

КОНЦЕПЦИЯ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ «ЗАПРОЕКТНЫХ» ВОЗДЕЙСТВИЯХ

В настоящее время оценка стойкости строительной конструкции в целом отождествляется с оценкой состояния расчетных (опасных) сечений элементов, в рамках «полувероятностного» метода предельных состояний. Более точно оценить случайный характер нагрузок, прочностных свойств и т.п. можно опираясь на теорию надежности, которая занимается исследованием закономерностей, связанных с анализом работоспособных систем. Однако требование работоспособности слишком жесткое для оценок свойств систем при внешних воздействиях (из-за остаточных возможностей конструкции). Этот недостаток пытается преодолеть относительно новая дисциплина, базирующаяся на теории надежности - теория живучести, занимающаяся исследованием закономерностей, связанных с анализом неработоспособных, с точки зрения теории надежности систем. Вводится понятие состояние способности (СС) системы – состояние системы, не удовлетворяющее требованиям работоспособности, но способное в течение заданного времени воспринимать нагрузки не разрушаясь. При этом здание/сооружение рассматривается как система, составленная из элементов – колонн, стен, перекрытий и т.д.

Аварии строительных конструкций обусловлены внешними воздействиями и/или отказами отдельных элементов конструкции (износ системы). Износ системы может быть выражен риском аварии (риск внутреннего отказа элемента). Прогноз риска аварии строительных объектов на основе классического вероятностного подхода невозможен, так как, в частности, ошибки, допускаемые в процессе проектирования, возведения и эксплуатации объекта, вносят существенную неопределенность в реакцию системы. Поэтому оценка риска может быть осуществлена на основе методов, в основе которых лежит понятие энтропии (мера неопределенности технического состояния системы). Положим, что риск аварии – число R , показывающее превышение проектного риска аварии ($R_{\text{про}} = 1$), вносимого по умолчанию в строительный объект при его проектировании. В работах А.П. Мельчакова принято, что при достижении предельного риска $R \geq R_{\text{п}} = 83$ несущая способность системы теоретически исчерпывается «дата аварии становится открытой». Риск аварии R можно вычислить, применив методики, основанные на экспертной оценке системы при помощи визуально-инструментального обследования системы. Относительный износ системы $R/R_{\text{п}}$. В рамках теории живучести внутренний или внешний инициатор будем называть повреждающим фактором ПФ. Под стойкостью элемента будем понимать вероятность P ($0 \dots 1$) того, что элемент не достигнет предельного состояния в течение времени t с момента начала воздействия ПФ, при этом критическая стойкость элемента $P_{\text{кр}}$ – величина стойкости элемента, достигнув которую, элемент переходит в предельное состояние. Под стойкостью системы будем понимать вероятность G ($0 \dots 1$) сохранения системой СС при ПФ, при этом критическая стойкость системы $G_{\text{кр}}$ – величину стойкости системы, достигнув которую, система переходит в предельное состояние.

После инициации сценарий развития аварии может быть двояким:

- локальное разрушение не приводит к дальнейшему разрушению конструкций (конструкция является стойкой, стойкость системы $G = 1$ при данном ПФ).
- локальное разрушение приводит к полному ($G = 0$ при ПФ) или частичному (стойкость $0 < G < 1$ при ПФ) обрушению конструкции. В этом случае будем считать, что произошло прогрессирующее (непропорциональное) разрушение.

Несущая способность системы связана с процессами накопления и отдачи механической энергии. Если подробно анализировать внутренний отказ в системе, то ему

предшествует фаза накопления каких-либо дефектов и/или повреждений в конструкции. На следующей фазе происходит неожиданный отказ одного из элементов или узла, в результате которого происходит сброс накопленной энергии. В свою очередь внешнее воздействие (например, взрыв) также можно охарактеризовать как выброс энергии. Если происходит резкий сброс энергии, то несущая способность изменяется также скачкообразно. Система скачком переходит в новое положение равновесия. Поэтому для определения стойкости системы можно применить энергетический метод, в основе которого лежит положение о том, что несущая способность в целом определяется величиной потенциальной энергии упругих деформаций Π^e ; сброс энергии также происходит за счет упругой энергии. Функция $\mu \in [\Pi^e \leftarrow +0] \Pi^e \leftarrow -0$ характеризует плавность изменения несущей способности с течением времени и равна относительной величине потерянной энергии в момент времени t . В точках непрерывности функции Π^e (плавное изменение несущей способности) функция $\mu = 1$, в точках разрыва (сброс энергии) $0 < \mu \leq 1$. Значение $\mu = 0$ означает полную потерю несущей способности (разрушение). То есть величину μ можно трактовать как стойкость системы в момент времени t .

При воздействии на конструкцию ПФ будем строить вероятностное дерево возможных событий (отказов). При этом элементы конструкции представляются в виде вершин дерева, а передаваемое воздействие от элемента к элементу – в виде дуг. Начальной вершиной дерева считается элемент, который получил воздействие ПФ. Каждая вершина графа наделяется весом – величиной стойкости P элемента конструкции. Каждая дуга графа наделяется весом – числом F от 0 до 1, равным сохранившейся доле передаваемого воздействия от вершины к вершине (от элемента к элементу). Двигаясь по дереву событий от начальной вершины, дойдя до следующей вершины, из которой исходят n дуг, будем продолжать движение по тем, которые ведут к вершинам с предельной стойкостью меньшей критической. При этом на каждом шаге вычисляется вероятность реализации каждого шага сценария $P_k \in$. Для детерминистской реализации алгоритма используется МКЭ.

В итоге алгоритм решения задачи оценки стойкости системы включает в себя:

- а) определение относительного износа системы R/R_{Π} ;
- б) построение дерева событий, вычисление вероятности его реализации $P(t)$;
- в) решение нелинейных задач, по определению напряженно-деформированного состояния, оценка стойкости элементов;
- г) вычисление изменения энергии $\mu \in [\Pi^e \leftarrow +0] \Pi^e \leftarrow -0$;
- д) расчет стойкости системы $G(t) = \left(\sum_{i=1}^K \mu_i \bar{P}_i \right) \frac{R}{R_{\Pi}}$.

Алгоритм повторяется с шага б) до тех пор, пока или стойкость всех элементов $P_k > P_{кр}$, или стойкость системы $G < G_{кр}$. И в том, и в другом случае на выходе имеем модель распространения запроектного воздействия в системе; вероятность реализации предельных состояний элементов и вероятностную оценку стойкости системы.