

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ОБЫЧНЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ

Обоснованы условия полного разрушения типовых жилых зданий при действии обычных средств поражения, что может быть положено в основу совершенствования конструкций зданий и предложений по повышению устойчивости их функционирования.

Ключевые слова: типы жилых зданий, критические элементы, воздействие обычных средств поражения, взрывоустойчивость, прогрессирующее обрушение.

V.A. Sednev, E.I. Koshevaya

FORECASTING TECHNIQUE OF SUSTAINABILITY TO EXPLOSION OF RESIDENTIAL BUILDINGS UNDER THE ACTION OF CONVENTIONAL MEANS OF DESTRUCTION

Justification the conditions of complete destruction of typical residential buildings under the action of conventional weapons that can be used as the basis for improving buildings and proposals for improving the sustainability of their operations.

Key words: types of residential buildings, critical elements, impact of conventional ordnance, sustainability to explosion, progressive collapse.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 29 декабря 2016 г.

Здания, в зависимости от конструктивных особенностей, имеют разную прочность и, следовательно, разную взрывоустойчивость.

Взрывоустойчивость [1] – свойство объекта противостоять воздействию поражающих факторов взрыва обычных средств поражения, которые могут вызвать прогрессирующее обрушение здания или сооружения от локальных разрушений отдельных несущих конструкций.

Под прогрессирующим обрушением понимается [1] распространение начального локального повреждения в виде цепной реакции от элемента к элементу, которое, в конечном счёте, приводит к обрушению всего сооружения или непропорционально большей его части.

Воздействие обычных средств поражения приводит к местным повреждениям несущих конструкций зданий. При этом в одних случаях разрушения этими первоначальными повреждениями и исчерпываются, а в других – несущие конструкции, сохранившиеся в первый момент после воздействия, не выдерживают дополнительной нагрузки, ранее воспринимавшейся поврежденными элементами, и разрушаются. Разрушение последнего типа и есть прогрессирующее обрушение.

При воздействии обычных средств поражения здание получает повреждение конструкций. Существует четыре степени разрушения зданий и сооружений [2]:

слабые – в растянутой зоне бетона и кирпичной кладки появляются трещины;

средние – разрушаются второстепенные элементы здания (перегородки, окна, двери), начинается разрушение сжатой зоны бетона и кирпичной кладки в основных несущих элементах, появляются трещины в стенах;

сильные – сквозные трещины в бетоне несущих элементов, отдельные остаточные прогибы межэтажных перекрытий, но конструкции не обрушиваются;

полные – обрушение и разрушение всех элементов.

Для использования здания в военных целях или размещения пострадавшего населения в военное время может рассматриваться любое состояние здания после воздействия обычных средств поражения, кроме его полного разрушения. Взрывоустойчивость здания обеспечивается его конструктивными особенностями, которые характеризуются наличием критических элементов.

Под **критическим элементом** понимается элемент конструкции, обеспечивающий конструктивную жёсткость и устойчивость здания к прогрессирующему обрушению. Критическими элементами основных типов зданий являются колонны и стены. Их количество, взаимное расположение и конструкционный материал определяют расчётную модель здания.

Для расчёта монолитных и кирпичных зданий на устойчивость перед прогрессирующими обрушениями рекомендуется [3-5] использовать пространственную расчётную модель. В ней могут учитываться элементы, которые при нормальных эксплуатационных условиях являются ненесущими (например, навесные наружные стеновые панели, железобетонные ограждения балконов и т.п.), а при разрушениях критических элементов активно участвуют в перераспределении усилий в элементах конструктивной системы.

Для расчёта панельных зданий на устойчивость перед прогрессирующими обрушениями рекомендуется [6] использовать пространственную расчётную модель в виде системы пластинок (с проемами или без проемов), соединённых между собой сосредоточенными связями, прочность которых эквивалентна прочности фактических связей между панелями (рис. 1).

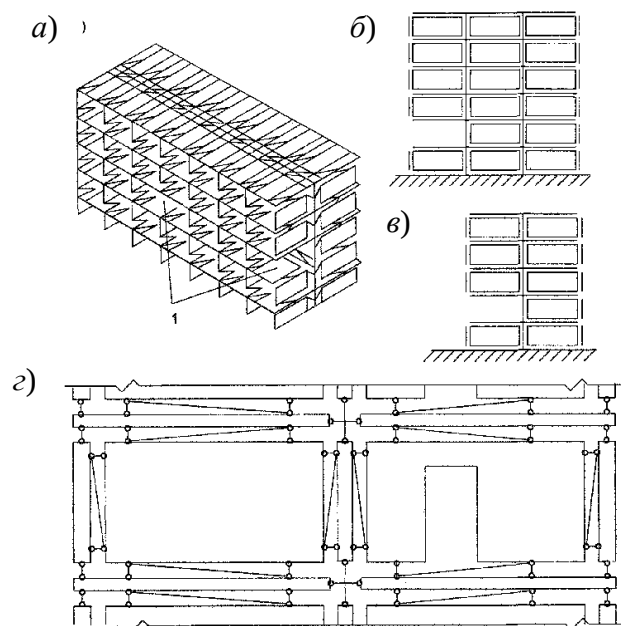


Рис. 1. Расчётная модель здания с локальными разрушениями:
а – аксонометрическая схема; *б, в* – фасад здания с разрушениями;
г – узлы связи элементов; 1 – локальные разрушения

В качестве локального (гипотетического) разрушения следует рассматривать разрушение на одном (любом) этаже здания вертикальных конструкций [2-5]:

а) двух пересекающихся стен 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, но на суммарной длине не более 7 м;

б) отдельно стоящей колонны (пилона);

в) колонны (пилона) с участками примыкающих стен на их длине по п. а.

Для оценки устойчивости здания против прогрессирующего обрушения рекомендуется рассматривать наиболее опасные расчётные схемы разрушения: локальные разрушения, включающие разрушения наружных стен, ослабленных дверными проемами выходов на балконы и лоджии (схемы 1-3 на рис. 2); локальные разрушения, включающие разрушения внутренних стен, слабо связанных с остальными вертикальными конструкциями из-за наличия дверных проемов (схемы 2, 4, 5 на рис. 2), из-за балочной разрезки большепролетных перекрытий (схемы 2, 4, 5 на рис. 2; рис. 3) или из-за частичного отсутствия связей через перекрытия (стены, примыкающие к лестничным клеткам; схема 4 на рис. 2); локальные разрушения, включающие разрушения наиболее нагруженных пилон (колонн) (рис. 3).

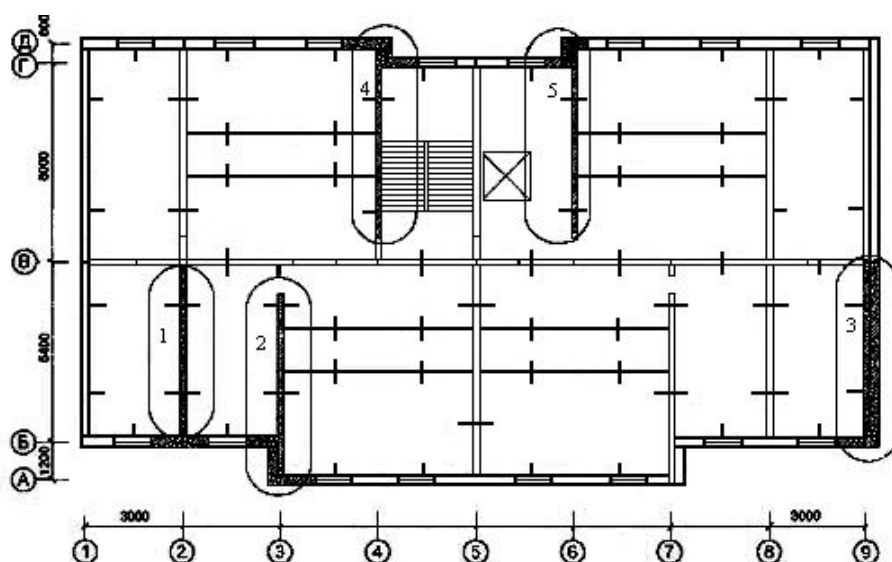


Рис. 2. Варианты расположения локальных разрушений критических элементов панельных и кирпичных зданий:
1, 2 – внутренние стены; 3 – наружные стены; 4, 5 – стены лестничных клеток

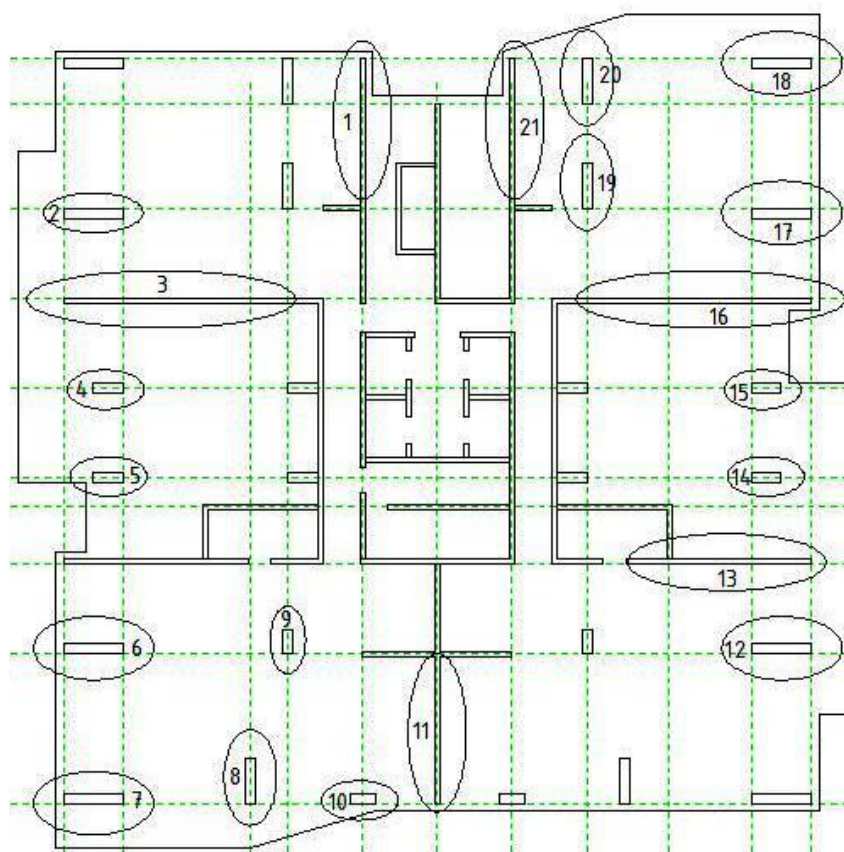


Рис. 3. Варианты расположения локальных разрушений критических элементов монолитного здания

Моделирование разрушения критического элемента выполняется путём его удаления из расчётной схемы здания. Полученные на основании статического расчёта усилия в неразрушенных конструктивных элементах должны сравниваться с предельными усилиями, которые могут быть восприняты этими элементами. Устойчивость здания перед прогрессирующим обрушением обеспечена, если для любого элемента соблюдается условие $F \leq S$, где F и S – соответственно, усилие в конструктивном элементе, найденное из выполненного расчёта, и его расчётная несущая способность.

Устойчивость здания перед прогрессирующими обрушениями проверяется расчётом на особое сочетание нагрузок и воздействий, включающее постоянные и временные длительные нагрузки, а также воздействия гипотетических локальных разрушений несущих конструкций. При этом коэффициенты сочетаний нагрузок и коэффициенты надежности по нагрузкам к постоянным и длительным нагрузкам следует принимать равными единице.

Для определения количества критических элементов, разрушения которых приводит к полному разрушению конкретного типа здания вследствие прогрессирующего обрушения, была выполнена серия расчётов.

Оценка взрывоустойчивости монолитного здания

Несущие конструкции жилого 5-этажного здания выполнены в монолитном железобетоне. План типового этажа здания представлен на рис. 4. Размеры дома в плане составляют – 36×40 м. Конструктивная система здания смешанная, лестнично-лифтовой узел образует ядро жёсткости. За основу расчётной модели принят типовый проект под серией И-1737. Высота этажа $H = 3,2$ м.

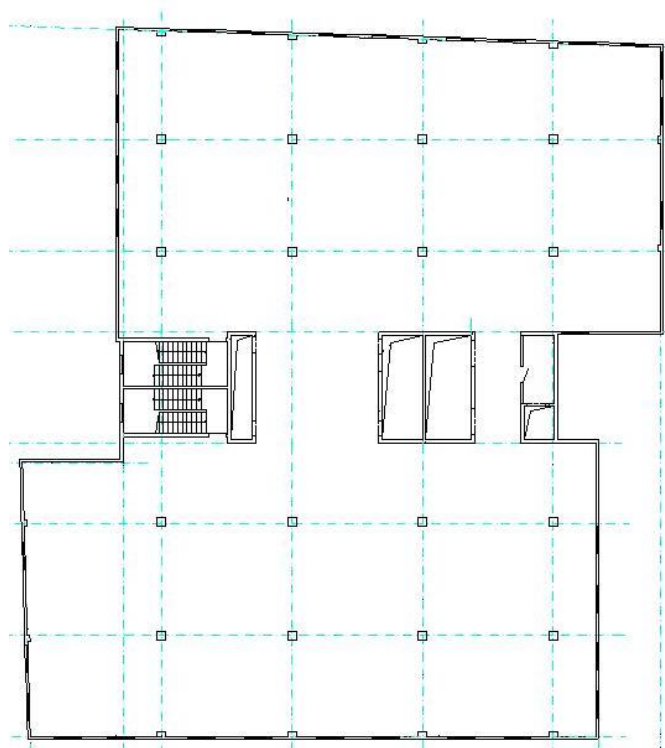


Рис. 4. План типового этажа

Сбор нагрузок производится в соответствии с рекомендациями по учёту нагрузок и воздействий на здания и сооружения [7-8].

Выбор вариантов аварийных воздействий (взрывных нагрузок) на здание предполагал, что такого рода воздействия оказывают наибольшее влияние, когда они происходят либо в углах здания, либо приходится под самые нагруженные вертикальные элементы (рис. 5).

Расчётная схема здания представляет собой монолитные плиты (п.м.) перекрытия, монолитные колонны и монолитные наружные стены (рис. 6).

Расчётная схема аварийного воздействия по вариантам 1, 2 и 3: разрушение колонны в осях Б/2, Б/3, Б/4, В/3, Е/3, Ж/5, Ж/4, Ж/3 в уровне первого этажа, а также разрушение стен в осях 4-5,1/А, А-Б/5,1, А-В/1, 1-2/А, И-Ж/6, 5/1-6/И, 2/1-3/И, И-Ж/2,1 (рис. 5). Количество разрушенных колонн увеличивалось после каждого расчёта до тех пор, пока не установилось состояние полного разрушения. Схема разрушения колонн и стен представлена на рис. 7.

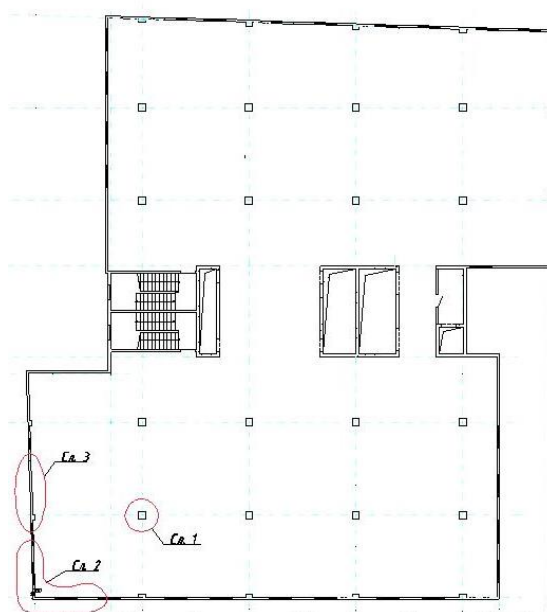


Рис. 5. Схема расположения локальных разрушений типового этажа монолитного здания

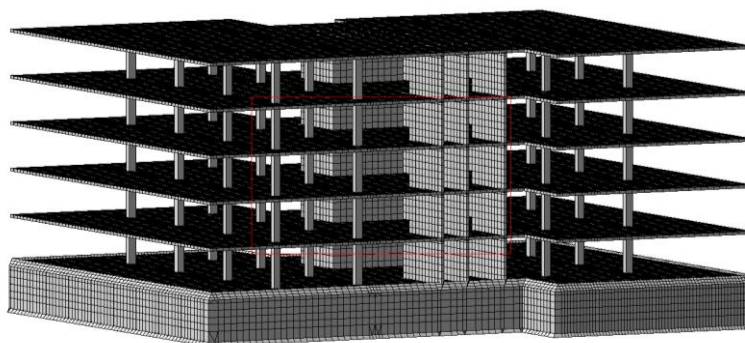


Рис. 6. Расчётная схема монолитного здания

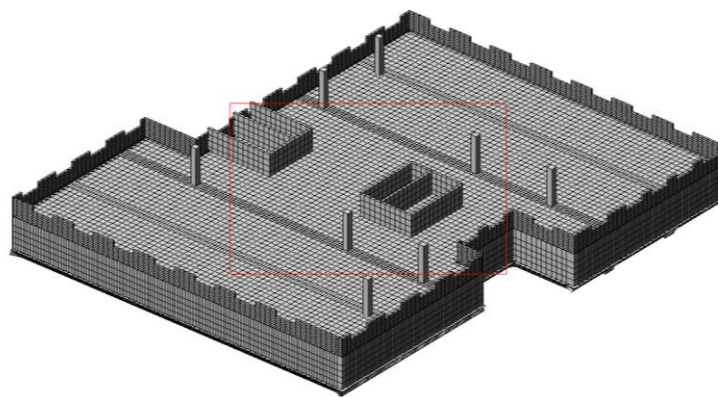


Рис. 7. Схема этажа с разрушенными колоннами и стенами монолитного здания

Оценка взрывоустойчивости панельного здания

По степени разрушения конечных элементов можно судить о состоянии здания на этапах расчёта. При разрушении свыше 75 % элементов можно утверждать об их нефункциональности, то есть – элементы не отвечают расчётным характеристикам. Для схемы наибольшее значение имеют элементы колонн и стен. Было проведено четыре расчёта: при первом удалено 2 колонны и 15 м стены; при втором – 4 колонны и 30 м стены; при третьем – 6 колонн и 40 м стены; при четвёртом – 8 колонн и 58 м стены.

По результатам расчётов определено, что для разрушения монолитного здания потребовалось удалить 8 колонн из 12 и 58 п.м. из 158 п.м. несущей стены.

Несущие конструкции жилого 5-этажного здания выполнены из трёхслойных железобетонных панелей. План типового этажа здания представлен на рис. 8. Размеры дома в плане составляют 12×19,5 м. Конструктивная система здания смешанная: лестнично-лифтовой узел образует ядро жесткости. За основу расчётной модели принят типовый проект под серией 1-515. Высота этажа $H = 2,8$ м.

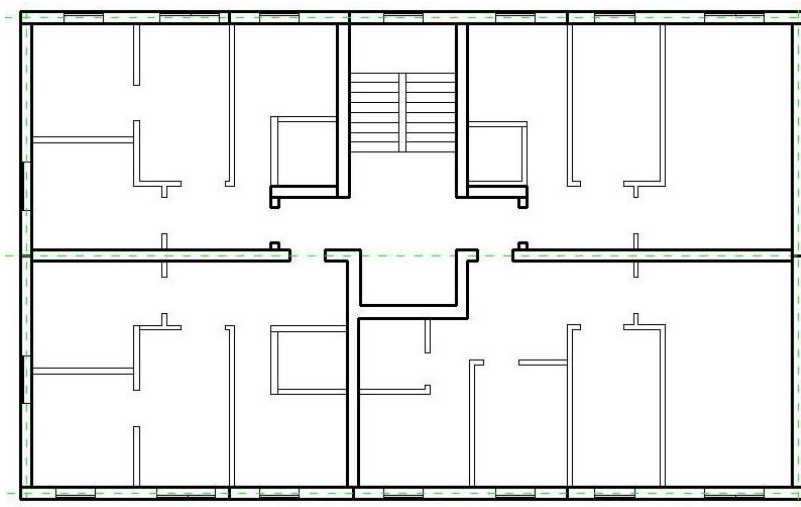


Рис. 8. План типового этажа

Для зданий с несущими наружными и внутренними продольными стенами опасность локальных разрушений определяется лишь их расположением на плане здания и не зависит от расположения по высоте.

Наиболее опасными и, следовательно, расчётными локальными разрушениями являются разрушения: панели торцевой поперечной или продольной стены, примыкающей к углу здания; панели внутренней поперечной стены, несущей нагрузку от навесных лоджий или балконов и ослабленной дверными проёмами (рис. 9).

Количество расчётных локальных разрушений в каждом конкретном случае определяется индивидуально в зависимости от особенностей плана здания и принятых конструктивных решений. При унифицированном решении сборных элементов и связей между ними и относительно простом плане здания можно ограничиться рассмотрением двух-трёх опасных локальных разрушений.

Расчётная схема здания представляет собой железобетонные плиты перекрытия, железобетонные внутренние и наружные стены (рис. 10).

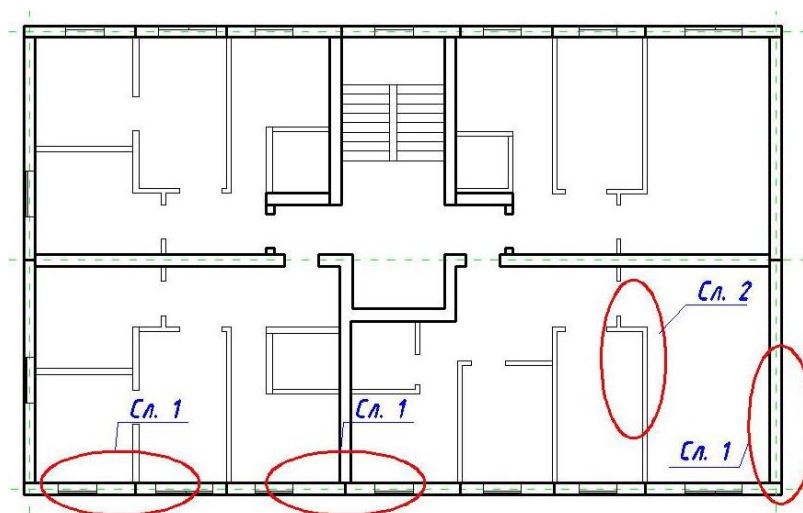


Рис. 9. Схема расположения локальных разрушений типового этажа панельного здания

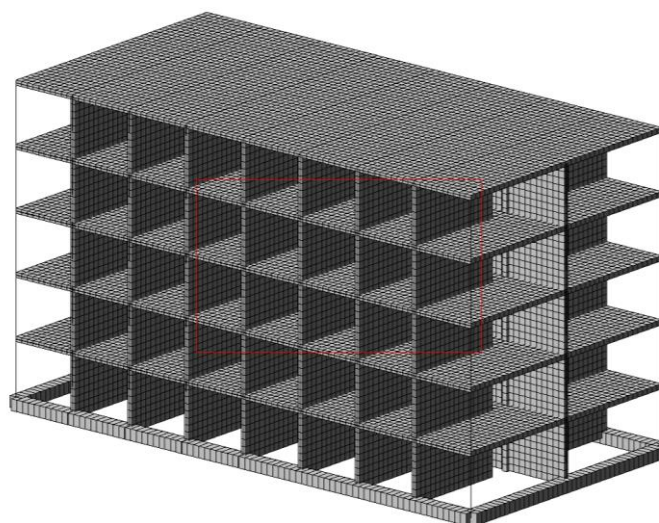


Рис. 10. Расчётная схема панельного здания

Расчётная схема аварийного воздействия по вариантам 1 и 2 – разрушение стен в осях А/1-2 и А-Б/1-2 в уровне первого этажа (рис. 9). Количество разрушенных стен увеличивалось после каждого расчёта до тех пор, пока не установилось состояние полного разрушения. Схема разрушения стен представлена на рис. 11.

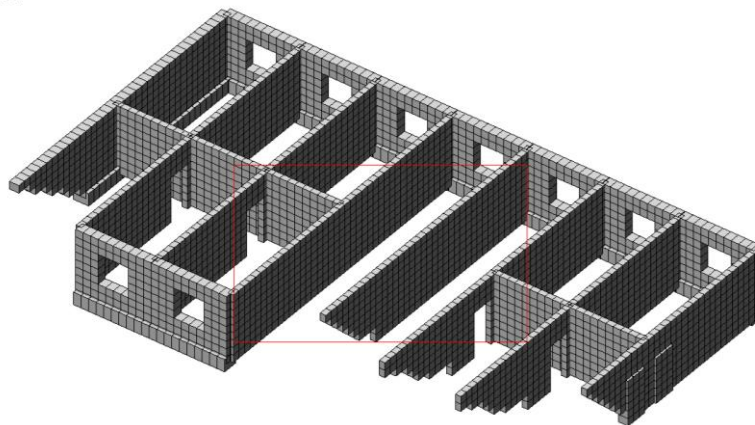


Рис. 11. Схема этажа с разрушенными панелями

По степени разрушений конечных элементов можно судить о состоянии здания на этапах расчёта. При разрушениях больше 75 % элементов можно утверждать об их нефункциональности, то есть – элементы не отвечают расчётным характеристикам. Для схемы наибольшее значение имеют элементы стен. Было проведено четыре расчёта: при первом удалено 9 м несущей стены; при втором – 27 м; при третьем – 33 м стены; при четвёртом – 40 м стены.

По результатам расчёта определено, что для разрушения панельного здания серии 1-515 потребовалось удалить 40 п.м. из 105 п.м. несущей стены.

Оценка взрывоустойчивости кирпичного здания

Несущие конструкции жилого кирпичного 5-этажного здания выполнены из керамического кирпича. План типового этажа здания представлен на рис. 12. Размеры дома в плане составляют 12×16,5 м. Продольную и поперечную устойчивость здания обеспечивают наружные и внутренние несущие стены во взаимодействии с плитами перекрытия. Лестничный узел образует ядро жесткости. Все несущие конструкции здания выполнены из кирпича марки М125. За основу расчётной модели принят типовый проект под серией 1-511. Высота этажа $H = 2,5$ м.

Для зданий с несущими наружными и внутренними продольными стенами опасность локального разрушения определяется его расположением на плане здания и не зависит от расположения по его высоте. Наиболее опасными локальными разрушениями являются: разрушения торцевой поперечной и продольной стены, примыкающей к углу здания; разрушение внутренней поперечной стены, несущей нагрузку от навесных лоджий или балконов и ослабленной дверными проемами.

Количество расчётных локальных разрушений в каждом конкретном случае определяется индивидуально в зависимости от особенностей плана здания и принятых конструктивных решений. При унифицированном решении сборных элементов и связей между ними и относительно простом плане здания можно ограничиться рассмотрением двух-трёх опасных локальных разрушений.

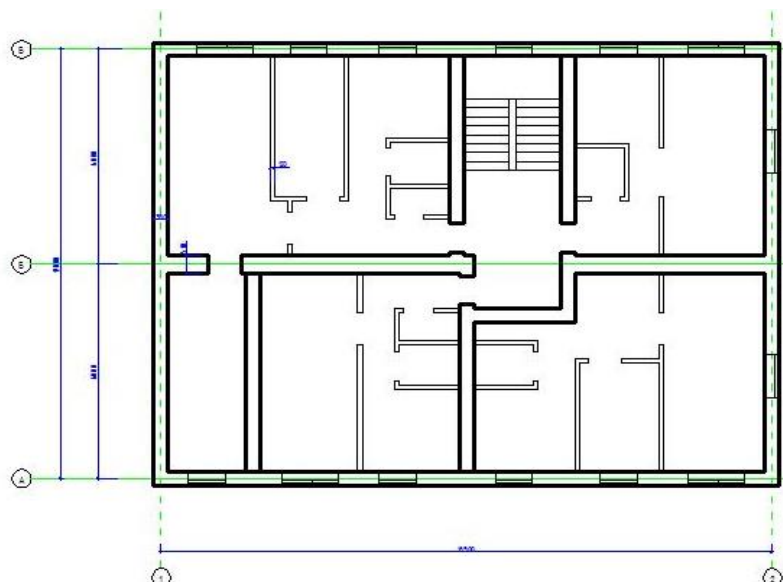


Рис. 12. План типового этажа

Расчётная схема здания представляет собой железобетонные плиты перекрытия, опёртые на кирпичные внутренние и наружные стены (рис. 13).

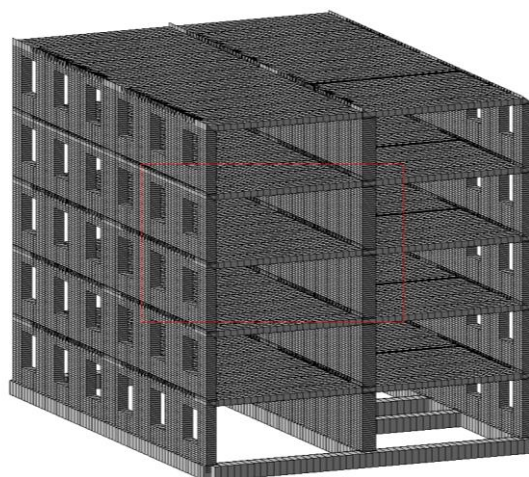


Рис. 13. Расчётная схема кирпичного здания

Расчётная схема аварийного воздействия по вариантам 1 и 2 – разрушение стен в осях А/1-2 и А-Б/1-2 в уровне первого этажа (рис. 14).

Количество разрушенных стен увеличивалось после каждого расчёта до тех пор, пока не установилось состояние полного разрушения.

Схема разрушений стен представлена на рис. 15.

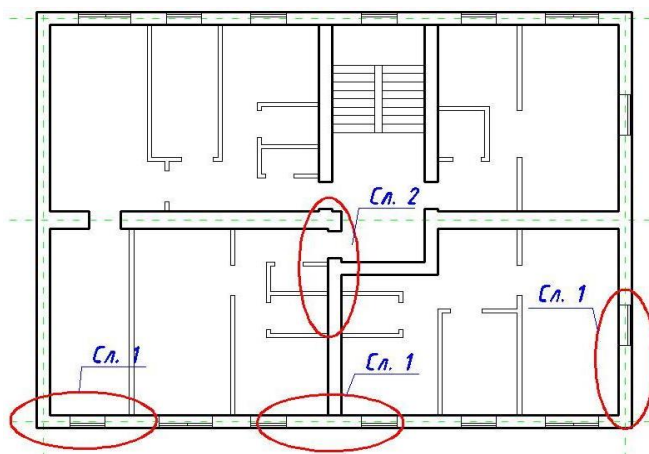


Рис. 14. Схема расположения локальных разрушений типового этажа кирпичного здания

По степени разрушений конечных элементов можно судить о состоянии здания на этапах расчёта. При разрушениях свыше 75 % элементов можно утверждать об их нефункциональности. Для схемы наибольшее значение имеют элементы стен. Было проведено четыре расчёта: при первом удалено 12 м несущей стены; при втором – 27 м; при третьем – 39 м стены; при четвёртом – 51 м стены. По результатам четвёртого расчёта определено, что для разрушения кирпичного здания серии 1-511 потребовалось удалить 51 п.м. из 92 п.м. несущей стены.

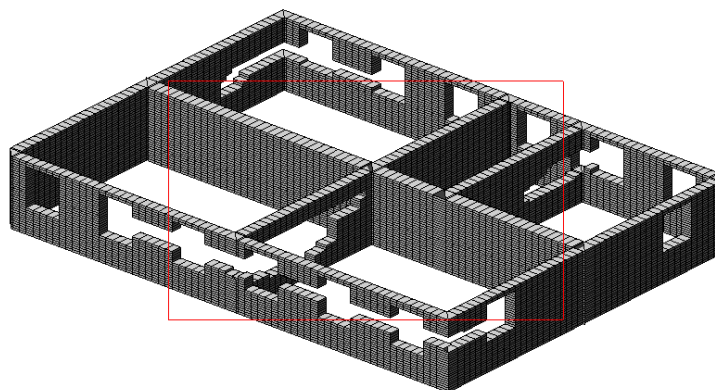


Рис. 15. Схема этажа с разрушенными кирпичными стенами

Литература

1. **Платонов А.П., Кошечая Е.И.** Прогнозирование степени разрушения зданий при действии взрыва обычных средств поражения // Гомель: Материалы междунар. научн.-практ. конф. "Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновация". Ч. 2. 2010. С. 210-211.
2. **Рекомендации** по применению принципов и способов противоаварийной защиты в проектах строительства. Методические подходы. М.: Правительство Москвы, 2004. 8 с.
3. **Рекомендации** по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. М.: Москомархитектура, 2006. 35 с.
4. **Рекомендации** по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. М.: Москомархитектура, 2005. 40 с.
5. **Рекомендации** по защите жилых зданий с несущими кирпичными стенами при чрезвычайных ситуациях. М.: Москомархитектура, 2002. 14 с.
6. **Рекомендации** по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. М.: Москомархитектура, 1999. 35 с.
7. **Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А. и др.** Нагрузки и воздействие на здания и сооружения. М.: изд. АСВ, 2006. 478 с.
8. **СП 20.13330.2011.** Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.