

## РАЗДЕЛ III. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 728.1

### СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

ЗАХАРЕНКО А. В., ПИЛИПЕНКО В. М.

Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С. С.

Минск, Беларусь

Важной задачей теории надежности сложных технических систем является определение оптимальных значений базовых параметров, отвечающих за выполнение тех или иных функций, при обеспечении максимальной продолжительности эффективной работы системы в целом. Жилое здание также можно рассматривать как сложную техническую систему, при этом необходимо учитывать его многокомпонентную структуру, состоящую из множества разнопрочных и разнодолговечных элементов, что значительно осложняет процесс анализа общей надежности.

В последнее время для оценки надежности сложных технических систем все чаще применяют метод *структурно-функционального моделирования*, который основан на разбиении системы на отдельные элементы и установлении между ними соответствующих структурно-функциональных взаимосвязей. В общем случае структурная модель жилого здания как системы, представляет собой совокупность основных (несменяемых) и вспомогательных (сменяемых) элементов, соединенных между собой в определенной последовательности и в определенной степени взаимоопределяющих надежность системы. В качестве примера на рис. 1 приведен общий план расположения структурных элементов 10-этажного крупнопанельного жилого здания. Следует отметить, что приоритетным при создании имитационной модели здания является *моделируемое рабочее состояние системы*, которое может отличаться от механического (монтажного) соединения. Например, ячейка панельного здания с опиранием плит перекрытия «по контуру» с точки зрения монтажного соединения имеет параллельное соединение стен с последова-

тельной укладкой плиты перекрытия (рис. 2). Если рассматривать данную структуру в рабочем состоянии, то можно отметить, что при выходе из строя (например, потере несущей способности) одной из стен, происходит изменение расчетных параметров для трех других, что характерно для последовательного соединения. В общем случае гипотетическая возможность восприятия элементами системы крупнопанельного здания дополнительных нагрузок в результате отказа одного из них позволяет относить данную систему к *резервированным системам* нагруженного типа [1].

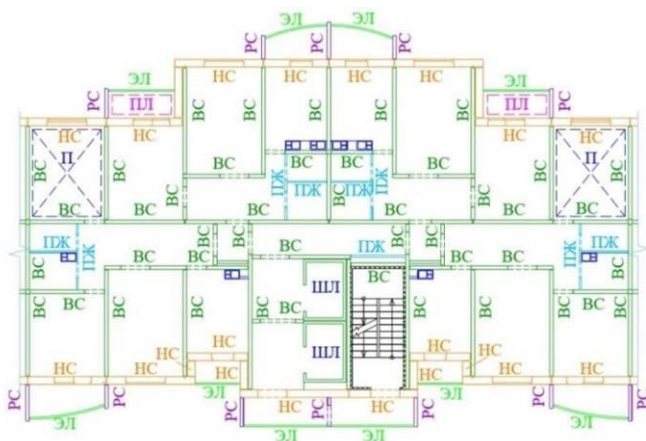


Рис. 1. Общий план расположения структурных элементов 10-этажного крупнопанельного жилого здания (НС,ВС,РС,П и т.п. – несущие эл-ты здания)

Таким образом, особенностью неопределимых систем, к которым в полной мере можно отнести жилые здания индустриального строительства, является то, что отказ элемента не обязательно приводит к полному отказу системы (например, в виде полного разрушения здания) в связи с перераспределением усилий между примыкающими друг к другу элементами, которые за счет принятых резервов прочности в определенных пределах способны воспринять дополнительные нагрузки. Одним из способов учета зависимости совместной работы элементов подобных систем является введение коррелированности функций работоспособности элементов, что создает определенный запас показателей надежности [1, 2]. Следует отметить, что еще в советский период в отношении надежности по-

добных сложных систем стали применять качественно новое свойство – *эмерджентность*, отражающее диалектический переход количественных свойств в качественные [1].

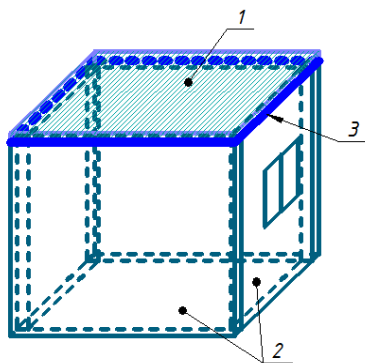


Рис. 2. Конструктивное решение ячейки крупнопанельного здания:  
1 – плита перекрытия; 2 – несущие стены; 3 – контур опирания плиты

Для оценки надежности структурно-функциональной модели здания, как сложной технической системы, был применен разработанный еще в 70–80-х гг. *логико-вероятностный метод системного анализа*, в основу которого положено использование функций алгебры логики для аналитической записи условий работоспособности системы и разработка строгих способов перехода от логических функций к вероятностным, объективно выражающим безотказность данной системы [3].

На основе структурно-функциональной модели были сформулированы следующие задачи, решение которых позволило проанализировать базовые параметры надежности конструктивной системы рассматриваемого крупнопанельного здания с точки зрения идеализированной (т.е. находящейся в состоянии отказа даже при выходе из строя какого-либо одного элемента) системы:

- определение логико-вероятностных параметров надежности системы и её элементов на основании вероятностей их безотказной работы;
- оценка параметров надежности невозстанавливаемой системы по показателю среднего времени наработки ее элементов;

– анализ изменчивости параметров надежности сложной системы при рассмотрении возможности восстановления ее элементов.

В результате рассмотрения перечисленных задач можно сформулировать следующие основные выводы о принципах формирования общей надежности здания:

1) общий показатель надежности сложной системы с увеличением количества элементов уменьшается, при этом полученные результирующие значения надежностей системы за базовый период 1 год  $P_s = 0,99874$  и базовый период 50 лет  $P_s = 0,8816$  в целом показывают адекватные значения безотказной работы для сложных технических систем;

2) надежность системы при наличии так называемых резервируемых элементов возрастает, причем, чем сложнее и многокомпонентнее структура, тем разрыв между предполагаемыми значениями надежности больше (рис. 3);

3) в системе с резервируемыми элементами происходит явное увеличение значимости не резервируемых элементов (рис. 4) и снижение значимости и прочих параметров надежности для резервируемых элементов;

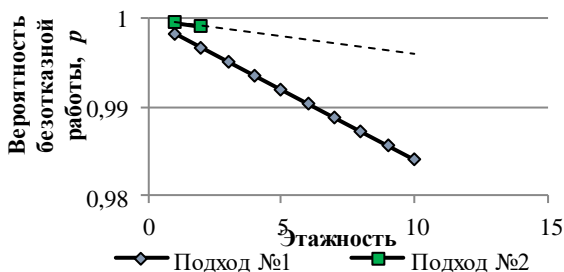


Рис. 3. Сравнение вероятностей безотказной работы системы за базовый период 50 лет при различных подходах

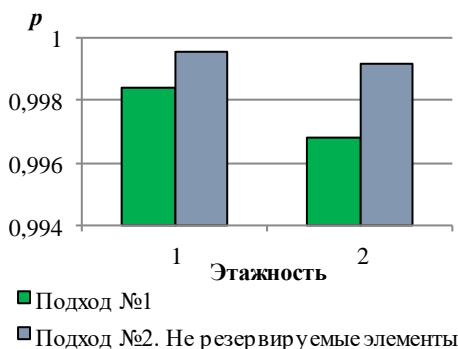


Рис. 4. Пример сравнения показателя *значимости* основных не резервируемых элементов системы за базовый период 50 лет

4) в результате проведения вероятностно-временного расчета, в частности путем пропорционального наращивания «условных» средних наработок элементов на отказ, были получены данные о вероятностях безотказной работы системы жилого здания в базовые периоды и соответствующих им показателях средней наработки на отказ (таблица 1); например, при некоторых значениях средней наработки элементов на отказ вероятность безотказной работы системы в целом, в частности, для базового периода 50 лет составила  $p = 0,8138$ , а величина её средней наработки на отказ – около 243 лет, что может быть вполне допустимой величиной;

Таблица 1

Вероятности безотказной работы конструктивной системы жилого здания в базовые периоды и соответствующие им показатели средней наработки на отказ

Вероятность безотказной работы системы в базовый период		Средняя наработка системы на отказ, лет
1 год	50 лет	
0.8837	0.0021	8.1
0.9518	0.0844	20.2
0.9756	0.2904	40.4
0.9877	0.5389	80.9
0.9938	0.7341	161.8
0.9959	0.8138	242.7
0.9969	0.8568	323.5

5) наряду с несущими невозстанавливаемыми элементами восстанавливаемые элементы имеют существенное значение в обеспечении общей надежности системы; кроме этого, чем больше в структуре именно восстанавливаемых элементов, тем более надежной считается система (например, было установлено, что коэффициент готовности восстанавливаемой системы превышает аналогичный показатель надежности для смешанной системы – таблица 2).

Таблица 2

Показатели надежности смешанной и восстанавливаемой систем  
одноэтажного конструктива

Тип системы	Показатель надежности		Значимость элементов			Отрицательный вклад элементов	Положительный вклад элементов		
			Стены	Плиты	ГС*		Стены, плиты, ГС*	Стены	Плиты
Смешанная	Коэффициент готовности смешанной системы	0.8964	0.90239	0.90101	0.89664	0.8964	0.005996	0.00461	0.000246
Восстанавливаемая	Коэффициент готовности системы	0.9969	0.99699	0.99697	0.99721	0.9969	0.000055	0.00004	0.000273

\* ГС – герметизация стыков между панелями

Анализ существующих подходов к определению надежности сложных технических систем свидетельствует о неоднозначности и сложности рассматриваемой проблемы, носящей преимущественно вероятностный характер. Предложенный метод моделирования с использованием поэлементного структурирования конструктивной системы жилого здания позволяет оценить влияние каждого элемента на показатели общей надежности, а также выявить направления их оптимизации. Подобный анализ наиболее важен в условиях явной необходимости реконструкции зданий с течением времени, с целью придания им современных потребительских качеств. Следует отметить важность упомянутого и частично выявленного свойства

эмерджентности, проявляющегося в функциональной взаимосвязи между элементами конструктивной системы и в определенном перераспределении нагрузки, не приводящим к аварийной ситуации в случае отказа одного из элементов конструкции, что как раз позволяет определить крупнопанельную конструктивную систему жилого здания как ремонтпригодную, обладающую способностью к восстановлению в процессе эксплуатации, что необходимо с учетом ранее обозначенных принципов развития жилищного домостроения. Одним из доказательств высокой надежности жилых зданий различных конструктивных систем индустриального строительства, а также эффективности рассмотрения в данном вопросе принципа эмерджентности является пример их достаточной устойчивости в истории наиболее крупных сейсмических катастроф [4], а также опыт их демонтажа в Восточных регионах Германии и в крупных городах России, когда, в частности, стыковые соединения «показали» значительную прочность против демонтажных работ. В дальнейшем метод моделирования с использованием поэлементного структурирования требует выявления и учета коррелированности зависимых структурных элементов системы здания, что позволит более точно описать особенности его функционирования (включая периоды возникновения отказов его структурных элементов) и прогнозировать срок его эксплуатации.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колотилкин, Б.М. Надежность функционирования жилых зданий / Б.М. Колотилкин. – М.: Стройиздат, 1989. – 372 с.
2. Матвеев, Е.П. Реконструкция жилых зданий. Ч.1. Теория, методы и технологии реконструкции жилых зданий / Е.П. Матвеев. – М.: ГУП ЦПП, 1999. – 367 с.
3. Рябинин, И.А., Черкесов, Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / И.А. Рябинин, Г.Н. Черкесов. – М.: Радио и связь, 1981. – 266 с.
4. Заключение о техническом состоянии зданий в Арктическом и Апаранском районах Армянской ССР после землетрясения 7 декабря 1988 г. Минск: Научно-проектно-техническое объединение «Белстройнаука», 1989–1990.