

## ПРОГНОЗ ФАКТИЧЕСКОГО РИСКА АВАРИИ КАК ОСНОВА РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА

**Е.А. Казакова**

При решении задачи обеспечения конструкционной безопасности зданий и сооружений необходимо применять технологии риск-менеджмента. Обязательным этапом риск-менеджмента является прогноз ожидаемой ситуации риска аварии объекта.

*Ключевые слова:* безопасность, риск аварии, ошибки людей, надежность, прогноз риска аварии.

Интегральным показателем конструкционной безопасности строительного объекта является величина его риска аварии. Если она не выше приемлемого значения, то такая безопасность объекта обеспечена. Это, в свою очередь, означает, что объект в период своего нормативного срока службы способен без обрушения конструкций несущего каркаса противостоять не только проектным нагрузкам, но и опасным воздействиям, возникающим в ситуациях, принятых называть чрезвычайными, но в настоящее время они уже не редкие события.

Главная угроза конструкционной безопасности строительного объекта – это человеческий фактор, а проще – ошибки людей, неизбежно сопровождающие проектирование и возведение объекта. В существующих нормах по расчету и конструированию строительных объектов они не учитываются. Блокировать ошибки людей способен независимый контроль риска аварии, наилучшим образом реализуемый при страховании объекта на случай аварии.

При решении задачи обеспечения конструкционной безопасности зданий и сооружений необходим комплексный подход, одним из составляющих которого являются технологии риск-менеджмента. Реализовать такой подход возможно лишь при наличии норматива на величину риска аварии и методики прогноза фактического риска аварии объекта на любой стадии его жизненного цикла.

Основные положения риск-менеджмента (базируются на методике прогноза и оценки риска аварии А.П. Мельчакова [1]):

1. За риск аварии принято отношение фактической и теоретической вероятностей аварии:

$$R = P_{\Phi} / P_T \quad (1)$$

2. Значение R можно определить следующим образом:

$$R = \frac{1}{\prod_{i=1}^n v} \quad (2)$$

где  $v$  – надежность группы несущих конструкций (например, колонны, плиты перекрытия и т. д.).

3. Нормативную базу для приемлемых значений риска аварии можно принять в виде

модели деградации, показанной на рис. 1, значения 15, 32 и 83 – это пороговые риски. Причем приемлемый риск аварии для только что построенных зданий равен двум, а 32 – это предельно-допустимый риск для эксплуатируемых зданий и сооружений.

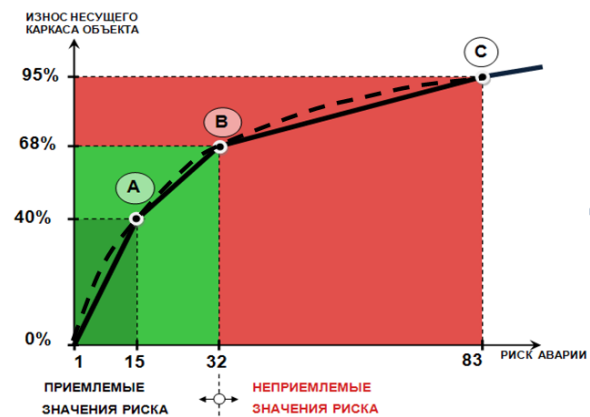


Рис. 1. Модель деградации строительного объекта

При достижении пороговых значений (см. рис. 1) строительный объект переходит в качественно иное состояние: при значении 15 – из безопасного (работоспособного) в ограниченно-работоспособное, при 32 – в аварийное, при 83 – в ветхо-аварийное. Доказано, что пороговые риски аварии не зависят ни от конструктивного типа здания, ни от его этажности: они являются инвариантами. При этом определение вида технического состояния позволяет принять правильное управленческое решение относительно необходимости тех или иных мер по обеспечению конструкционной безопасности: текущий, капитальный ремонт или срочная эвакуация людей.

Обязательным этапом регулирования уровня конструкционной безопасности эксплуатируемого здания является прогноз ожидаемой ситуации риска аварии объекта на конец страхового периода. Такой прогноз даст возможность определять оптимальные промежутки времени, через которые необходимо осуществлять полные и частичные сертификационные испытания, а также ляжет в

## Теория расчета строительных конструкций

основу расчета страхового периода, т. е. времени, на которое будет выдан страховой полис.

В первую очередь с этой целью необходимо правильно рассчитывать безопасный остаточный ресурс здания ( $T_{\text{бo}}$ ) – время, по завершении которого объект перейдет в аварийное состояние. В вышеописанной методике впервые была представлена формула для расчета безопасного остаточного ресурса, опирающаяся на значение риска аварии:

$$T_{\text{бo}} = T_{\phi}(32 - R_{\phi}) / (R_{\phi} - 1), \quad (3)$$

где  $R_{\phi}$  – риск аварии строящегося здания (сооружения) на момент времени  $T_{\phi}$ .

Но при всех своих достоинствах она не учитывает особенности процесса возведения здания, что в результате приводит к противоречивым результатам: чем больше строительство объекта, тем больше будет безопасный остаточный ресурс у законченного строительством объекта. Таким образом, формула нуждается в доработке, в частности, целесообразно представить  $T_{\phi}$  в виде:

$$T_{\phi} = T_{\text{стр}} \cdot k_1 + T_{\text{эк}}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{стр}}$  – время строительства объекта. В данном случае во время строительства  $T_{\text{стр}}$  считается с начала строительства до момента сдачи в эксплуатацию. При этом время «консервации», если такое имеется; время от момента окончания строительства до сдачи здания в эксплуатацию, а также другие факторы, увеличивающие время строительства, при которых здание подвергается проектным нагрузкам не в полном объеме, должны учитываться с поправочными коэффициентами;

$T_{\text{эк}}$  – время эксплуатации;

$k_1$  – коэффициент, учитывающий процесс возведения здания:

$$k_1 = w / (100 \cdot 12 \text{ мес}), \quad (5)$$

где  $w$  – площадь под графиком процесса возведения несущих конструкций здания (рис. 2).

Коэффициент  $k$  позволит учесть то, что несущие конструкции монтируются поэтапно, а не одновременно все сразу, в результате чего некоторые из групп конструкций к моменту окончания строительства «работают» буквально месяца.

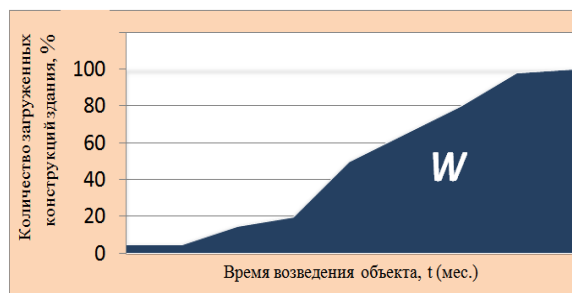


Рис. 2. Схема процесса возведения несущих конструкций объекта для определения  $W$

В случае отсутствия данных по процессу возведения конкретного здания, за  $T_{\text{стр}}$  принимается нормативный срок строительства для такого типа здания по СНиП 1.04.03-85\* «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений». Коэффициент  $k_1$  в таком случае принимается приближенно, исходя из конструктивной схемы здания и метода его возведения.

В результате, величиной  $T_{\phi}$  будет являться не абстрактное понятие момента времени, в который производится обследование, а конкретный временной период, включающий время строительства с учетом особенностей возведения и время эксплуатации.

Прогноз риска аварии строительного объекта заключается в определении ожидаемого значения риска через определенный промежуток времени. Посредством выражения из формулы (3) риска аварии получим:

$$R_{\phi} = \frac{32T_{\phi} + T_{\text{бo}}}{T_{\text{бo}} + T_{\phi}}. \quad (6)$$

Допустим, известен риск аварии в конкретный момент времени  $T_{\phi}$ . Определим значение риска через определенный временной промежуток (например, в качестве такового может являться страховой период)  $t$ :

$$\begin{aligned} R(T_{\phi} + t) &= R_{\phi} + \frac{31t}{T_{\phi} + T_{\text{бo}}} = \\ &= R_{\phi} + \frac{31t}{T_{\phi} + T_{\phi} \left( \frac{32 - R_{\phi}}{R_{\phi} - 1} \right)} = R_{\phi} + \frac{t(R_{\phi} - 1)}{T_{\phi}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, зависимость  $R$  от  $t$  – линейная. Но надо отметить, что такая зависимость будет наблюдаться лишь на протяжении определенного участка времени, так как в процессе эксплуатации строительного объекта ошибки человека, влекущие к появлению дефектов в конструкциях здания, к сожалению, практически неизбежны. Например, в результате чрезмерной нагрузки на перекрытие могут появиться трещины в плите перекрытия и т. д. На графике это выразится в увеличении угла наклона прямой (рис. 3). Тангенс угла наклона равен:

$$\text{tg} \alpha = \frac{R_{\phi} - 1}{T_{\phi}}. \quad (8)$$

На рис. 3 по завершении строительства риск аварии строительного объекта не превысил приемлемого значения 2 (точка 1). Прогнозируемый рост риска аварии выражен в угле  $\alpha_1$ . Далее сертификационные испытания проводились раз в 3 года. В точке 2 значение риска оказалось равно ожидаемому (см. рис. 3). При проведении сертификационных испытаний в точке 3 величина риска аварии более чем в 2 раза превысила ожидаемое значение.

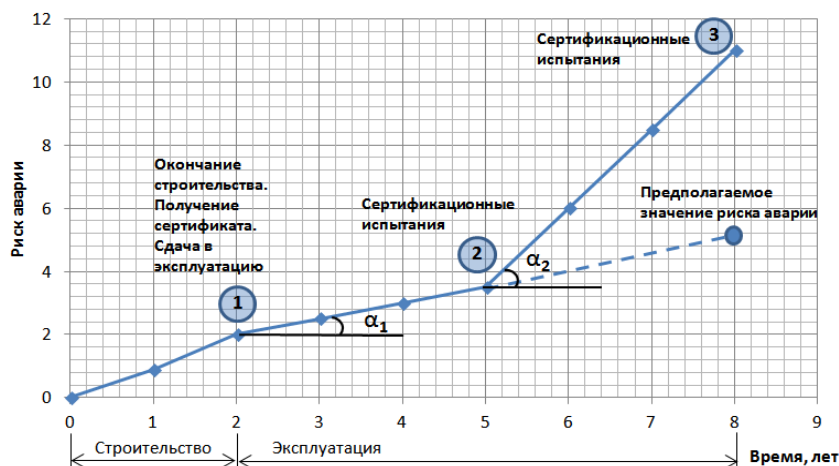


Рис. 3. Пример зависимости  $R(t)$  для конкретного объекта



Рис. 4. Зависимость  $R(t)$  на протяжении всего жизненного цикла здания

Это значит, что во временном промежутке между точками 2 и 3 из-за возникших дефектов в несущих конструкциях скорость риска аварии превысила предполагаемую. На графике это отразилось в увеличении угла наклона до  $\alpha_2$ .

В результате, если рассмотреть здание на протяжении от начала строительства до окончания его жизненного цикла, то зависимость  $R(t)$  будет представлена кусочно-линейной функцией (рис. 4).

При аппроксимации зависимость на рис. 3 будет близка к экспоненциальной (на графике показана пунктирной линией). Исходя из данного графика можно сделать следующий вывод: чем здание старше и чем выше у него  $R_{\phi}$  на момент обследования, тем на меньший промежуток времени можно спрогнозировать скорость роста риска аварии и соответственно тем чаще его надо обследовать.

Для того чтобы скорость риска аварии оставалась

относительно стабильной, необходимо периодически выполнять текущий ремонт строительного объекта. А своевременное выполнение капитального ремонта позволит предотвратить переход здания в аварийное состояние, т. е. достижение  $R_{\phi}=32$ .

Таким образом, зная значение риска аварии строительного объекта в определенный момент времени, можно определить его безопасный остаточный ресурс и спрогнозировать значение риска аварии на определенный промежуток времени.

**Литература**

1. Мельчаков, А.П. Прогноз, оценка и регулирование риска аварии зданий и сооружений: теория, методология и инженерные приложения: моногр. / А.П. Мельчаков, Д.В. Чебоксаров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 113 с.

## Теория расчета строительных конструкций

---

Казакова Елена Анатольевна, старший преподаватель кафедры «Строительство», Южно-Уральский государственный университет (филиал в г. Миассе), kazakova-miass@yandex.ru

*Поступила в редакцию 18 февраля 2014 г.*

---

***Bulletin of the South Ural State University  
Series "Construction Engineering and Architecture"  
2014, vol. 14, no. 2, pp. 11–14***

---

### **FORECAST OF AN ACTUAL ACCIDENT RISK AS A BASIS FOR RISK MANAGEMENT OF A CONSTRUCTION PROJECT**

*E.A. Kazakova, South Ural State University (Miass branch), Miass, Russian Federation, kazakova-miass@yandex.ru.*

**To ensure constructional safety of buildings and constructions it is necessary to apply technologies of risk management. An obligatory stage of risk management is a forecast of an expected situation concerning a risk of a facility accident.**

*Keywords: safety, accident risk, human errors, reliability, accident risk forecast.*

#### **References**

1. Melchakov, A.P., Cheboksarov, D.V. *Prognoz, ocenka i regulirovanie riska аварии zdaniy i sooruzhenij: teorija, metodologija i inzhenernye prilozhenija* [Forecast, Assessment and Regulation of Risk of Accident of Buildings and Constructions: Theory, Methodology and Engineering Appendices], Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2009, 113 p.

*Received 18 February 2014*