

АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К РАСЧЕТУ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ

STANDARD REQUIREMENT ANALYSIS FOR THE PROGRESSIVE COLLAPSE STRUCTURE CALCULATION

И. И. ВЕДЯКОВ, д-р техн. наук

П. Г. ЕРЕМЕЕВ, д-р техн. наук

П. Д. ОДЕССКИЙ, д-р техн. наук

Н. А. ПОПОВ, канд. техн. наук

Д. В. СОЛОВЬЕВ, канд. техн. наук

Необходимость расчета строительных конструкций на прогрессирующее обрушение отражена в ряде законодательных и нормативных документов РФ и часто играет решающую роль при проектировании строительных объектов.

Анализ имеющегося опыта реального проектирования показал, что эта сложная проблема не может быть решена универсальными методами. Ее постановка и решение должны быть отражены в сводах правил и рекомендациях по проектированию зданий и сооружений конкретных типов.

Анализ зарубежных норм показывает, что к отечественным нормам наиболее близким по заложенным принципам и имеющимся расчетным подходам является EN 1991-1-7:2006, в котором предложена развитая и целостная система подходов по обеспечению надежности конструкций зданий и сооружений различных

The need to calculate structures on the progressive collapse is reflected in a number of codes and standards of the Russian Federation and often plays a crucial role in the design.

Analysis of the existing design experience showed that this problem cannot be solved by general methods, its formulation and solution should be reflected in the sets of standards for designing specific buildings and structures.

The analysis of the foreign experience shows that the most similar to Russian standards is EN 1991-1-7: 2006, which proposed a developed and integral system of approaches to ensure the reliability of the structures with different responsibility levels for special impacts (accidental actions), including the strategies to protect structures from progressive collapse.

The problem is that the modern standards discussed in this article have a number of mistakes. Of course the new SP 385.1325800.2018 has positive

уровней ответственности при особых воздействиях, включающая определение стратегий по защите конструкций от прогрессирующего обрушения.

Рассмотренные в статье нормативные документы в области расчетов на прогрессирующее обрушение имеют ряд разночтений и замечаний, требующих устранения. Новый СП 385.1325800.2018 содержит ряд положительных нововведений, в частности, более детальные подходы к конструктивным требованиям при проектировании железобетонных, панельных зданий, но при этом в некоторых случаях противоречит требованиям СП 296.1325800.2017 и ГОСТ 27751-2014. Введение нового СП не только не разрешает имеющиеся недочеты и противоречия в нормативной базе в части учета прогрессирующего обрушения, но только еще больше запутывает ситуацию.

innovations, for example, more detailed approaches to the reinforced concrete design, panel buildings, etc. At the same time, it does not fully take into account the requirements of SP 296.1325800.2017 and GOST 27751-2014. The introduction of a new standard not only does not resolve the existing shortcomings and contradictions in the progressive collapse regulatory framework, but only further confuses the situation.

Ключевые слова:

Здания и сооружения повышенного уровня ответственности, непропорциональное разрушение, особо опасные объекты, промышленные здания, прогрессирующее обрушение, расчет строительных конструкций, уникальные и большепролетные конструкции

Keywords:

Buildings and structures with a high level of responsibility, calculation of building structures, industrial buildings, long-span structures, non-proportional destruction, progressive collapse, unique structures

Введение

В настоящее время проблема расчета строительных конструкций на прогрессирующее обрушение отражена в ряде законодательных и нормативных документов РФ и часто играет решающую роль при проектировании строительных объектов.

Уместно напомнить историю возникновения этой проблемы в мире. Авария жилого дома в Лондоне в 1968 г. выявила возможность обрушения зданий как лавинообразного процесса. После этого в зарубежные строительные нормы были введены требования по обязательному учету воздействий, вызванных непропорциональными местными отказами [1, 2, 3]. Опасность террористических нападений на здания и сооружения была признана после серии взрывов (Центр международной торговли в 1993 г., Оклахома-Сити – в 1995 г., Саудовская Аравия – в 1996 г.; американские посольства в Кении и Танзании в 1998 г., обрушение башен Центра международной торговли в Нью-Йорке 11 сентября 2001 г.). Эти нападения привели к ужесточению американских строительных норм в части защиты зданий от прогрессирующего обрушения, к необходимости учета потенциальной угрозы террористического нападения и разработки проектных мероприятий

по ограничению последствий. Чуть позже для зданий массового строительства в Москве были выпущены рекомендации [4, 5, 6, 7], содержащие требования по предотвращению лавинообразного обрушения, аналогичные зарубежным строительным нормам. Однако все эти рекомендации распространялись только на монолитные и каркасные многоэтажные здания.

В 2009 г. был принят закон РФ №ФЗ-384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», где в статьях 7 и 16 в том числе указано требование о необходимости учета отказа какого-либо элемента конструкции в качестве аварийной расчетной ситуации. Однако это требование не подкреплено никакими нормативными документами, что исключает возможность их выполнения при проектировании сооружений различных типов.

Анализ имеющегося опыта реального проектирования показал, что эта сложная проблема не может быть решена универсальными методами, ее постановка и решение должны быть отражены в рекомендациях по проектированию зданий и сооружений конкретных типов. Требования по предотвращению прогрессирующего обрушения панельных или каркасных высотных зданий не могут быть использованы, например, при проектировании большепролетных пространственных конструкций, промышленных зданий и т.п. Прогрессирующее обрушение разнообразных сооружений нельзя предотвратить условными необоснованными расчетами, путем исключения из работы ключевых элементов. При буквальном соблюдении этого требования, реальное проектирование таких объектов становится невозможным или их цена существенно возрастает.

Приведем ряд примеров из практики реального проектирования, показывающих, к чему приводит требование исключения из работы некоторых ключевых элементов.

1. Производственное здание повышенной ответственности (КС-3) с покрытием из ферм пролетом около 60 м, с колоннами сечением 1,0×1,0 м и шагом 12 м, принятых с учетом технологических требований. При исключении из работы одной из колонн с несущей способностью около 2500 т потребуются ввести в конструктивную схему подстропильные фермы пролетом 24 м и высотой 3,0 м, работающие на сосредоточенную силу около 2000 т (с учетом понижающих коэффициентов). Дополнительный расход стали оказывается около 50 %.

Если следовать «букве закона», то из работы такой конструкции покрытия следует исключать и панель нижнего пояса фермы, что приводит к невозможности реализации проекта.

2. Покрытие Старого Гостиного Двора в Москве, имеющее вид арочно-вантовой фермы. Здание используется для ответственных мероприятий государственного уровня. Исключение из работы нижнего пояса фермы приведет к обрушению покрытия.

3. Вантовое покрытие стадиона «Локомотив» на 30 тыс. зрителей. Исключение из работы одного из угловых пилонов приведет к обрушению покрытия.

4. Покрытие ККЦ «Крылатское». Исключение из работы одного из пилонов также приведет к обрушению покрытия.

И таких примеров можно привести бесчисленное множество.

Анализ действующих нормативных документов

Общеизвестно [8], что главная причина отказов в строительстве — это ошибки проектирования, дефекты изготовления и монтажа; низкое качество материалов и конструкций; неправильная эксплуатация. Разрушения от террористических нападений оказываются гораздо (на несколько порядков) ниже этих причин. Следует отметить, что каждое сооружение имеет некоторую вероятность разрушения. Попытка приблизить эту вероятность к нулю сопровождается стремительным ростом стоимости сооружения [9].

Следствием развития отечественных норм, в том числе в части расчетов на прогрессирующее обрушение, стало внесение ряда требований в ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения». В этом документе приводится классификация сооружений по уровням ответственности; отмечается, что расчет на прогрессирующее обрушение проводится для зданий и сооружений класса КС-3, а также зданий и сооружений класса КС-2 с массовым нахождением людей, что в целом последовательно отражает принципы, заложенные в нормативных документах предыдущих лет. Учитывая нормативные требования и имеющийся отечественный и зарубежный опыт проектирования большепролетных конструкций, в том числе СТО 36554501-024-2010, в ГОСТ 27751-2014 указывается, что расчет на прогрессирующее обрушение допускается не проводить, если предусмотрены специальные мероприятия, которые обычно отражаются в Специальных технических условиях на объект.

Государственная экспертиза в последнее время однозначно трактует требования статьи 16 ФЗ-384 «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений» о необходимости учета аварийной расчетной ситуации при проектировании зданий и сооружений повышенного уровня ответственности (в том числе предельных состояний при ситуации, возникающей в связи со взрывом, столкновением с транспортным средством, с аварией, пожаром, а также непосредственно после отказа одной из несущих строительных конструкций). Именно фраза в скобках: «после отказа одной из несущих строительных конструкций», по мнению экспертов, отражает необходимость обязательного расчета на прогрессирующее обрушение с исключением отдельных несущих элементов колонн зданий. Но следует отметить, что в статье 6 ФЗ-384 указано, что требования указанного Федерального закона обеспечиваются в результате применения национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), входящих в утвержденный правительством перечень обязательных. Кроме того, в статье 15 п. 6 указывается, что безопасность здания или сооружения должна быть обоснована, в том числе требованиями специальных технических условий.

Таким образом, именно соблюдением требований обязательных технических нормативных документов, в частности, ГОСТ 27751-2014 или СТУ, обеспечивается соблюдение требований ФЗ-384.

Повсеместное и непоследовательное введение в своды правил требований о необходимости расчётов конструкций на прогрессирующее обрушение иногда приводит к серьезным противоречиям. Например, в соответствии с п. 5.1 СП 56.13330.2011, фактически все производственные здания необходимо проектировать с учетом сопротивления прогрессирующему обрушению, в том числе и здания класса КС-2. По этому вопросу

Минстроем РФ было опубликовано письмо №35062-АС/08 от 29 сентября 2017 года, где указывается, что в СП 56.13330.2011 будут внесены изменения для устранения этих избыточных требований. Указанный СП внесен в перечень обязательных, и государственная экспертиза обязывает выполнять указанные требования, что ведет к удорожанию таких объектов, а иногда – и к полной нецелесообразности или невозможности реализации инвестиционных проектов.

Анализ зарубежных норм

Проведем анализ некоторых известных зарубежных норм в части обеспечения сопротивления несущих конструкций прогрессирующему обрушению.

В документе UFC [10], разработанном для оборонного ведомства США, требования к проектированию зависят от категории риска (RC) объекта и учитывают следующие подходы к обеспечению устойчивости конструкций к прогрессирующему обрушению:

- Проектирование с учетом дополнительных нагрузок и связевых элементов (затяжек), обеспечивающих передачу усилий из поврежденной части структуры сооружения к неповрежденной части;
- Альтернативный метод, при котором определяются сценарии с исключением несущих элементов из конструкций;
- Обеспечение повышенной локальной несущей способности элементов конструкций; при этом подходе создается повышенная прочность на сдвиг и изгиб колонн и стен по периметру здания для обеспечения дополнительной защиты и уменьшения ущерба в случае возникновения особого воздействия.

Отдельно отмечается, что областью применения альтернативного метода расчета (с удалением отдельных элементов) являются многоэтажные жилые и офисные здания.

Еще одним нормативным документом США является GSA «Альтернативный метод анализа и обеспечение сопротивления прогрессирующему обрушению» [11]. Эти нормы предназначены для создания необходимого уровня защиты от прогрессирующего обрушения федеральных объектов.

Наиболее близким к отечественным нормам является Eurocode. Стратегии, которые можно рассматривать для особых расчетных ситуаций согласно Eurocode 1 BS EN 1991-1-7:2006 [12], схематично представлены на рис. 1.

При этом в первой стратегии – при идентифицированных особых воздействиях – должны быть приняты меры по снижению риска от особых воздействий, включающие следующие мероприятия:

- предотвращение появления воздействия или снижение вероятности появления и/или величины воздействия до приемлемого уровня в процессе проектирования конструкций (например, в зданиях – за счет легкосбрасываемых элементов с малой массой и прочностью, уменьшающих эффект взрыва и т.п.);
- защита конструкции путем уменьшения эффекта от особого воздействия (например, посредством устройства защитных ограждений или барьеров безопасности);
- обеспечение избыточной несущей способности конструкций.

Несущая способность конструкций в этом случае обеспечивается посредством при-

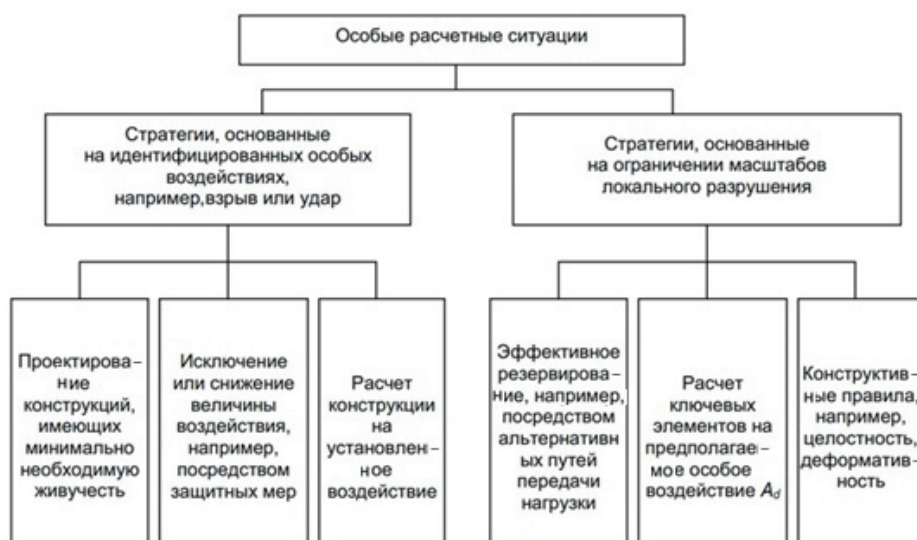


Рис. 1. Стратегии для особых расчетных ситуаций

менения следующих одного или более подходов:

- проектирование определенных элементов конструкции, от которых зависит общая устойчивость конструкции, как ключевых элементов, с целью увеличения вероятности сохранения работоспособного состояния конструкции после реализации особого события;
- расчет конструктивных элементов и выбор материалов, имеющих достаточную деформативность, допускающую поглощение значительной потенциальной энергии без возникновения разрушения;
- создание достаточного запаса несущей способности конструкции с целью обеспечения альтернативных путей передачи нагрузки после реализации особого события.

В некоторых случаях, когда конструкцию невозможно защитить указанными подходами, предупредительные меры могут включать регулярные инспекции и техническое обслуживание в течение срока эксплуатации.

Вторая стратегия по ограничению масштабов локального разрушения может включать один или несколько следующих подходов:

- проектирование ключевых элементов, от которых зависит общая устойчивость здания, например, так, чтобы они были способны воспринимать дополнительные нагрузки, от особых воздействий;
- проектирование конструкций таким образом, чтобы в случае локального разрушения (например, при отказе отдельного элемента) общая устойчивость всей конструкции или ее значительной части была обеспечена;
- применение расчетных/конструктивных правил, обеспечивающих приемлемую несущую способность конструкции (например, применение связей во всех трех направлениях для обеспечения дополнительной целостности или минимальный уровень де-

формативности строительных элементов, подверженных удару).

В EN 1991-1-7:2006 особые расчетные ситуации определяют в зависимости от классов зданий и сооружений по последствиям разрушения. В частности, для повышенного уровня ответственности требуемый уровень надежности конструкций и дополнительные требования к конструктивным расчетам определяются в каждом конкретном случае на основании специальных исследований. В этом случае может потребоваться выполнение анализа рисков (по приложению «В» EN 1991-1-7:2006), а также применение более совершенных методов расчетов, включающих динамический анализ, нелинейные модели и учет взаимодействия между нагрузкой и конструкцией.

Таким образом, в EN 1991-1-7:2006 предложена развитая и целостная система подходов по обеспечению надежности конструкций зданий и сооружений различных уровней ответственности при особых воздействиях, включающая определение подходов, так называемых стратегий по защите конструкций от прогрессирующего обрушения. При этом в предложенных стратегиях в определенных случаях допускается выполнять проектирование без исключения элементов из каркаса здания, и тогда наиболее ответственные элементы следует рассчитывать как «ключевые», с повышенной несущей способностью.

Применяющиеся в мировой практике методы проектирования с учетом сопротивления прогрессирующему обрушению схематично представлены на рис. 2 [13].

Анализ новых нормативных документов

Недавно утвержденный СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия» разработан в развитие имеющегося СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия», а также ГОСТ 27751-2014 и определил нормативные требования к учету экстремальных климатических, взрывных, ударных воздействий на конструкции, в том числе к расчету на прогрессирующее обрушение. В этом Своде правил определены дополнительные коэффициенты надежности в отношении климатических воздействий для различных регионов Российской Федерации, дополнительные коэффициенты условий работы стальных и железобетонных конструкций при расчетах на аварийные воздействия, в том числе на прогрессирующее обрушение.

При разработке требований СП 296.1325800.2017 учтен отечественный и европейский опыт проектирования большепролетных и уникальных конструкций последнего десятилетия в части обеспечения надежности конструкций, в том числе при аварийных воздействиях. В документе приведены требования к учету особых воздействий, которые ранее не находили отражения в сводах правил: экстремальные климатические, ударные нагрузки от автомобильного, железнодорожного подвижного состава, вертолетов и т.д. В разделе 5 приведены общие требования по учету расчетных аварийных ситуаций, в том числе по расчету на прогрессирующее обрушение.

Кроме этого, согласно обсуждаемому документу, для сооружений класса КС-3 допускается разрабатывать конструктивные решения с учетом оценки риска, анализа последствий нормативных и аварийных особых воздействий и затрат, связанных с проведением мероприятий для ограничения площади повреждений.

В приложении «В» СП 296.1325800.2017 определены дополнительные коэффициенты работы для ключевых элементов большепролетных сооружений, для которых не выполняются расчеты на прогрессирующее обрушение. Предложенный в СП подход для большепролетных сооружений в целом похож на имеющийся в EN 1991-1-7:2006, но более дифференцирован в зависимости от типов элементов. При этом следует отметить, что в документе однозначно не определено, какие сооружения должны считаться большепролетными. В развитие предложенного нормативного подхода целесообразно обеспечить возможность применения указанных требований ко всем сооружениям повышенного уровня ответственности (КС-3).

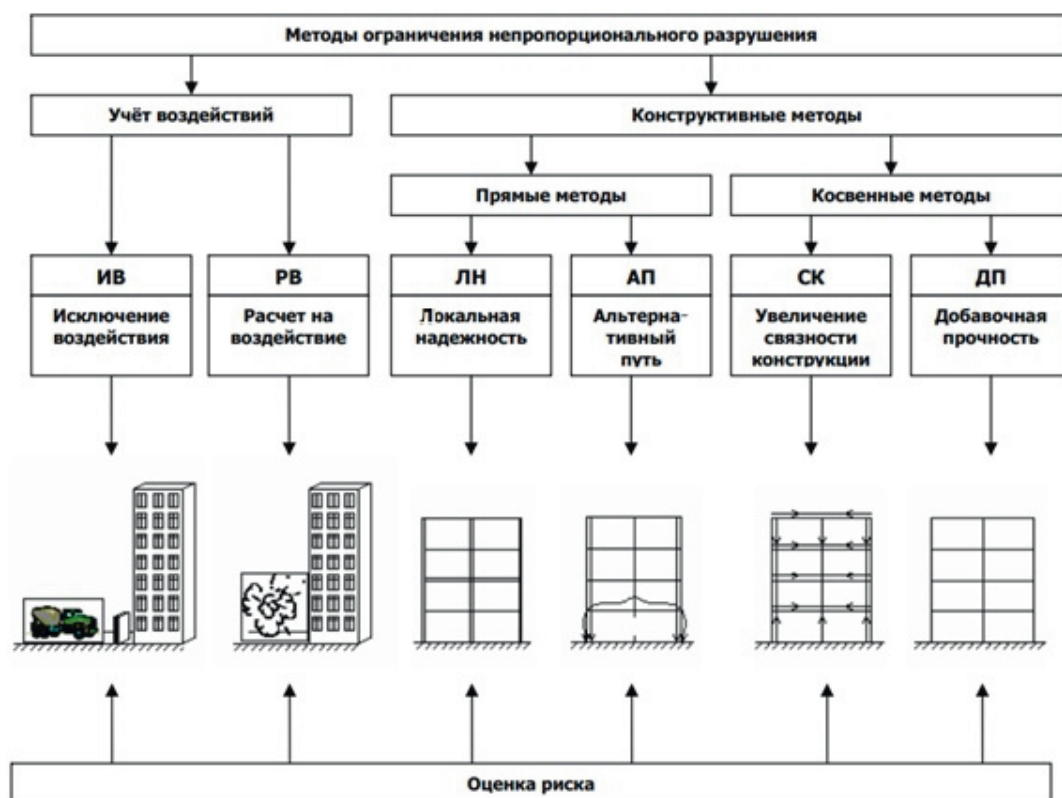


Рис. 2. Методы проектирования с учетом сопротивления прогрессирующему обрушению

Недостатком СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия» можно считать отсутствие каких-либо условий к сценариям и подходам по расчетам на прогрессирующее обрушение с исключением несущих элементов, что в американских нормах называется альтернативным методом расчета.

При этом в указанном Своде правил предусмотрена достаточно четкая структура документа, с возможностью дальнейшего его развития, определены особые нагрузки, предложены базовые требования к расчету на прогрессирующее обрушение.

Недавно утвержден новый СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения». Следует отметить, что уже первый пункт (п. 1.1) этого СП противоречит ГОСТ 27751-2014, так как устанавливает требования к зданиям и сооружениям нормального и повышенного классов КС-2 и КС-3, тогда как в ГОСТ требования по расчету на прогрессирующее обрушение предъявляются к сооружениям класса КС-2 с массовым нахождением людей. Указанный ГОСТ входит в перечень национальных стандартов, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований ФЗ-384.

Предъявление требований по учету сопротивления прогрессирующему обрушению к зданиям и сооружениям нормального уровня ответственности без дополнительных ограничений приводит к тому, что практически все производственные здания на территории РФ перестанут соответствовать предложенному нормативному документу. Труды отечественной науки за последние 100 лет по разработке рациональных конструктивных схем и экономичных типовых каркасов зданий фактически перечеркнуты.

СП 385.1325800.2018 приводит требования к расчетам на прогрессирующее обрушение непоследовательно, не учитывая требования ранее выпущенных документов, в том числе СП 296.1325800.2017.

Кроме отмеченного, указанный СП 385.1325800.2018 имеет ряд недостатков, на которые было обращено внимание авторов в процессе общественных слушаний, но которые не были учтены в финальной версии документа.

Требования к зданиям и сооружениям при их переоборудовании и реконструкции следует детализировать и, возможно, выделить в отдельный блок. В частности, есть ряд требований и вопросов, которые возникают при реконструкции существующих металлургических, нефтеперерабатывающих и др. опасных производств, к которым в соответствии с современными положениями норм предъявляются повышенные требования по ответственности при их модернизации.

Целесообразно предусмотреть возможность разработки превентивных мероприятий, направленных на снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций и прогрессирующего обрушения в соответствии с рекомендациями научно-технического сопровождения, расчетом риска и разработкой СТУ на объект.

В соответствии с требованиями раздела 7, а также приложения «И» обсуждаемого СП расчет конструкций зданий и сооружений на прогрессирующее обрушение следует проводить в геометрически и физически нелинейной постановке, в том числе с учетом грунтового основания.

Здесь следует обратиться к федеральному закону №384, в статье 16 п. 4 которого утверждается, что расчетные модели (в том числе расчетные схемы, основные предпосылки расчета) строительных конструкций и оснований должны отражать действительные условия работы здания или сооружения, отвечающие рассматриваемой расчетной ситуации. При этом наряду с целым рядом факторов отмечается, что должна быть учтена геометрическая и физическая нелинейность. Как следствие указанных требований ФЗ-384, аналогичное требование имеется и в СП 16.13330.2017.

Следует отметить, что для большинства средних и крупных объектов моделирова-

ние и проведение расчетов в такой постановке не всегда обосновано и трудно выполнимо в связи с ограниченностью программных ресурсов и вычислительной мощности современных компьютеров. Для большинства объектов учет физической и геометрической нелинейности просто не требуется, поэтому следует расширить возможные типы моделей в зависимости от типов конструкций и принять возможность использования статического, нелинейного статического или динамического анализа конструкций.

Вернемся к рассмотрению СП 385.1325800.2018 и, в частности, п. 4.6, который не соответствует аналогичным требованиям, ранее приведенным в п. 5.7 СП 296.1325800.2017, в части размеров локальных разрушений. Кроме того, указанный пункт имеет по тексту ошибку, фактически не закончен, поэтому трактуется неоднозначно.

Следует отметить, что в соответствии с Постановлением Правительства РФ №624 от 01.06.2016 г. «Об утверждении Правил разработки, утверждения, опубликования, изменения и отмены сводов правил» при разработке свода правил не допускается дублирование требований национальных стандартов Российской Федерации и других сводов правил.

В п. 4.7 СП 385.1325800.2018 отмечается, что защиту зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения необходимо обеспечивать наиболее рациональными средствами, в частности, применением материалов и конструктивных решений, обеспечивающих развитие в конструктивных элементах и их соединениях пластических деформаций. В п. 7.7 отмечается, что в случае обеспечения пластичной работы конструктивной системы в предельном состоянии расчет на устойчивость против прогрессирующего обрушения проводят кинематическим методом теории предельного равновесия. Известно, что в строительных стальных конструкциях развитие пластических деформаций возможно и в соединениях, и в элементах, что обеспечивается требованиями СП 16.13330 и ГОСТами на сталь, поэтому в части стальных конструкций это требование неактуально.

Пункт 6.3 СП 385.1325800.2018 частично повторяет требования СП 267.1325800.2016 «Здания и высотные комплексы. Правила проектирования» в части назначения коэффициентов надежности по ответственности и в предложенном контексте читается неоднозначно, так как непонятно, к расчету на нормальный режим работы или к расчету на устойчивость против прогрессирующего обрушения допускается принимать повышенные коэффициенты надежности по ответственности.

Пункт 8.1 может трактоваться неоднозначно, так как непонятно, в каком случае должна быть обеспечена повышенная прочность: при расчете на нормальный режим работы или при расчете на прогрессирующее обрушение.

Конструктивные мероприятия, указанные в п. 8.6 СП 385.1325800.2018, для зданий и сооружений со стальным каркасом требуют уточнения, в связи с тем что исключение возможности хрупкого разрушения конструктивных элементов и их узлов определяется соблюдением требований, изложенных в СП 16.13330, и не требует дополнительного включения в обсуждаемый СП.

Включение требований по применению в конструкциях только малоуглеродистых и низколегированных сталей с относительным удлинением не менее 20% фактически ис-

ключает возможность применения всех высокопрочных сталей, у которых относительное удлинение составляет около 14-17% и которые применяются в уникальных, большепролетных, технически сложных объектах. Например, известная башня «Ахмат Тауэр» запроектирована из стали S690 с относительным удлинением 14%, т.е. не соответствует требованиям предложенного СП. Указанное требование в целом нецелесообразно.

Кроме этого, согласно п. 8.6 связи должны быть запроектированы таким образом, чтобы они не выключались из работы и допускали без разрушения развитие необходимых деформаций для перераспределения силовых потоков после локального разрушения одного из несущих элементов. Такое требование не обосновано, противоречит СП 16.13330, так как работа, например, крестовых связей, подразумевает выключение из работы сжатых элементов в нормальном режиме работы, что учитывается при назначении предельной гибкости элементов.

В п. 8.7 предъявляются дополнительные требования к большепролетным конструкциям, при этом не определены параметры большепролетных конструкций. Согласно СП 304.1325800.2017 «Конструкции большепролетных зданий и сооружений. Правила эксплуатации», большепролетная конструкция – строительная конструкция с пролетом 18 м и более для гражданских, 30 м и более – для промышленных зданий и сооружений или с консолью 9 м и более. Указанные в п. 8.7 рекомендации можно отнести ко всем конструкциям, проектируемым на прогрессирующее обрушение.

В приложении «Е» СП 385.1325800.2018 по прогрессирующему обрушению приводятся критерии несущей способности стальных конструкций для особого предельного состояния, по относительным предельным деформациям, которые можно принимать при соответствующем обосновании, при этом не указывается, какие обоснования должны быть приняты. Целесообразно ограничить этот пункт требованиями к расчету только растянутых элементов. Кроме этого, в указанном документе задан предельный прогиб для изгибаемых элементов, который ранее не нормировался.

Таким образом, представленные в СП 385.1325800.2018 требования не проясняют ситуацию с расчетами на особые воздействия, а только вносят определенные разночтения, ограничивают возможность реализации уникальных инженерных решений. Документ не учитывает требования базовых нормативных документов, в частности, ГОСТ на надежность строительных конструкций, не учитывает разъяснения Министерства строительства РФ по вопросам, связанным с сопротивлением прогрессирующему обрушению промышленных зданий.

Представленный в СП 385.1325800.2018 подход с последовательным исключением несущих элементов при расчете конструкций (по аналогии с альтернативным методом UFC) имеет определенные недостатки, которые отмечают как отечественные, так и зарубежные ученые: исключение одного элемента, в частности, несущей колонны, в расчетах на прогрессирующее обрушение не решает вопрос защищенности объекта в целом от взрывов, пожаров и других особых воздействий, поскольку в реальной конструкции, в неблагоприятной ситуации могут пострадать несколько несущих элементов вместо одного определенного в расчетной ситуации.

Рассмотренные в статье нормативные документы в области расчетов на прогресси-

рующее обрушение имеют ряд разночтений и замечаний, требующих устранения. Новый СП 385.1325800.2018 имеет ряд положительных нововведений, в частности, более детальные подходы к конструктивным требованиям при проектировании железобетонных, панельных зданий, при этом не учитывает специфику работы стальных конструкций, нечетко вписан в имеющуюся структуру нормативных документов, не в полной мере учитывает требования СП 296.1325800.2017 и ГОСТ 27751-2014, а в отдельных случаях им противоречит. Введение нового СП не только не разрешает имеющиеся недочеты и противоречия в нормативной базе в части учета прогрессирующего обрушения, но еще больше запутывает ситуацию.

При дальнейшем развитии нормативных документов целесообразно учесть имеющиеся зарубежные подходы, предложить взаимосвязанную систему нормативных требований по проектированию с учетом сопротивления прогрессирующему обрушению.

Перспективным направлением развития норм следующего десятилетия, как отмечают авторы [14, 15], будет оценка рисков и защищенности объектов повышенного уровня ответственности от тяжелых аварий и катастроф. Это неразрывно связано с развитием вероятностных подходов к расчетам несущих конструкций.

Как показывает анализ мирового и отечественного опыта проектирования строительных объектов нормального и повышенного уровня ответственности, в практике проектирования имеется целый ряд расчетных подходов, конструктивных методов и превентивных мер, позволяющих обеспечивать повышенное сопротивление конструкций прогрессирующему обрушению. Проектирование технически сложных, уникальных объектов, в том числе с нетривиальными архитектурными решениями, часто требует гибких подходов и комплексных мер по обеспечению их надежности. Ограничения в действующих нормативных документах приводят к невозможности реализации таких проектов.

Выводы

1. В настоящее время механическая безопасность зданий и сооружений в соответствии со ст. 6 ФЗ-384 обеспечивается стандартами и сводами правил, входящими в утвержденный правительством перечень. При этом следует заметить, что излишняя детализация требований ФЗ-384, в частности, ст. 16, усложняет, а в ряде случаев приводит к невозможности применения действующих нормативных документов при проектировании.

2. Вступающий в силу СП 385.1325800.2018 «Защита зданий и сооружений от прогрессирующего разрушения» находится в определенном противоречии с действующими нормативными документами, в первую очередь ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения», в частности, необоснованно расширяет круг зданий, подлежащих расчету на прогрессирующее обрушение, до уровня ответственности КС-2, а также предлагает излишне общие конструктивные требования, не учитывающие особенностей работы металлических конструкций.

3. В развитие ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» был разработан СП 296.1325800.2017 «Здания и сооруже-

ния. Особые воздействия», где определены особые воздействия и нагрузки и подходы по проектированию зданий и сооружений с учетом сопротивления прогрессирующему обрушению, в том числе без исключения основных несущих конструкций при расчетах. В случае применения СП 385.1325800.2018 параллельно с СП 296.1325800.2017 в нем следует развивать не только альтернативный метод расчета на прогрессирующее обрушение, но также превентивные методы, связанные с обеспечением повышенной несущей способности конструкций, методы учета, предотвращения воздействий и т.д., с учетом мирового опыта в этой области.

4. Предъявляемые в настоящее время в ряде нормативных документов требования по учету прогрессирующего обрушения в значительной мере затрудняют модернизацию отечественных производств, а иногда делают ее невозможной, что, например, имеет место в СП 56.13330.2011 «Производственные здания. Актуализированная редакция СНиП 31-03-2001». Из указанного документа, как и из других узконаправленных сводов правил, следует исключить специальные требования по учету прогрессирующего разрушения, при необходимости, ограничиться ссылками на действующие нормативные документы.

Библиографический список

1. *Burnett E.F.P* The avoidance of progressive collapse: Regulatory approaches to the problem / National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD 20899, 1975.
2. MSO, Ministry of Housing and Local Government. Building Regulations, Statutory Instrument 1976, No. 1676” Her Majesty’s Stationary Office, London, 1976.
3. NYC, Chapter 18, Resistance to Progressive Collapse Under Extreme Local Loads, Appendix A – Rules of the City of New York, Building Code of the New York City, Gould Publications, Binghamton, NY 13901, 2001.
4. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. – М.: НИИЦ, 2002.
5. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. – М.: НИИЦ, 2005.
6. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения: – М.: НИИЦ, 2006.
7. СТО-36554501-024-2010. Обеспечение безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях: – М.: АО «НИЦ Строительство», 2010.
8. *Krishnamurthy N.* Forensic Engineering in Structural Design and Construction / Proseeding of the Third International Congress (SEWC 2007). India. Bangalore, 2007.
9. *Paüzer В.Д.* Теория надежности в строительном проектировании. – М.: АСВ, 1998.
10. UFC 4-023-03 14 July 2009 Change 3, 1 November 2016. Design of buildings to resist progressive collapse.
11. GSA Alternate Path Analysis and Design Guidelines for Progressive Collapse

Resistance. October 24, 2013. Revision 1, January 28, 2016.

12. BS EN 1991-1-7:2006. Eurocode 1. Actions on structures. Part 1-7: «General actions. Accidental actions»

13. *Грачев В.Ю., Вершинина Т.А., Пузаткин А.А.* Непропорциональное разрушение. Сравнение методов расчета. – Екатеринбург: Издательство «Ажур», 2010.

14. *Фортвов В.Е., Махутов Н.А., Москвичев В.В., Фомин В.М.* Машиностроение России: техника Сибири, Севера и Арктики: Монография.– Красноярск: Сиб.федер. ун-т, 2018.

15. *Ведяков И.И., Райзер В.Д.* Надежность строительных конструкций. Теория и расчет. – М.: АСВ, 2018.

Авторы:

Иван Иванович ВЕДЯКОВ, д-р техн. наук, проф., директор ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Ivan VEDYAKOV, D. Sci. (Engineering), Full Professor, Director of TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: vedykov@gmail.com

тел.: +7 (499) 171-26-50

Павел Георгиевич ЕРЕМЕЕВ, д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Pavel YEREMEYEV, D. Sci. (Engineering), Full Professor, Chief Researcher of Steel structures Laboratory, TSNIISK named after V. A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: eremeevpg@rambler.ru

тел.: +7 (499) 174-73-25

Павел Дмитриевич ОДЕССКИЙ, д-р техн. наук, проф., зав. сектором лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Pavel ODESSKIY, D. Sci. (Engineering), Full Professor, Head of Sector of Steel structures Laboratory, TSNIISK named after V. A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: odesskiy@tsniisk.ru

тел.: +7 (499) 174-77-77

Николай Александрович ПОПОВ, канд. техн. наук, зав. лабораторией надежности сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Nikolay POPOV, Ph.D. (Engineering), Head of Laboratory of Facilities Reliability, TSNIISK named after V. A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: popov.nik.a@gmail.com

тел.: +7 (499) 174-77-35

Дмитрий Валерьевич СОЛОВЬЕВ, канд. техн. наук, зав. сектором лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва

Dmitriy SOLOVYEV, Ph.D. (Engineering), Head of Sector of Steel structures Laboratory, TSNIISK named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: DVSolov@yandex.ru

тел.: +7 (499) 171-22-97