2010.501562.
33. Haberland, Marco. Progressive Collapse Nomenclature / Marco Haberland, Uwe Starossek. – Текст : непосредственный // Structures. – 2009. – Volume 1. – P. 1886–1895.
34. NISTIR 7396. Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings / National Institute of Standards and Technology (NIST). – USA : Department of Commerce, 2007. – 126 p. – Текст : непосредственный.
35. ASCE SEI/ASCE 7-05. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures / Structural Engineering Institute. – Washington : American Society of Civil Engineers, 2005. – 408 p. – Текст : непосредственный.
36. Agarwal, J. Recent developments in robustness and relation with risk / J. Agarwal, J. England. – Текст : непосредственный // Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings. – 2008. – Volume 161, Issue 4. – P. 183–188.
37. Canisius, T. D. G. Robustness of structural system. – A new focus for the Joint Committee on Structural Safety (JCSS) / T. D. G. Canisius, J. D. Sorensen, J. D. Baker. – Текст : непосредственный // Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering : Proceedings of the 10th International Conference (31 July–3 August, 2007). – Tokyo: CRC Press, 2007. – 632 p.
38. Gross, J. L. Analysis for Progressive Collapse Resistant Design / J. L. Gross, W. McGuire. – Текст : непосредственный // Journal of Structural Engineering, ASCE. – 1983. – Volume 109, №. 1. – P. 1–15.
39. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции = Steel structures : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 126/пр : актуализированная редакция СНиП II-23-81* : дата введения 2017-08-28 / подготовлен Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России). – Москва : Росстандарт, 2017. – 139 с. – Текст : непосредственный.
40. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия = Buildings and structures. Accidental actions : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального

хозяйства Российской Федерации от 3 августа 2017 г. № 1105/пр : введен впервые : дата введения 2018-02-04 / разработан АО «НИЦ «Строительство». – Москва : Минстрой России, 2017. – 28 с. – Текст : непосредственный.

Муцанов Владимир Филиппович – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой теоретической и прикладной механики; проректор по научной работе ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Заслуженный строитель ДНР. Научные интересы: теория надежности, расчет, проектирование и техническая диагностика пространственных металлических конструкций.

Муцанов Володимир Пилипович – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри теоретичної і прикладної механіки; проректор з наукової роботи ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Заслужений будівельник ДНР. Наукові інтереси: теорія надійності, розрахунок, проектування та технічна діагностика просторових металевих конструкцій.

Mushchanov Vladimir – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Theoretical and Applied Mechanics Department, vice-rector on the scientific activity, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Honored Builder of the DPR. Scientific interests: the reliability theory, analyses, designing and engineering diagnostics of spatial metal structures.