

УДК [658 51: 624.04]: 699.8 (083.74)

Волков А.А. – доктор технических наук, профессор

E-mail: volkov@mgsu.ru

Московский государственный строительный университет

Вагапов Р.Ф. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: niistroy@mail.ru

ГУП институт «БашНИИстрой», Уфа

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ. ОСНОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТА

АННОТАЦИЯ

Предлагается системный аналитический подход к выявлению элементов проекта, способных оказывать негативное влияние на процесс возникновения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на строительных объектах на стадии их автоматизированного проектирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конструктивная безопасность, системы автоматизированного проектирования, чрезвычайные ситуации.

Volkov A.A. – doctor of technical sciences, professor

Moscow State Construction University

Vagapov R.F. – candidate of technical sciences, associate professor

Scientific-Research Institute «BashNIISTroy», Ufa

TO THE PROBLEM OF CALCULATION OF BUILDINGS STRUCTURES FOR PROGRESSIVE FAILURE. THE DESIGN BASIS AND OPTIMIZATION

ABSTRACT

A system analytical approach to show the design elements negatively influencing the process of origin and liquidation of emergency situations at the building projects at the stages of their automated design is suggested.

KEYWORDS: structural safety, automated design systems, emergency situations.

Проблемы обеспечения конструктивной безопасности были и остаются основными в строительном проектировании. В этом смысле вопросы расчетов конструкций зданий на прогрессирующее обрушение с использованием различных программных комплексов все еще нуждаются в дальнейшем теоретическом и практическом развитии.

Как правило, геометрические размеры несущих конструкций здания для подобных расчетов принимаются по чертежам заказчика.

Для конструкций железобетонных задаются:

- размеры и класс бетона фундаментов;
- толщины плит перекрытий;
- толщины стен, колонн и пилонов;
- бетон конструкций надземной части (класс);
- защитные слои бетона до центра тяжести арматуры;
- арматура (класс);
- жесткость основания.

На основе анализа конструктивной схемы здания определяются характерные, наиболее опасные для здания гипотетические (возможные) схемы локальных разрушений, например:

- удаление колонны на k -м этаже на пересечении осей X и Y ;
- удаление стены (фрагмента стены) на l -м этаже между осями X и Y и пр.

Исходные данные, расчетная модель и схемы локальных разрушений согласовываются с заказчиком.

Расчетная схема здания включает в себя, как правило, фундаментные конструкции (железобетонные), перекрытия, железобетонные или стальные балки, вертикальные связи и вертикальные несущие конструкции – пилоны и стены. Определяется величина коэффициента жесткости основания, боковое давление грунта и другие нагрузки на подземные части здания.

Рассматривается пространственная система элементов конструкций в нелинейной постановке при последовательном выбывании виртуально «поврежденных» элементов из расчетной модели. Исследуются альтернативные пути передачи нагрузок за счет перераспределения усилий в оставшихся элементах, нелинейные деформации в области повреждения при работе материалов за пределами упругости.

Расчеты выполняются на различные загрузки, например, при действии вертикальных нормативных нагрузок (постоянных и временных).

В расчетную схему включаются различные типы конечных элементов, например треугольные и четырехугольные конечные элементы оболочки, пространственные стержни с учетом физической и геометрической нелинейности.

В основу нелинейного расчета положен шаговый метод. В расчете нагрузка прикладывается за N равных шагов. По результатам расчета на каждом шаге программа анализирует напряженно-деформированное состояние нелинейных элементов, определяет образование трещин, пластических шарниров или полное разрушение сечения. С учетом этого вычисляются жесткости элементов на следующих шагах нагружения. Программа исключает из расчетной модели разрушенные элементы для последующих шагов нагружения.

Целью расчета на прогрессирующее разрушение в условиях возможных чрезвычайных ситуаций является исследование напряженно-деформированного состояния конструкций здания в соответствии с «Рекомендациями по защите монолитных жилых зданий при чрезвычайных ситуациях» [1].

Критерием безопасности здания в чрезвычайной ситуации при локальном разрушении является отсутствие условий, вызывающих цепное разрушение элементов конструкций и приводящих к обрушению части здания или здания целиком.

Рассматривается пространственная система элементов конструкций в нелинейной постановке при последовательном выбывании виртуально «поврежденных» элементов из расчетной схемы. Исследуются альтернативные пути передачи нагрузок за счет перераспределения усилий в оставшихся элементах, нелинейные деформации в области повреждения при работе материалов за пределами упругости. В зависимости от возможности локализации области повреждения делается вывод о возможности развития либо предотвращения лавинообразного разрушения объекта.

Проведенные численные исследования, как правило, показывают, что в результате виртуального удаления стены на l -м этаже между осями X и Y , либо колонны на k -м этаже на пересечении осей X и Y вертикальные перемещения вышележащего перекрытия увеличиваются на ΔL мм (по сравнению с перемещениями при отсутствии локального разрушения).

При этом отмечается возможное развитие трещин и разрушений в вышележащих конструкциях и перекрытиях (над удаленными конструкциями), а также делается вывод о том, носят ли указанные нарушения целостности элементов конструкций здания ограниченный характер, или имеют тенденции к дальнейшему развитию.

На основе расчетов определяется, возможно ли для данной конструктивной схемы создание условий, приводящих к прогрессирующему (цепному) обрушению здания, или нет.

Системный анализ процессов проектирования строительных объектов во многих случаях может стать основой для эффективного использования информационного пространства, окружающего строительный объект от момента возникновения идеи о необходимости его возведения до момента утилизации (разрушения). Иллюстрируем сказанное, описав аналитический подход к выявлению элементов проекта, способных оказывать негативное влияние на процесс ликвидации возможных чрезвычайных ситуаций в строительных объектах [2, 3].

Одной из целей информационной интеграции процессов моделирования развития и результатов чрезвычайных ситуаций в системы автоматизированного проектирования строительных объектов [2-7] является возможность выявления элементов проекта здания или

сооружения, которые могут оказывать прямое или косвенное влияние на динамику чрезвычайной ситуации или процесс ее локализации и ликвидации [3].

Нельзя сказать, что проектирование зданий и сооружений априори не учитывает надежность отдельных конструктивных элементов и их совокупности, как раз наоборот, – теория надежности в архитектурно-строительном проектировании – одна из методологических основ проектирования зданий и сооружений. Однако основной целью этой теории является недопущение чрезвычайных ситуаций в проектируемом объекте, связанных с несоответствием конструктивных решений, применяемых строительных материалов и технологий тем нагрузкам, которые будут оказываться на объект при эксплуатации. Обычно расчет на штатные внешние статические и динамические нагрузки проводится с некоторым запасом прочности, в зависимости от класса проектируемого объекта. Отдельно следует отметить расчет зданий и сооружений на возможные экстремальные нагрузки, связанные с географическим положением объекта (например, в сейсмически неблагоприятном районе или в зоне возможного затопления), особенностями размещенного на нем технологического цикла и эксплуатации.

Все подобные, безусловно, важные и необходимые расчеты, ориентированы на предотвращение чрезвычайных ситуаций, а не на моделирование уже произошедших с целью их контроля и оперативного управления. Следует отметить, что большинство явных недостатков проекта выявляется именно на проектной стадии. Теория надежности представляет собой тот математический аппарат, который, кроме прочего, накладывает на проект ряд ограничений, исходя из требований к обеспечению безопасной эксплуатации здания или сооружения в течение некоторого расчетного периода. Однако, некоторые особенности проектных и конструктивных решений, кажущиеся «безобидными» с точки зрения их реализации и удовлетворяющие требованиям теории надежности, могут играть значительную роль в условиях развития реальной чрезвычайной ситуации и, к сожалению, не всегда позитивную. Если часть из них можно достаточно легко прогнозировать логически, а в некоторых случаях – руководствуясь эмпирическими данными и статистикой, то остальные можно выявить, лишь моделируя развитие различных чрезвычайных ситуаций на конкретном проектируемом объекте. Например, использование некоторых теплоизоляционных и декоративных материалов может привести при их нагреве, что не редкость в случае возможного возгорания, к выделению ядовитых продуктов горения, что во многих случаях значительно затрудняет доступ для производства работ с отдельными элементами объекта, оперативное усиление которых может предотвратить обрушение здания или его частей. Кроме того, в этом случае возникает реальная опасность отравления людей продуктами горения.

Далее предлагается системный аналитический подход к выявлению элементов проекта, способных оказывать негативное влияние на процесс ликвидации возможных чрезвычайных ситуаций в строительных объектах на стадии их автоматизированного проектирования.

Предположим, что все конструктивные решения элементов разрабатываемого проекта составляют некоторое непустое множество $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, $P \neq \emptyset$. Задача формулируется в следующем виде: необходимо сформировать множество $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, $X \subset P$ тех элементов проекта здания или сооружения, которые способны оказывать негативное влияние на процесс ликвидации возможных чрезвычайных ситуаций в проектируемом объекте в рассмотренном выше смысле. Аналитический подход к решению задачи состоит в следующем.

1. Необходимо сформировать множество неизменяемых, по тем или иным причинам, элементов проекта $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_s\}$, $Q \subset P$. Причинами ограничений могут быть экономические, конструктивные, технологические особенности проектируемого объекта и ряд других. Рассмотрение всех причин подобных ограничений выходит за рамки настоящей статьи. Решение о формировании подобного множества вырабатывается проектной организацией согласованно с руководителем проекта. В течение процессов проектирования и строительства множество Q может быть изменено.

2. Если сформированное множество Q совпадает с исходным множеством всех конструктивных решений элементов разрабатываемого проекта P , т.е. $P = Q$, то анализ необходимости изменения элементов проекта на данном этапе проектирования не даст желаемых результатов из-за наложенных ограничений. В большинстве случаев этого не происходит. Если же

$P = Q$, руководство проекта должно искусственно сузить множество Q с целью обеспечения возможности проведения адекватного анализа и на основе его результатов корректировать множество Q реально.

3. Следующий этап – формирование множества аналогий O конструктивных элементов проекта на основе базы аналогий, содержащей множество $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ подобных элементов, сформированное на основе статистики чрезвычайных ситуаций. Другими словами, все случаи, когда те или иные проектные или конструктивные решения элементов зданий или сооружений вызвали препятствия в локализации чрезвычайных ситуаций в строительных объектах или являлись источниками повышенной опасности в условиях развития чрезвычайных ситуаций в любой трактовке этого понятия, должны быть занесены и составлять некоторую базу аналогий на основе их множества A .

4. Для некоторых объектов множество аналогий A может быть пустым, т.е. $A = \emptyset$, что в большинстве случаев определяется либо уникальностью объекта, либо неполнотой используемой базы аналогий. В этом случае необходимо действовать в соответствии со следующим этапом (5). Если множество аналогий A не пусто, т.е. $A \neq \emptyset$, то на его основе формируется множество элементов к изменению X , получаемое на данном этапе объединением пустого пока множества X ($X = \emptyset$) и множества аналогий $O \subset A$: $X = O \cup X$. Далее производится оценка степени риска, т.е. вероятности влияния возможных чрезвычайных ситуаций на каждый элемент множества X : $\forall x_i \in X$ на основе статистических данных и элементов моделирования развития чрезвычайных ситуаций в строительных объектах, сопоставление полученных оценок со стоимостью внесения изменений в проект для $\forall x_i \in X$. На основе проведенного теоретического анализа и в тесном взаимодействии с руководителем проекта производится принятие решений по внесению изменений в проект для $\forall x_i \in X$. Точного математического описания подобной методики принятия решений не существует из-за бесконечного многообразия конкретных ситуаций, в которых руководитель должен принимать решения. Крайними являются ситуации, когда: а) руководство проекта учитывает все выявленные замечания и корректирует проект по всем «опасным» элементам и б) руководство проекта не имеет возможности внести изменения в процесс проектирования. Первый случай идеален. Второй определяет бессмысленность всех описанных действий. В реальной практике подобные решения часто принимаются на основе субъективных предпочтений лиц, принимающих решения. Этот элемент субъективности и является во многих случаях единственно возможным способом объединения и сравнительного анализа совершенно несопоставимых критериев и аргументации.

5. В случае пустого множества аналогий A , когда $A = \emptyset$, а также независимо от его полноты, т.е. параллельно, необходимо самостоятельно формировать множество F конструктивных элементов здания или сооружения, подверженных влиянию факторов, определяемых развитием чрезвычайных ситуаций в строительных объектах. Подобное множество может быть сформировано только путем моделирования развития различных чрезвычайных ситуаций на конкретном проектируемом объекте. Масштабы охвата возможных чрезвычайных ситуаций определяют мощность формируемого множества $F - \#F$. После формирования множества F производится проверка на пересечение множеств F и Q , если $F \cap Q = \emptyset$, то к сформированному множеству элементов к изменению X добавляются все элементы множества F : $X = X \cup F$. Дальнейшие действия по принятию решений об изменении элементов проекта подобны описанным выше. В случае частичного или полного совпадения множеств совпадения F и Q , т.е. $F \cap Q \neq \emptyset$, множество X формируется на данном этапе как объединение уже существующего множества X с элементами множества F , не совпадающими с элементами множества Q . Следующий шаг – внесение предложения руководству проекта об изменении (корректуре) множества Q , в случае значительных ограничений на состав неизменяемых элементов проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по защите монолитных жилых зданий при чрезвычайных ситуациях // Правительство Москвы. – М.: Москомархитектура, 2005.
2. Volkov A.A. Aktive Sicherheit von Bauobjekten in aussergewoehnlichen Situationen // IKM 2000, ABSTRACTS: PROMISE AND REALITY. – Weimar: Bauhaus-Universitdt Weimar, 2000. – P. 49.
3. Волков А.А. Активная безопасность строительных объектов // Межвуз. сб. науч. тр. Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. Вып. 9. – М.: АСВ, 2000. – С. 147-150.
4. Волков А.А. Активная безопасность строительных объектов в условиях чрезвычайной ситуации // Промышленное и гражданское строительство, 2000, № 6. – С. 34-35.
5. Волков А.А. Информационная поддержка процессов оперативного влияния на динамику чрезвычайных ситуаций в строительных объектах // Большой Российский каталог. Строительство. – М.: Каталоги и справочники, 2000. – С. 38-40.
6. Волков А.А., Вагапов Р.Ф., Отчерцов М.В. Управление конструктивной безопасностью сооружений // Вестник МГСУ, 2007, № 4. – С. 76-78.
7. Волков А.А., Вайнштейн М.С., Вагапов Р.Ф. Расчеты конструкций зданий на прогрессирующее обрушение в условиях чрезвычайных ситуаций. Общие основания и оптимизация проекта // Вестник МГСУ, 2008, № 1. – С. 388-392.