

УДК 624.01

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

к.т.н. Шевченко Т.Ю., асп. Савицкий А.Н.

ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», г. Днепропетровск

Постановка проблемы и её связь с важными научными и практическими задачами. Современные тенденции в строительстве способствуют увеличению степени сложности конструкций зданий и сооружений. Строительный объект сегодня представляет собой сложную техническую систему, которая включает множество различных компонентов - конструкций.

Поэтому для расчетов надежности строительных объектов необходим структурный анализ их конструктивной системы.

Цель исследования – развитие методики анализа надежности сложных технических систем.

Изложение основного материала.

Структурный анализ. Перед началом анализа сложной системы (здания), состоящей из большого количества элементов (конструкций), необходимо осуществить разделение системы на крупные подсистемы, которые в свою очередь делятся на группы элементов.

Любое членение системы условно, но при этом обязательным является учет функциональной взаимосвязи отдельных частей. Функциональный элемент, это такая часть, которая влияет на надежность всей системы [1].

При анализе надежности сложной системы главной задачей является выявление взаимосвязей и степени влияния частей системы на её надежность. Поэтому показатели надежности отдельных частей или элементов необходимо дифференцировать в зависимости от их вклада в обеспечение надежности всей системы.

Так, для зданий старой постройки характерно использование деревянных конструкций перекрытий, что приводит к снижению надежности зданий по этому параметру. В то же время конструкции фундаментов и стен, выполненные из кладочного материала, имеют более высокие надежность и долговечность. Эти элементы здания могут быть отнесены к таким, которые определяют его надежность. Доля таких конструктивных элементов зданий старой постройки составляет 40- 42 %, для построек послевоенных лет 53-55 %, современных крупнопанельных и сборно-монолитных - до 80% [2].

Отказ отдельного элемента, может и не приводить к отказу всей системы. Например, увлажнение утеплителя трехслойных стеновых панелей приводит к отсыреванию стен, нарушению температурного режима помещения (отказ элемента системы), тогда как железобетонные элементы каркаса продолжают выполнять несущую функцию (работа всей системы) [2].

Выбор показателя надежности. Согласно [3] надежность, как правило, выражается в вероятностных показателях.

Поскольку несущие конструктивные системы практически проектируются невосстанавливаемыми, то за показатель надежности по прочности системы в целом и ее элементов можно принять вероятность безотказной работы в течение заданного срока эксплуатации [1].

Формы представления показателя надежности. Случайный характер времени возникновения отказов, сложность объектов позволяет сделать вывод, что математическим аппаратом теории надежности может быть теория вероятностей и математическая статистика.

Для показателей надежности возможны две формы представления: вероятностная и статистическая. Вероятностная форма удобна при аналитических расчетах надежности, статистическая при экспериментальном исследовании надежности.

Вероятность безотказной работы объекта в интервале времени от 0 до t_0 может быть представлена:

а) вероятностная форма (1):

$$P(t_0) = P(0; t_0) = P\{\xi_1 \geq t_0\} = 1 - F_1(t_0) \quad (1)$$

где $P(t_0)$ - вероятность того, что объект проработает без наступления отказа в течение заданного промежутка времени t_0 , начав работать в момент времени $t = 0$;

ξ_1 - случайная наработка объекта до первого отказа;

$F_1(t) = P\{\xi_1 \leq t\}$ - распределение времени до первого отказа.

б) статистическая форма (2):

$$P'(t_0) = N(t_0)/N(0) = 1 - n(t_0)/N(0) \quad (2)$$

где $P'(t_0)$ - отношение числа объектов, проработавших без наступления отказа до момента времени t_0 к числу объектов, исправных в момент времени $t = 0$;

$N(t_0)$ - число работоспособных объектов к моменту t_0 ;

$n(t_0)$ - число отказавших объектов к моменту t_0 .

Отказ системы. Понятие безотказности здания в целом как сложной технической системы шире, чем для простой системы. В отличие от простых систем, где имеются только два возможных состояния - нормальное эксплуатационное и отказ, в зданиях большая часть конструкций и элементов может иметь несколько состояний, соответствующих частичным отказам и неисправностям. В связи с этим отказы конструкций классифицируют на две группы.

Первая группа: частичный отказ узла или элемента, восстановление или усиление которого приводит к полному восстановлению надежности здания. Он не приводит к прекращению функционирования здания, но он снижает качество его функционирования и эффективность. Такого рода приспособление здания к комплексу внешних воздействий возникает благодаря наличию некоторого запаса технических характеристик необходимых для выполнения заданных функций. Эти запасы формируются при обеспечении требований прочности и жесткости, звукоизоляции и теплоизоляции для отдельных элементов или групп элементов. В результате возможны такие виды резервирования: нагрузочное, структурное, функциональное и временное.

Структурное резервирование – использование избыточных элементов, входящих в структуру системы.

Нагрузочное резервирование – использование способности элементов системы воспринимать дополнительные нагрузки сверх проектных.

Функциональное резервирование - использование способности элементов системы выполнять дополнительные функции вместо основных или вместе с ними.

Временное резервирование – использование избыточного времени, выделенного для выполнения определенных задач.

Вторая группа: отказы наиболее ответственных элементов сооружений (фундаментов, колонн, балок), приводящие к полному отказу всего здания. Такие отказы конструкций могут быть внезапными, а усиление элементов связано с большими объемами работ.

Виды соединения элементов системы. Надежность системы зависит от вида соединения элементов. Различают системы с последовательным, параллельным и смешанным соединением элементов.

При последовательном соединении (рис. 1а) отказ системы определяется отказом любого из элементов системы.

Например, система состоит из k элементов с вероятностью безотказной работы P_1, P_2, \dots, P_k . Показатель надежности - вероятность безотказной работы системы в этом случае определяется по формуле (3):

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_k \quad (3)$$

Параллельное соединение (резервирование) (рис. 1б).

При параллельном соединении отказ системы происходит, когда отказывают все элементы. В строительных конструкциях параллельное соединение обычно не предусматривается. Однако элементы здания, имеющие большие запасы прочности или легкие режимы, могут быть представлены в качестве резервных элементов.

Например, система состоит из m параллельных элементов с вероятностью безотказной работы P_1, P_2, \dots, P_m . Система перестанет функционировать тогда, когда перестанут выполнять свои функции все ее элементы. Показатель надежности - вероятность безотказной работы системы в этом случае определяется по формуле (4):

$$P = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot \dots \cdot (1 - P_m) \quad (4)$$

Сложные системы со смешанным соединением:

- для системы с резервированием последовательностей элементов (рис. 1 в) вероятность безотказной работы определяется по формуле (5):

$$P = 1 - (1 - P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_k)^m \quad (5)$$

- для системы с комбинированным резервированием отдельных элементов (рис. 1 г) вероятность безотказной работы определяется по формуле (6):

$$P = [1 - (1 - P_1)^m] \cdot [1 - (1 - P_2)^m] \cdot \dots \cdot [1 - (1 - P_k)^m] \quad (6)$$

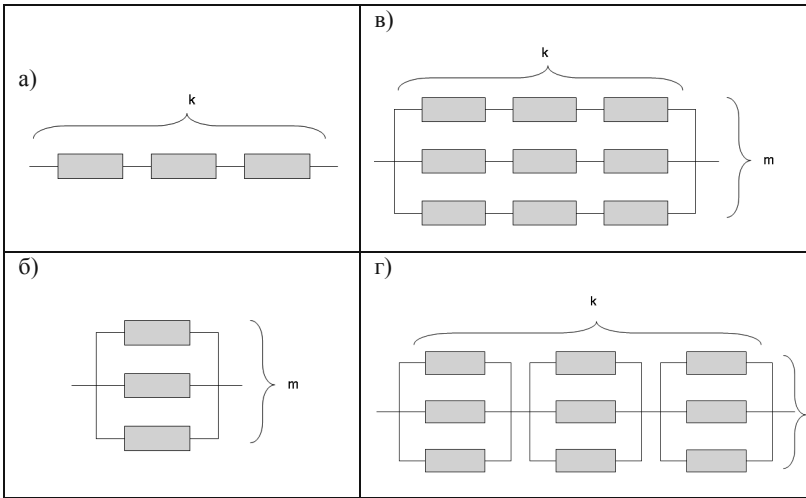


Рис. 1. Виды соединения элементов системы

Системный анализ надежности. Анализ надежности конкретных систем облегчается, если составить картину влияния отказов на систему. Для этого необходимо определить части системы, отказ которых вызывает отказ системы или увеличивает возможность ее отказа.

В [4] приводится системный анализ надежности железобетонного резервуара, представленный в табличной форме (рис. 2).

Также анализ надежности системы можно производить, пользуясь деревом отказов [4]. Это графическое представление взаимосвязей между исходными отказами отдельных элементов системы и событиями, приводящими к возникновению различных аварийных ситуаций, соединенных логическими знаками «и» и «или» (рис. 3).

Подсистема	Опасный элемент	Вероятность отказа опасного элемента	Факторы, порождающие опасные условия	Опасные условия	Возможная авария	Последствия аварии
Резервуар без обвязки						
Покраска	Панели покрытия	10^{-7}	Плохое замоноличивание швов между панелями, низкое качество сварных швов и закладных деталей	Разрыв диска покрытия или его части	Разрушение резервуара	Разрушение сооружений и близлежащих строений
	Стеновая панель	10^{-4}	Недостаточное количество арматуры или ее смещение по толщине панели	Разрушение панели от катлаба	То же	То же
Стены	Верхний стык	10^{-3}	Некачественный сварной шов или плохая анкеровка закладной детали	Отрыв стеновой панели от покрытия	То же	То же
	Нижний стык	10^{-4}	Недостаточное заземление панели, недостаточное армирование стыка	Разрушение стыка	То же	То же
	Плита днища	10^{-5}	Недостаточное армирование	Отрыв части днища	То же	То же
Днище	Основание резервуара	10^{-4}	Неоднородность основания, подкопы под днище	Разрушение от облого лагуба резервуара, разрушение днища	Повреждение резервуара	Потребуются усиление сооружения

Рис. 2. Системный анализ надежности железобетонного резервуара

В настоящее время для автоматизированного расчета безопасности и технического риска различных объектов используется программный комплекс АРБИТР. Он позволяет построить математические модели и рассчитать показатели свойств надежности, стойкости, живучести, устойчивости, технического риска, ожидаемого ущерба и эффективности, а также решать задачи оптимизации надежности различных объектов.

Вывод. Современные строительные объекты являются сложными техническими системами. Надежность таких объектов может быть установлена из анализа их конструктивных систем, в которых элементы (конструкции) связаны между собой в определенной последовательности и имеют различную степень влияния на надежность всей системы.

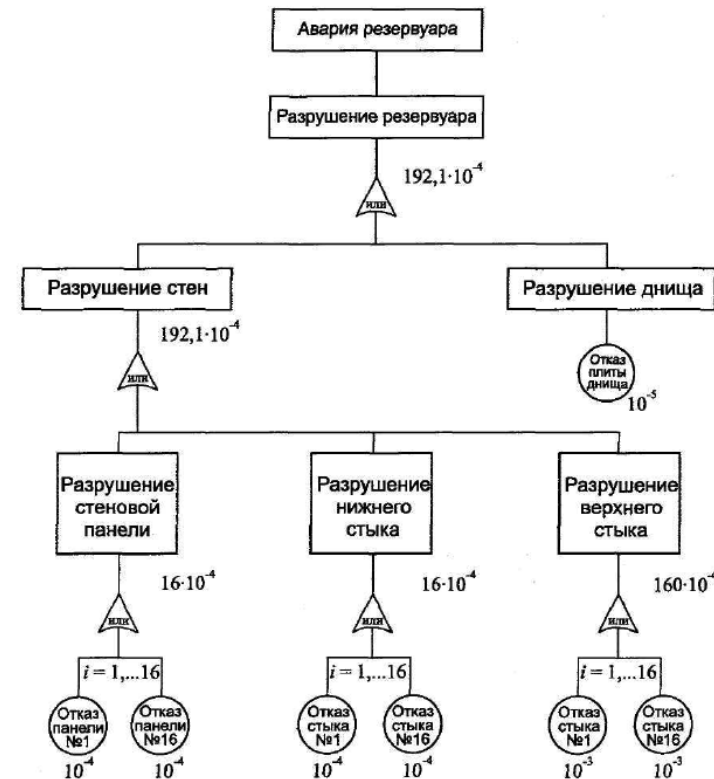


Рис. 3. Дерево отказов железобетонного резервуара

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ройтман А.Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий. - М.: Стройиздат, 1985. - 175 с.
2. Афанасьев А.А., Матвеев Е.П. Реконструкция жилых зданий. - М., 2008. - 479 с.
3. ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008. Система надійності та безпеки у будівництві. Основи проектування конструкцій. (EN 1990:2002, IDN).
4. Добромислов А.Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. - М.: Издательство АСВ, 2004. - 72 с.