



**СТРОИТЕЛЬСТВО,  
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ,  
МАШИНОСТРОЕНИЕ**

*Серия: Инновационные технологии жизненного  
цикла объектов жилищно-гражданского,  
промышленного и транспортного назначения*

Днепропетровск  
2010

<b>Большаков В.И.*</b> , проф. <b>Щербак С.А.*</b> , <b>Елисеева М.А.*</b> , <b>Неведомский В.А.**</b> , <b>Куцин В.С.**</b> , <b>Калиниченко Н.В.*</b> Шлакосодержащие вяжущие и их активация.....	69
<b>Бондаренко М.А.*</b> , <b>Савченко А.А.*</b> , <b>Сухан О.П.*</b> , <b>Макаров О.Є.**</b> Використання сталобетонних колон для підсилення балок перекриття бункеру корпусу 3-4 стадій подрібнення оао «ІНГЗК».....	76
<b>Бусов Ю.Ю.*</b> , <b>Дорофеев Е.Ю.**</b> Непрерывное измерение вязкости продукта в производственном процессе ротационными вискозиметрами.....	79
<b>Верхоглядова Н.І.</b> , <b>Головко Ю.С.</b> Оцінка вартості підприємства в умовах інфляції.....	85
<b>Винников Ю.Л.</b> , <b>Лопан Р.М.</b> Взаємозв'язок модуля деформації ущільнених малозв'язних ґрунтів з їх фізичними характеристиками.....	92
<b>Винников Ю.Л.*</b> , асп. <b>Ярмолюк О.І.**</b> Будівельні властивості ґрунтоцементу за наявності у його складі органічних речовин.....	97
<b>Волкова В.Е.</b> Анализ методов параметрической идентификации динамических систем.....	104
<b>Глуховський В.П.</b> , <b>Мар'єнков М.Г.</b> Віброакустичні методи для інтегральних досліджень Стану будівельних конструкцій.....	110
<b>Головко С. И.</b> , <b>Головко Ю.С.</b> Эффективный метод улучшения строительных свойств грунтовых оснований высоконапорным инъецированием.....	116
<b>Городецкий* А.С.</b> , <b>Барабаш М.С.**</b> Исследование вопросов живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях.....	123
<b>Гуслиста Г.Е.</b> Методика спільного статичного розрахунку системи «споруда – ґрунтовий масив» для будівель, розташованих на схилах.....	128



УДК 624.046

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ЖИВУЧЕСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ АВАРИЙНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

д.т.н., проф. Городецкий\* А.С., к.т.н., доцент Барабаш М.С. \*\*

\* Научно-исследовательский институт строительного производства

\*\* Национальный авиационный университет

В последние годы существенно возрос интерес к проблеме обеспечения живучести (жизнестойкости, robustness) строительных конструкций при аварийных ситуациях.

Термин «робастность» (живучесть) (robustness) означает свойство конструкции противостоять таким событиям, как пожар, взрыв, удар или результат человеческих ошибок, без возникновения повреждений, которые были бы непропорциональны причине, вызвавшей повреждения. И одной из стратегией для ограничения масштабов локального разрушения является применение расчетных/конструктивных правил, обеспечивающих приемлемую живучесть конструкции (например, применение связей во всех трех направлениях для обеспечения дополнительной целостности или минимальный уровень деформативности строительных элементов, подверженных удару).

Установление характеристики «живучесть конструкции» требует:

- проведения анализа уязвимости, что является процессом выявления уязвимых мест, осуществляемый при подготовке к разработке задания на проектирование, учитывающий принятые угрозы, а также вероятные способы их осуществления;

- определения живучести системы, то есть определение время сохранения работоспособности системы в заданных условиях воздействий, в том числе при возникновении чрезвычайной ситуации, которое должно быть обеспечено применением специальных мер, технических мероприятий и проектных решений;

- определения защищенности объекта, то есть назначение совокупности организационно-технических мероприятий, обеспечивающих его охрану.

Так же дополнительную сложность составляет отсутствие единого метода или стратегии, обеспечивающих устойчивость конструкций здания и сооружения к прогрессирующему разрушению при запроектных аварийных воздействиях. Связано это и с различными определениями термина прогрессирующего разрушения, отсутствие четкого количества сценариев возникновения и развития аварийных воздействий и их последствий.

Некоторые российские регламентирующие документы трактуют прогрессирующее обрушение, как разрушение несущих конструкций здания в пределах трех и более этажей или на одном этаже площадью более 80 м<sup>2</sup>, возникающее в результате разрушения отдельного несущего конструктивного элемента вызванного особым воздействием. Европейские нормативные документы не требуют дополнительных отдельных мер и расчетов для

проверки конструктивных элементов и конструктивной системы в целом на прогрессирующее разрушение. В СТБ ЕС 1990-2007 требуется проведение анализа рисков результатом, которого будет вероятностное значение возможных особых воздействий, на которые требуется рассчитать конструктивную схему здания.

Внесение в российские и украинские нормативные документы определенных положений о необходимости учета при проектировании этой проблемы вызывает у некоторых специалистов возражения. Эти возражения, в основном, сводятся к тому, что потребуются значительное увеличение материалоемкости конструкций и, вообще, проблема еще мало изучена и еще рано привлекать к ней внимание проектировщиков. Основная причина сложности данной проблемы заключается, по-видимому, в невозможности обеспечения абсолютной защиты конструкций, поскольку при стремлении вероятности разрушения конструкции к нулю ее стоимость будет возрастать до бесконечности. Как следствие, дискуссии вызывают следующие вопросы, не имеющие общепризнанного решения:

- какие объекты следует проектировать с учетом возможного возникновения аварийных ситуаций и как определить назначенный уровень надежности для сооружения?

- какие виды и параметры неидентифицированных аварийных воздействий, которые необходимо учитывать при проектировании объектов данного класса?

- насколько достаточны предложенные в нормативных документах меры обеспечивающие защиту конструкций от аварийных воздействий и устойчивости против прогрессирующего обрушения?

- каким образом выполнять расчет, и какие виды расчетов конструкций на прочность и устойчивость при аварийных воздействиях требуются?

При выполнении расчета конструктивной системы здания на прогрессирующее обрушение рекомендуется применять следующие расчетные методы (рис.1.):

Методы, направленные на обеспечение сопротивления здания, конструкции или отдельного конструктивного элемента локальному разрушению при аномальном (особом) воздействии, приложенному непосредственно к нему;

Методы, связанные с разработкой т.н. альтернативных (резервных) путей передачи усилий от нагрузки после реализации локального разрушения отдельного конструктивного элемента.

**Ограничение размеров области повреждений при удалении внешней колонны или несущей стены.** При удалении наружной колонны или стены требуется, чтобы площадь обрушения покрытия непосредственно над удаленным элементом была не более 80 м<sup>2</sup> и не более 15% от общей площади покрытия. Перекрытие, располагаемое ниже поврежденного элемента не должно разрушаться. Любое разрушение не должно распространяться за пределы конструкций, играющих второстепенную роль по отношению к удаленному элементу.



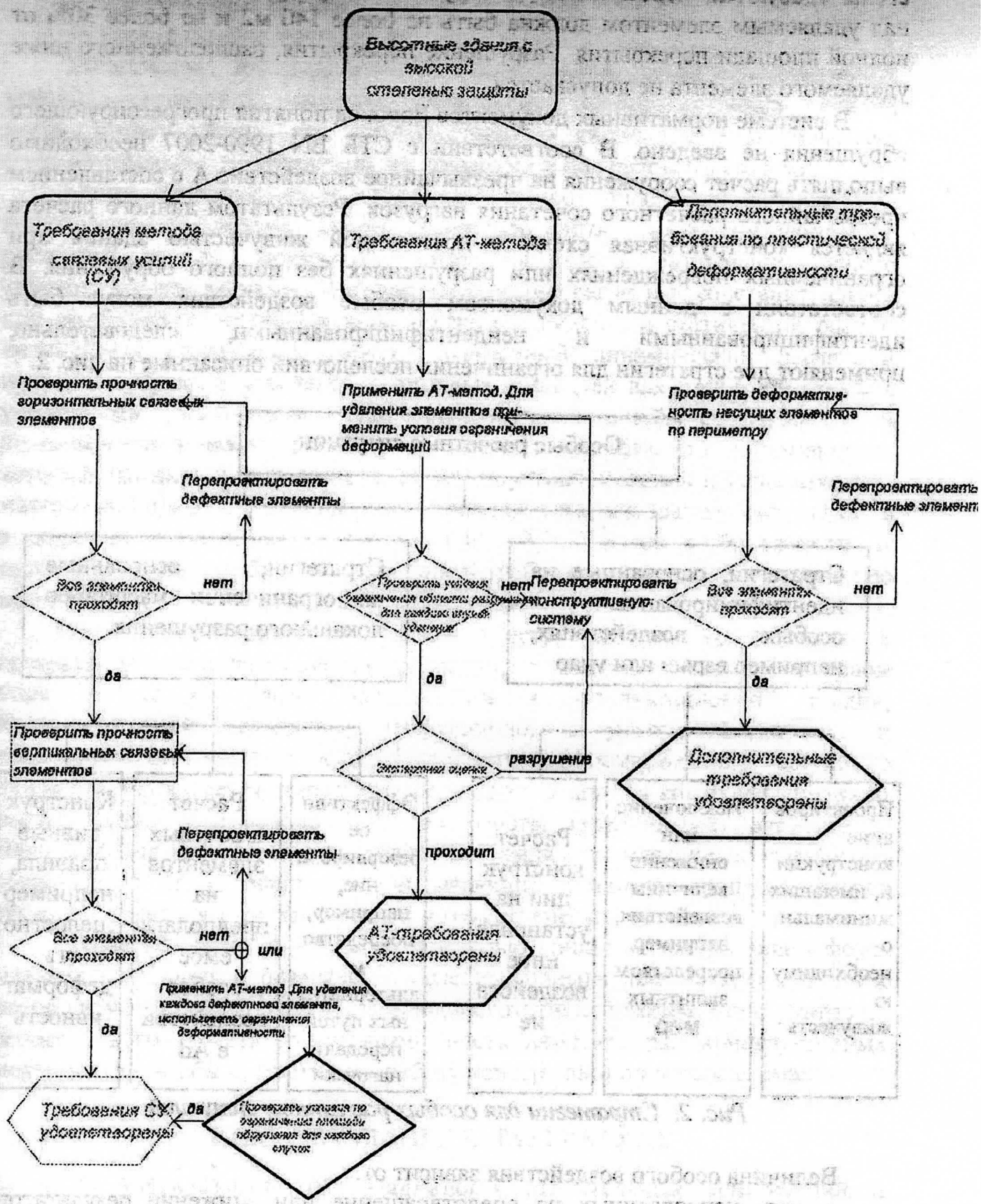


Рис. 1. Алгоритм проверки сопротивления прогрессирующему обрушению для конструктивных систем высотных зданий (высокая степень защиты).

Ограничение размеров области повреждений при удалении внутренней колонны или стены. При удалении внутренней колонны или

стены требуются, чтобы площадь обрушения перекрытия непосредственно над удаляемым элементом должна быть не более 140 м<sup>2</sup> и не более 30% от полной площади перекрытия. Разрушение перекрытия, расположенного ниже удаляемого элемента не допускается.

В системе нормативных документов Еврокод понятия прогрессирующего обрушения не введено. В соответствии с СТБ EN 1990-2007 необходимо выполнять расчет сооружения на чрезвычайное воздействие А с составлением чрезвычайного расчетного сочетания нагрузок. Результатом данного расчета является конструктивная схема с достаточной живучестью здания при ограниченных повреждениях или разрушениях без полного обрушения. В соответствии с данным документом особые воздействия могут быть идентифицированными и неидентифицированными, следовательно, применяют две стратегии для ограничения последствий описанные на рис. 2.

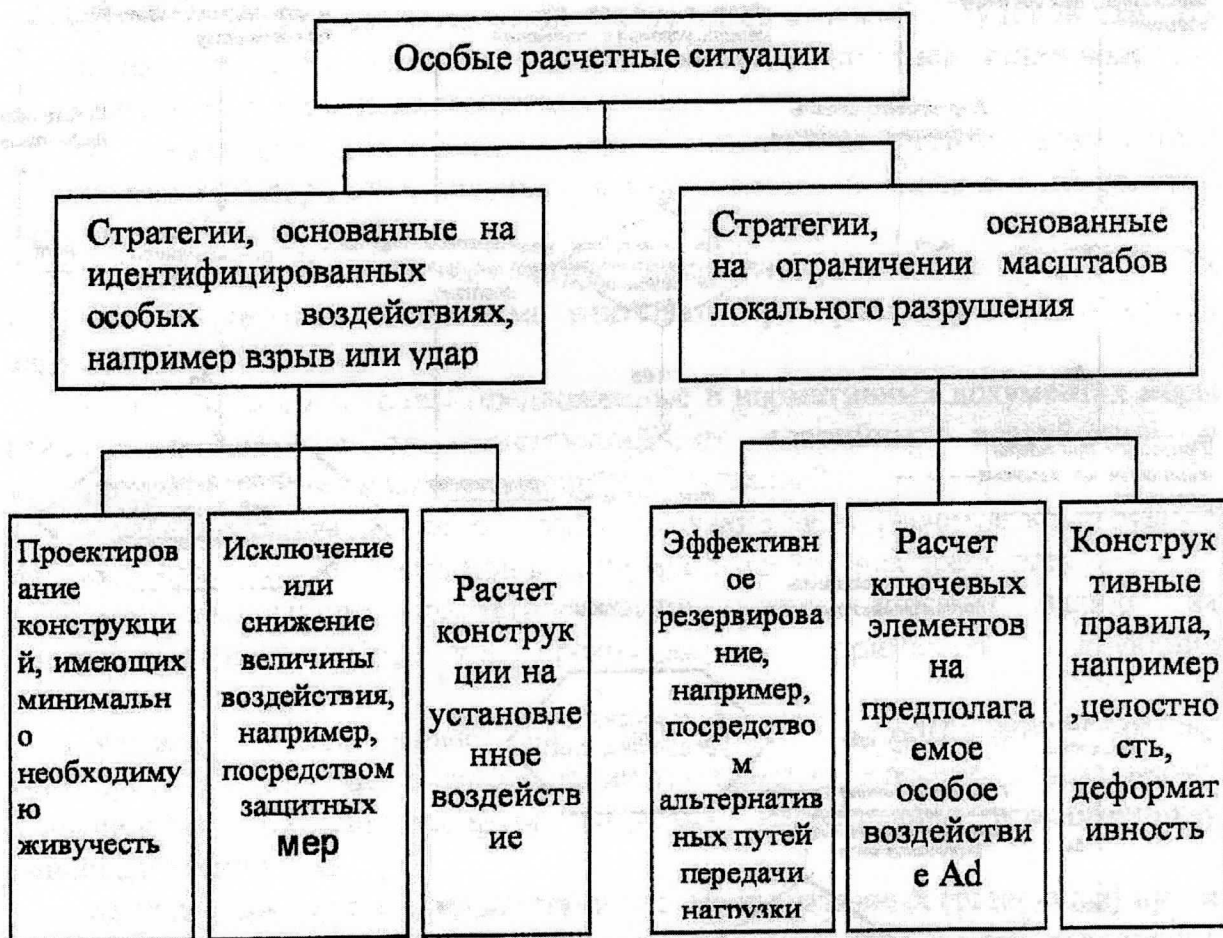


Рис. 2. Стратегии для особых расчетных ситуаций

Величина особого воздействия зависит от:

- мер, направленных на предотвращение или снижение результатов особого воздействия;
- вероятности возникновения идентифицированного особого воздействия;
- последствий разрушения в результате идентифицированного особого воздействия;



- общественной оценки;
- уровня приемлемого риска.

Установлены три стратегии: связевых усилий, метод альтернативных усилий, увеличение местной жесткости. Метод связевых усилий рассматривает здание, как пространственную систему с вертикальными, периметральными, внутренними продольными и поперечными связями.

Метод альтернативных траекторий усилий определяет возможности конструктивной системы здания перераспределить усилия при изменении расчетной схемы сооружения из-за локального разрушения одного конструктивного элемента. В документе описаны расчетные сочетания усилий при выполнении различных видов расчетов: линейный статический расчет, нелинейный статический расчет, нелинейный динамический расчет; и приведены правила определения грузовых площадей для расчетной схемы с удаленными элементами. При выполнении линейно-статического и нелинейно-статического расчетов применяется коэффициент динамичности, который зависит от типа расчета, от конструктивной схемы и используемого материала. Горизонтальная нагрузка, прикладываемая к зданию, определяется в долях от вертикальной нагрузки:  $0.002 \sum P$ . Так же в зависимости от категории здания необходимо выполнить требования раздела по увеличению местной жесткости колонн, стен и конструкций перекрытий.

Предлагается выполнять расчет конструкций на устойчивость к прогрессирующему разрушению проводить по следующей схеме. На первом этапе выполняют расчет конструкции в эксплуатационной стадии, предшествующей локальному разрушению, с учетом физической и геометрической нелинейности. Напряженно-деформированное состояние первого этапа является стартовым для второго этапа, на котором выполняют расчет схемы с выключенными из работы (удаленными) элементами. Нагрузкой на втором этапе являются усилия в удаленных элементах, увеличенные на коэффициент, учитывающий динамику процесса. Расчет также проводят с учетом физической и геометрической нелинейности.

Такой расчет, по сути, является компьютерным моделированием формажорной ситуации и позволяет проследить приспособление конструкции к новой ситуации на основе изменений конструктивной схемы. Конструктор на основе такого расчета имеет возможность наметить ряд конструктивных мероприятий, чтобы организовать работу конструкции по новым схемам.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. СТО 36554501-014-2008 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения». М.: НИЦ «Строительство», 2008.
2. Назаров Ю.П., Городецкий А.С., Симбиркин В.Н. К проблеме обеспечения живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях// Строительная механика и расчет сооружений. — 2009. — №4. — С. 5-9.
3. Городецкий А.С., Барабаш М.С. // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып. №50. - Дн-вск., ПГАСА, 2009.