

РАСЧЕТ БЕЗОПАСНОГО РЕСУРСА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

А.П. Мельчаков, В.Г. Косогоров, И.С. Никольский

Изложен логико-вероятностный подход к оценке технического состояния зданий и сооружений, основанный на взаимосвязи информационной энтропии несущего каркаса объекта и его риска аварии. Приведена математическая модель расчета физического износа здания. Показана зависимость безопасного ресурса объекта от величины риска аварии на момент окончания строительства.

Время безопасной эксплуатации (ресурс) здания зависит от степени деградации его несущих конструкций, происходящей под влиянием различных системоразрушающих факторов (дефекты, старение, коррозия и др.). Интегральными показателями деградации являются физический (конструкционный) износ объекта и величина его фактического риска аварии.

В работе [1] за риск аварии объекта принята величина r , равная отношению фактической вероятности аварии здания к теоретической вероятности, закладываемой по умолчанию в объект при его проектировании. Величина r является случайной и на неограниченном множестве m -этажных зданий плотность ее вероятности подчиняется закону Рэлея [1]:

$$f(r) = (r-1)/\sigma^2 \cdot \exp[-(r-1)^2/2\sigma^2], \quad (1)$$

где параметр σ связан с математическим ожиданием (средним значением) риска аварии R соотношением:

$$R = 1 + 1,25\sigma, \quad (2)$$

Закон распределения (1) позволяет извлечь информацию о степени неопределенности технического состояния объекта. Такую информацию предоставляет энтропия риска аварии H , определяемая по формуле [2]:

$$H = -\sum P(A_i) \log_2 P(A_i), \quad (3)$$

где $P(A_i)$ - вероятность события, заключающегося в том, что риск аварии находится в i -м диапазоне значений риска, определяемых уравнением (1).

На рис. 1 приведен построенный на основе машинного эксперимента с формулами (1), (2) и (3) график функции $H(R)$ (пунктирная линия), показывающий зависимость энтропии от величины математического ожидания R закона (1) распределения риска аварии. Этот график аппроксимирован уравнением (сплошная линия) вида

$$H(R) = \log_{2,15} R, \quad (4)$$

и полученная таким образом зависимость по существу является законом деградации несущего каркаса объекта.

Известно [3], что любое изменение скорости энтропии информирует об изменении технического состояния объекта. На рис. 2 показана модель деградации несущего каркаса объекта, полученная

выделением на кривой, показанной на рис. 1, три линейных участка, на стыке которых скорость энтропии скачкообразно меняется. Решение о расположении стыковых точек на этой модели принято на основе анализа результатов оценки риска аварии, полученных при диагностике технического состояния зданий различного срока эксплуатации (новых, подержанных, аварийных и ветхо-аварийных).

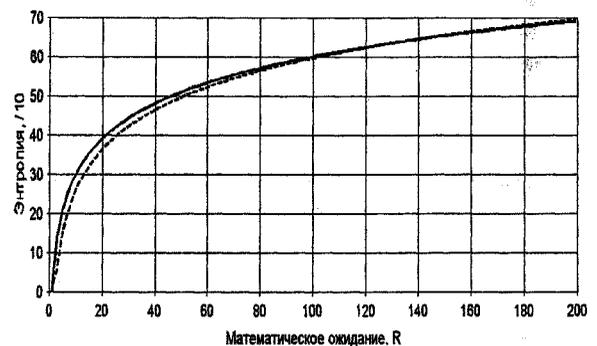


Рис. 1. Зависимость энтропии от среднего значения риска аварии



Рис. 2. Модель деградации несущего каркаса объекта

Полученная модель (рис. 2) позволяет утверждать:

1. Если риск аварии объекта не превышает предельно-допустимого значения, равного $R_{пл} = 21$, то состояние объекта следует трактовать как безопасное. В этом состоянии несущий каркас объекта способен сопротивляться не только проектным нагрузкам, но и неучтенным при проектировании нагрузкам в виде перегрузок, возникающих в чрезвычайных ситуациях (непроектные воздействия).

Безопасным ресурсом T_6 объекта является время его эксплуатации объекта с момента окончания строительства до достижения предельно-допустимого значения риска аварии.

2. Превышение рисков аварии предельно-допустимого значения означает переход объекта в аварийное состояние, при котором вероятность появления в несущих конструкциях трещин (предвестников аварии) становится ощутимой. В этом состоянии сопротивляемость несущего каркаса объекта непроектным воздействиям снижается, а с дальнейшим ростом риска аварии полностью исчерпывается. Как будет показано ниже, при достижении объектом предельно-допустимого риска величина его физического (конструкционного) износа составляет ~50 %. При такой величине износа требуется капитальный ремонт здания [4] с целью восстановления способности его несущего каркаса сопротивляться непроектным воздействиям. Если ремонтно-восстановительные мероприятия на объекте произведены не будут, то риск аварии растет и время достижения предельного значения риска, равного $R_n = 93$, определяет предельный ресурс T_n объекта.

3. При достижении рисков аварии предельного значения максимальной становится не только энтропия риска, но и величина конструкционного износа объекта. При $R > R_n$ способность несущего каркаса объекта сопротивляться любым нагрузкам теоретически исчерпывается. Такое состояние объекта принято считать ветхо-аварийным [4].

Безопасный ресурс здания, его физический (конструкционный) износ и фактический риск аварии - тесно связанные величины. При построении математических моделей для определения физического износа и ресурса объекта приняты две гипотезы:

1. Формой модели роста физического износа объекта в процессе его эксплуатации является экспонента. Ее представительным параметром служит фактический риск аварии R_ϕ , зафиксированный через T_ϕ лет эксплуатации объекта.

2. К моменту времени эксплуатации, когда риск аварии объекта достигает предельного значения R_n , физический износ объекта становится равным 0,95 (95 %).

Выбор формы модели физического износа объекта (1-я гипотеза) обоснован исследованиями ресурса конструкций в теории надежности [5], а вторая гипотеза введена по аналогии с «гамма» % ресурсом по износу, используемым в теории надежности [5].

Принятым гипотезам отвечает математическая модель, имеющая вид:

$$J_\phi = J(T) = 1 - \exp\{-0,0325(R_\phi - 1)\}. \quad (5)$$

Математическая модель (6) позволяет оценить физический износ (J_ϕ) эксплуатируемого здания (сооружения) на момент времени T . При $R_\phi = 1$ (момент начала строительства) формула (5) дает нулевой износ объекта, а при подстановке в фор-

мулу (5) $R_\phi = R_n = 93$ физический износ объекта равен 0,95. Износ при достижении объектом предельно-допустимого риска аварии $R_\phi = R_{nd} = 21$ равен $J_{nd} = 0,48$ (48 %).

В математической модели (5) фактор времени присутствует в неявном виде. Им является зафиксированный момент времени $T = T_c + T_\phi$, где T_c - время возведения (строительства) объекта, а T_ϕ - срок эксплуатации объекта, при котором произведена диагностика его технического состояния и рассчитан риск аварии, позволяющий по формуле (5) определить фактический износ объекта J_ϕ на момент времени T . Для расчета безопасного остаточного ресурса здания зависимость физического износа от времени в явном виде по аналогии с выражением (5) также принимается в форме экспоненты:

$$J(T) = 1 - \exp\{-i \cdot T\}, \quad (6)$$

где i - интенсивность физического износа объекта, определяемая из условия, что при $T = T_c + T_\phi$, величина износа известна и равна $J_\phi = J(T)$.

Безопасный остаточный ресурс T_{6o} определится по формуле

$$T_{6o} = T_{nd} - T, \quad (7)$$

где T_{nd} - время от начала строительства объекта до достижения им предельно-допустимого значения риска аварии. Время T_{nd} при найденном значении интенсивности найдется из уравнения (6), если принять, что $J(T = T_{nd}) = J_{nd} = 0,48$. Величина T_{nd} также можно определить из формулы, вытекающей из равенства правых частей зависимостей (5) и (6): $\{-0,0325(R_{nd} - 1)\} = \{-i \cdot T_{nd}\}$. Из этой формулы следует, что

$$T_{nd} = 0,65 / i. \quad (8)$$

Очевидно, если $R_\phi > R_{nd}$, безопасный остаточный ресурс объекта равен нулю.

Предельный срок службы объекта (T_n) можно спрогнозировать из условия, что при $T = T_n + T_c$ износ, согласно принятой гипотезы, известен и равен $J(T_n + T_c) = J_n = 0,95$. Здесь время ($T_n + T_c$) также можно определить из равенства: $\{-0,0325(R_n - 1)\} = \{-i \cdot (T_n + T_c)\}$, из которого следует, что

$$T_n = 2,99 / i - T_c. \quad (9)$$

Безопасный ресурс объекта существенным образом зависит от величины фактического риска аварии на момент сдачи его в эксплуатацию. Действительно, пусть после окончания строительства фактический риск аварии объекта нормальный ($R_\phi = R_n = 2$), а срок строительства был $T_c = 2$. Из формулы (5) следует, что фактический износ объекта к моменту сдачи его в эксплуатацию составил $J_\phi = 0,0319$ (3,19 %). Из формулы (6) определим интенсивность износа $i = 0,01625$ (1/лет), а при найденной величине интенсивности по формуле (8) находим время (T_{nd}) до достижения объектом предельно-допустимого риска R_{nd} : $T_{nd} = 40$ лет. Из формулы (7) следует, что безопасный ресурс объекта составил $T_6 = 38$ лет.

Теперь предположим, что фактический риск аварии объекта после окончания его строительства

превысил нормальное значение в два раза, т.е. $R_{\Phi} = 2R_n = 4$. В этом случае $J_{\Phi} = 0,0929$ (9,29 %); $i = 0,04875$ (1/лет); $T_{нд} = 0,65 / 0,04875 = 13,3$ лет; $T_6 = 13,3 - 2 = 11,3$ лет. Следовательно, превышение нормального значения риска аварии к окончанию строительства объекта в 2 раза, снизило безопасный ресурс объекта в 3,36 раза. Такова плата за превышение нормального значения риска аварии при строительстве зданий и сооружений.

В заключение следует отметить, что для эксплуатируемых зданий и сооружений наиболее значимым из показателей ресурса является безопасный остаточный ресурс $T_{бо}$. Если по истечению безопасного ресурса ремонтно-восстановительные мероприятия по снижению риска аварии на объекте произведены не будут, то величина $(T_n - T_{нд})$ является временем «дожития» объекта. В этот период жизни объекта его сопротивляемость непроектным воздействиям снижена и использование $(T_n - T_{нд})$ ресурса может привести к аварии, а зна-

чит и к убыткам, которые будут несоизмеримо выше стоимости предупредительных мероприятий.

Литература

1. Мельчаков А.П. К теории прогнозирования риска аварии объектов строительства// Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». - Выпуск 1. - 2001.
2. Венциэль Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей. -М.: Наука, 1969.
3. Скоробогатов СМ. Принцип информационной энтропии в механике разрушения инженерных сооружений и горных пластов. — Екатеринбург: УрГУПС, 2000.
4. Попов Г.Т., Бурак Л.Я. Техническая экспертиза жилых зданий старой застройки. 2-е изд., перераб. и доп. —Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1986.
5. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций.—М.: Машиностроение, 1990.