

Таблица 1

| № | Расход материалов на 1 м ³ | | | |
|---|---------------------------------------|------------------------|-------------|---------|
| | Цемент, кг | Мелкий заполнитель, кг | | Вода, л |
| | | песок | укрупнитель | |
| 1 | 300 | 600 | - | 150 |
| 2 | 300 | 480 | 120 | 150 |
| 3 | 300 | 360 | 240 | 150 |
| 4 | 300 | 240 | 360 | 150 |
| 5 | 300 | 120 | 480 | 150 |
| 6 | 300 | - | 600 | 150 |

По результатам расчетов видно, что испытуемый песок не входит в допустимые пределы, что делает необходимым введение крупнителя.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Пунагин В.Н. Основы проектирования составов бетона. Ташкент, узд. "Узбекистан" 1983.
2. Киш К.Н. Методика исследования реологических свойств бетонной смеси и твердого бетона. – М.: Стройиздат. 1977. с. 103-108.
3. Гордон С.С. Пески для бетонов. Москва, 1957, с 117

УДК 721.01:624.012.3:681.3.06

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К ПРОГРЕССИРУЮЩЕМУ ОБРУШЕНИЮ (ЖИВУЧЕСТИ) К АВАРИЙНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

*зам. директора Гензерский Ю.В.
ООО Лира САПР, Киев, Украина*

Несколько резонансных катастроф происшедших в последнее время побудили инженеров-конструкторов обратить особое внимание на проблему обеспечения живучести (жизнестойкости) конструкций. В области строительства стран СНГ известен ряд работ и научных публикаций, отражающих тематику устойчивость к прогрессирующему обрушению, следующих отечественных авторов: Г.А. Гениева, Г.И. Шапиро, В.И. Травуша, Н.В. Ключевой, Айзенберга, Ю.И. Кудишина, В.О. Алмазова, А.И. Плотникова, А.Г. Тамразяна, В.М. Ройтмана, С.В. Доронина, В.В. Тура, В.К. Вострова, Ю.П. Назарова, А.С. Городецкого, В.Н. Симбиркина и др.

Среди авторов зарубежных публикаций широкую известность получили: В. Crowder, Е. Willianson, D. Billow, J. Crawford, Н. Lew, J. Gilmour, U. Strarossek, T. Canisius, В. Ellingwood, Н. Kraminker и др.

Одним из первых среди отечественных ученых, затронувших проблему живучести в строительстве, исходя из критерия выполнения поврежденной конструкцией функционального назначения, был Н.С. Стрелецкий. В дальнейшем понятие живучесть, как способность объекта удовлетворять требованиям безопасности, несмотря на отказы или предварительные воздействия, в свои работы вводит В.В. Болотин и Г.А. Гениев.

Под живучестью конструкции предлагается подразумевать свойство сохранять общую несущую способность при локальных разрушениях вызванных природными и техногенными воздействиями.

К этой проблеме непосредственно примыкает обеспечение устойчивости конструкций высотных зданий к прогрессирующему обрушению.

Прогрессирующее разрушение здесь трактуется как глобальный результат, сопровождающийся утратой всего каркаса или существенной его части, что может вызвать и человеческие жертвы, инициированный локальными повреждениями, в том числе повреждениями одного элемента каркаса или нарушения узла сопряжения элементов каркаса.

Сопrotивление прогрессирующему разрушению можно интерпретировать как обеспечение нераспространения локального повреждения на другие элементы конструкции, то есть - предотвращение глобального разрушения.

Внесение в нормативные документы определенных положений (хотя они и носят, как правило, рекомендательный характер) о необходимости учета при проектировании методов сопротивления прогрессирующему разрушению вызывает у некоторых специалистов возражения. Эти возражения в основном сводятся к тому, что потребуется значительное увеличение материалоемкости конструкций и, вообще, проблема еще мало изучена и еще рано привлекать к ней внимание проектировщиков. Но, тем не менее, на стадии «проект» и стадии «рабочей документации» можно обеспечить экономичное и надежное конструктивное решение каркаса и его элементов, гарантирующее, что местные повреждения не станут источником катастрофы.

Эта проблема изучается уже давно и серьезные исследования, примыкающие к ней, проводятся примерно с 1968 г. [1]. Так в [2] дается серьезный анализ этой проблемы, а в перечне ссылок приводится более 50 работ, непосредственно примыкающих к рассматриваемому вопросу. Проводятся соответствующие исследования и в СНГ [3-13]. В результате этих исследований сделаны определенные рекомендации касающиеся установления параметров локальных разрушений и конструктивных мероприятий, препятствующих прогрессирующему разрушению. Эти рекомендации учтены в проекте ДБН «Проективання висотних будинків житлово-громадського призначення» (приложение Е «Методика розрахунку висотного будинку на опір прогресуючому обвалюванню», носящее рекомендательный характер) и в основном сводятся к следующему:

1. Определены рекомендуемые параметры локальных разрушений, в частности вертикальные элементы на одном этаже могут удаляться на

площади не более 80 кв. м, а общая площадь сечения удаленных вертикальных элементов не должна превышать 0,9 кв. м.

2. Узлы соединения конструктивных элементов не должны быть подвержены хрупкому разрушению. Эти рекомендации направлены на то, что бы в результате возможных больших перемещений, конструкция могла приспособиться к новой ситуации, заработав в некоторых случаях по измененной схеме.

3. Расчет при удаленных элементах должен выполняться на нормативные нагрузки только по первому предельному состоянию, т.е. допускаются большие перемещения и трещины, которые могут привести к потере эксплуатационных качеств, не нарушив при этом общую несущую способность конструкции.

4. Расчет на устойчивость к прогрессирующему обрушению рекомендуется проводить по следующей схеме:

- расчет эксплуатационной стадии, предшествующей локальному обрушению проводится с учетом физической и геометрической нелинейности;

- напряженно-деформированное состояние предыдущего этапа является стартовым для расчета схемы с удаленными элементами. Нагрузкой являются усилия в удаленных элементах, увеличенные на коэффициент, учитывающий динамику процесса. Расчет проводится с учетом физической и геометрической нелинейности. Такой расчет, по сути, является компьютерным моделированием форс-мажорной ситуации и позволяет проследить приспособление конструкции к новой ситуации на основе изменений конструктивной схемы. Эти расчеты очень эффективно выполняет программный комплекс ЛИРА САПР. Конструктор на основе такого расчета имеет возможность наметить ряд конструктивных мероприятий, чтобы организовать работу конструкции по новым схемам.

В [15] приведен пример расчета на локальное разрушение, вызванное удалением средней колонны каркаса. Перекрытие в месте удаленной колонны в связи с большими перемещениями работает как мембрана. Такой расчет подсказывает конструктору, что на основе небольшого увеличения арматуры (нижняя арматура не прерывается над колоннами) можно обеспечить устойчивость конструкции к прогрессирующему обрушению.

Аналогичный эффект продемонстрируем на более простом примере. На рис. 1 представлена двухпролетная шестизэтажная рама. Условно ее можно рассматривать как фрагмент пространственного каркаса. Ригели представляют собой вырезанные полосы перекрытий шириной 6 м и толщиной 0,2 м. Сечение колонн 0,5х0,5 м. Кроме собственного веса на ригели приложены нагрузки 6 т/п.м. Работа рамы в составе каркаса обеспечивается закреплением узлов 1÷12 от горизонтальных перемещений и углов поворота.

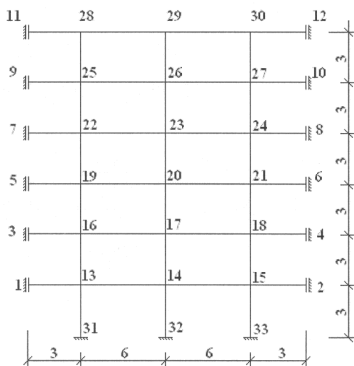


Рис. 1. Двухпролетная шестизэтажная рама

В табл. 1 представлены результаты расчетов по трем схемам. Графа 1 соответствует линейно-упругому расчету всей схемы. Графа 2 соответствует линейно-упругому расчету без колонны 32-14. Графа 3 соответствует двухстадийному расчету: на первой стадии рассчитывается вся схема с учетом физической и геометрической нелинейности; на второй стадии расчет выполняется без колонны 32-14 на силу, приложенную в узле 14 и равную усилию в колонне 32-14 полученную из расчета на первой стадии. Напряженно- деформированное состояние конструкции, полученное на первой стадии, является стартовым для второй стадии расчета. Программный комплекс ЛИРА САПР позволяет выполнять такого рода расчеты.

Анализируя результаты расчетов можно констатировать, что двухстадийный расчет, который, по сути, является компьютерным моделированием процесса удаления средней колонны 32-14 показывает, что опорный (сечение 13-14) и пролетный (сечение 14-13) моменты примерно в 1,5 раза меньше, чем те же моменты, полученные на основе линейно-упругого расчета. Этот эффект обусловлен работой конструкции по новой схеме: узел 14 получает большое вертикальное перемещение, ригели (полосы перекрытий) начинают работать по схеме нити в результате чего в них возникает растягивающие усилия. Эти усилия, как правило, воспринимаются имеющейся арматурой в перекрытиях. Горизонтальные усилия в пространственном каркасе передаются на систему диафрагм или «замыкаются» в диске перекрытия.

Таким образом, тщательный расчетный анализ позволяет вскрыть дополнительные резервы несущей способности и при определенных конструктивных мероприятиях (в данном случае необходимо не прерывать нижнюю арматуру над колоннами), требующих лишь небольшое увеличение материалоемкости, можно обеспечить устойчивость к прогрессирующему обрушению.

Еще раз нужно отметить, что, говоря об устойчивости к прогрессирующему обрушению, всегда имеется в виду только локальное повреждение. Их определение, безусловно, зависит от типа конструкций. В

вантовых конструкциях это может быть одна или две ванта, в структурах - один или два раскоса, но ни в коем случае основные опоры моста, или ядро жесткости высотного здания. Характер локальных повреждений может быть определено в регламентирующих документах, а для конкретных ответственных сооружений, не имеющих аналогов, определено проектировщиком и согласовано с заказчиком. Во всяком случае, проектировщик всегда должен думать о том, что случится, если по каким-либо причинам выйдет из строя какой-либо элемент (необязательно самый ответственный) проектируемой им конструкции.

Таблица 1.

Результаты расчета по трем схемам

| Параметры напряженно-деформированного состояния | Линейно-упругий расчет с колонной 32-14 | Линейно-упругий расчет без колонны 32-14 | Двухстадийный расчет с учетом физической и геометрической нелинейности |
|---|---|--|--|
| | 1 | 2 | 3 |
| Момент в сечении 13-14 в тм | - 27,9 | - 115,2 | - 79,1 |
| Момент в сечении 14-13 в тм | - 13,9 | + 65,9 | + 46,9 |
| Нормальное усилие в колонне 32-14 в т | - 342,7 | 0 | 0 |
| Нормальное усилие в ригеле 13-14 в т | 0 | + 65,9 | + 156,6 |
| Перемещение в узле 14 в см | + 0,2 | + 5,6 | + 35,8 |

В заключении следует отметить, что обеспечение устойчивости конструкций к прогрессирующему обрушению является частью общей проблемы живучести сооружения. Сюда примыкает проблема огнестойкости несущих конструкций, а также проблема удовлетворения требованиям сейсмостойкости даже в случае строительства ответственных сооружений в несейсмическом районе. И если риск землетрясения недостаточно велик было бы целесообразно использовать подходы характерные для обеспечения устойчивости к прогрессирующему обрушению, т.е. при потере эксплуатационных качеств, не допускать обрушения конструкции.

Думается, что имеющиеся первые наброски в обеспечение устойчивости к прогрессирующему обрушению являются только началом решения общей проблемы живучести сооружения и обширные исследования в этом направлении еще впереди.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Report of the Inquiry into the Collapse of Flats at Ronan Point, Caning Town; MSO, 1968.
2. Kirk A. Marchand, Farid Alfawakhive. Blast and Progressive Collapse. AISC, 2005.
3. Ю.М. Стругацкий. Обеспечение прочности панельных зданий при локальных разрушениях их несущих конструкций. Сб.: Исследования несущих бетонных и железобетонных конструкций сборных многоэтажных зданий. МНИИТЭП, М., 1980, с. 3-19.
4. Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85), (Приложение 2, Рекомендации по обеспечению устойчивости крупнопанельных зданий при аварийных воздействиях. Ю.М. Стругацкий, Ю.А. Эйсман). ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. М., 1989, с. 232-268.
5. Ю.М. Стругацкий, Г. И. Шапиро. Безопасность московских жилых зданий массовых серий при чрезвычайных ситуациях. ПГС, 8, 1998 г., с 37-41.
6. МГСН 3.01-01 Жилые здания. М., 2001.
7. Ю.М. Стругацкий, Г. И. Шапиро, Ю.А. Эйсман. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. Москомархитектуры. М., 1999.
8. Г.И. Шапиро, Ю.А. Эйсман, Ю.М. Стругацкий. Рекомендации по защите жилых зданий стеновых конструктивных систем при чрезвычайных ситуациях. Комплекс архитектуры, строительства, реконструкции и развития города. М., 2000.
9. Г.И. Шапиро, В. С. Коровкин, Ю.А. Эйсман, Ю.М. Стругацкий. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях. Москомархитектуры. М., 2002.
10. Г.И. Шапиро, В. С. Коровкин, Ю.А. Эйсман, Ю.М. Стругацкий. Рекомендации по защите жилых зданий с несущими кирпичными стенами при чрезвычайных ситуациях. Москомархитектуры. М., 2002.
11. Г.И. Шапиро, Ю.А. Эйсман, А. С. Залесов. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения. Москомархитектуры. М., 2005.
12. Г.И. Шапиро, Ю.А. Эйсман, В. И. Травуш. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения. Москомархитектуры. М., 2006.
13. В. О. Алмазов. Аварии и мониторинг. МГСУ. М., 2008.
14. А.С. Городецкий и др. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. ФАКТ. К., 2004.
15. А.С.Городецкий, И.Д.Евзеров. Компьютерные модели конструкций.–К.: «Факт», 2007. -394 с.