

**О РИСКЕ ОШИБОЧНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ
НЕСУЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

УДК 624.07

А.В. Семко

*Заведующий кафедрой архитектуры и городского строительства
Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка,
доктор технических наук, профессор, академик Академии строительства Украины*

Е.П. Воскобойник

*Докторант кафедры конструкций из металла, дерева и пластмассы,
старший научный сотрудник Полтавского национального технического
университета имени Юрия Кондратюка, кандидат технических наук*

Контроль технического состояния несущих строительных конструкций при обследовании зданий и сооружений приобретает все большее значение с увеличением износа основных фондов предприятий, построенных в 60-70 годы XX века, – в период массового строительства в СССР. Проблема определения технического состояния конструкций с учетом риска отказа была поднята в работах Перельмутера А.В. [1, 3], Савчука В.П. [4], Чиркова В.П. [2], Тамразяна А.Г. [5] и приобрела развитие в работах Савицкого Н.В. [6, 7], Худолея Е.Ю. [8], Семко А.В. [9].

Проведенный анализ свидетельствует, что стратегия эксплуатации зданий и сооружений основывается на принятии решений в условиях вероятностной неопределенности – отсутствии полной информации относительно параметров объекта строительства, полученной в результате выборочного контроля качества, обследования и диагностирования технического состояния. В качестве инструмента решения задач, связанных с обеспечением конструкционной безопасности и надежной эксплуатации объектов строительства, целесообразно применять теорию рисков. С математической точки зрения теория рисков является разделом теории вероятностей. Практически наиболее широкое распространение теория рисков получила в финансовой области применения: банковское дело и страхование, управление рыночными и кредитными рисками, инвестициями, бизнес-рисками, телекоммуникациями. Но на сегодня активно развиваются и нефинансовые направления, связанные с решением проблем угроз здоровью людей, окружающей среде, рискам аварии и т.д.

Таким образом, страхование технических рисков может служить эффективным экономическим механизмом обеспечения качества строительной продукции и конструктивной безопасности эксплуатируемых зданий и сооружений. Однако, в отечественной строительной практике страхование строительно-монтажных и технических рисков пока не получило широкого применения по целому ряду причин, в том числе и из-за отсутствия достоверной статистической информации об убытках при авариях строительных конструкций, особенно, если эти аварии происходят без человеческих жертв.

Цель статьи состоит в анализе вероятности ошибочной диагностики при выборочном обследовании строительных конструкций. Предложенный в статье аппарат может использоваться инженерами-проектировщиками, специализированными организациями, занимающимися обследованием конструкций, а также специалистами-актуариями для расчета актуарного страхового риска при страховании объектов недвижимости с учетом их фактического технического состояния.

Вопросы дисконтирования и финансовой амортизации основных фондов в статье не рассматриваются, хотя при необходимости они могут быть достаточно легко учтены в рамках предложенной методики.

Предлагается рассматривать потери от аварии Π_o , включающие такие составляющие:

$$\Pi_o = \Pi_k + \Pi_{об} + \Pi_n + \Pi_в + \Pi_l, \quad (1)$$

где Π_k – стоимость разрушенной конструкции (системы);

$\Pi_{об}$ – стоимость оборудования, пострадавшего при отказе конструкций;

Π_n – стоимость простоя, или потери от невыпущенной продукции;

$\Pi_в$ – стоимость восстановления конструкции (системы);

Π_l – неэкономические потери:

$$\Pi_l = P_l \cdot N_l \cdot C_l, \quad (2)$$

где P_l – вероятность пребывания количества N_l людей в зоне разрушения (отказа) конструкции (системы) за весь период эксплуатации;

C_l – страховые выплаты при гибели человека.

Риск – как количественная характеристика возможных потерь, причиненных случайными непредусмотренными событиями, которые вызывают частичное или полное разрушение сооружения, может быть выражен следующим образом:

$$R = P_{rob}(F) \cdot C,$$

где $R = P_{rob}$ – вероятность аварии;

C – количественная характеристика последствий (количество пострадавших, потери времени или денег).

Риск потерь при отказе (аварии) составляет

$$R_A = Q_K \cdot \Pi_o, \quad (3)$$

где Q_K – вероятность отказа конструкции (системы).

Риск потерь при нецелесообразном усилении составляет

$$R_{yc} = k \cdot C_{yc}, \quad (4)$$

то есть равен стоимости конструкции усиления (C_{yc}) с коэффициентом k , который учитывает технологические особенности выполнения усиления.

Усиленная конструкция имеет вероятность отказа $Q_{к,ус}$, при этом, как правило

$$Q_{деф} \gg Q_o \approx Q_{к,ус}, \quad (5)$$

где $Q_{деф}$ – вероятность отказа конструкции с дефектом;

Q_o – вероятность отказа конструкции без дефекта;

$Q_{к,ус}$ – вероятность отказа усиленной конструкции.

Таким образом, исходя из экономической целесообразности, при принятии решения о необходимости выполнения усиления конструкций с дефектами должно анализироваться соотношение риска потерь от отказа неусиленной конструкции с дефектом $R_{деф}$ и риска потерь при нецелесообразном усилении $R_{ус}$ – которое было принято в результате ошибочной диагностики, т.е.

$$R_{деф} > R_{ус}, \quad (6)$$

или

$$B_o \cdot Q_{деф} - B_o \cdot Q_{ус} - k \cdot c_{ус} > 0. \quad (7)$$

Кроме того, предлагается ввести понятие вероятности ошибочной диагностики элемента или конструкции обследуемого объекта. Ошибочность диагностики может заключаться как в отнесении аварийной или неработоспособной конструкции (элемента) к категории работоспособных (т.е. возникает неучтенный риск отказа), так и наоборот – отнесении работоспособного элемента к категории неработоспособных (риск запаса – убытки от ненужного усиления). Понятие «ошибочной диагностики» тесно связано с четкостью определения и разграничения технических состояний элементов и конструкций. В случае, когда технические состояния элементов резко и однозначно отличаются, при этом их диагностика также однозначна и безошибочна, то вероятность пропущенной аварийной конструкции определяется соотношением объема выборки детально обследованных конструкций (по которой делается заключение о техническом состоянии) к общему количеству конструкций (элементов) здания (системы). Но в действительности критерии технического состояния для элементов и конструкций размыты, даже при выполнении обследований одним специалистом, который имеет достаточный уровень квалификации. К тому же, как правило, обоснованность (объективность) решения о состоянии конструкции зависит от глубины, уровня и объема ее обследования.

Различают [11, 12] несколько уровней обследования:

- визуальное обследование;
- инструментальная фиксация количественных параметров дефектов и повреждений (измерение отклонения геометрических размеров, деформаций);

– определение постоянных и уточнение временных нагрузок, изучение физико-механических характеристик материалов, включающее разрушающий и неразрушающий контроль прочности.

Согласно действующим на сегодняшний день в Украине нормативным документам [11] различают четыре технических состояния несущих и ограждающих конструкций, а также зданий и сооружений в целом: I (нормальное), II (удовлетворительное), III (непригодное к эксплуатации), IV (аварийное). Конструкции, которым в результате обследования присвоена категория технического состояния III или IV, подлежат усилению или замене.

Учитывая вышеизложенное, при эксплуатации зданий возникает следующая задача. Например, у владельца (заказчика) имеется N строительных конструкций. Он подозревает, что n из них ($n \leq N$) аварийные или непригодные к эксплуатации (состояние III или IV). При отказе (аварии) этих конструкций сумма возможных потерь составляет P_o . Тогда риск убытков при отказе:

$$R_o = Q \cdot P_o, \quad (8)$$

где Q – вероятность отказа конструкции.

Заказчик, как правило, не имея собственных высококвалифицированных специалистов, которые могли бы дать достоверную оценку вероятности отказа Q , может:

1) провести обследование собственными силами, тогда $C_{обс1,min}$, получив при этом достаточно низкую доверительную вероятность оценки вероятности отказа Q ($P_{обс2,min}$) или большой интервал [$Q_{min}; Q_{max}$];

2) в предельном случае можно собственными силами разобрать и испытать весь объем эксплуатируемых конструкций, при этом стоимость обследования будет максимальной ($C_{обс1,max}$) и практически равна P_o :

$$C_{обс1,max} \approx P_o - P_{об} - P_{л}, \quad (9)$$

а достоверность полученных результатов составит $P_{обс1,max} \rightarrow 1$.

3) владелец может нанять соответствующих высококвалифицированных специалистов (специализированную организацию), которые могут дать оценку Q с высокой доверительной вероятностью $P_{обс,2}$. В этом случае доверительная вероятность экспертной оценки Q будет также зависеть от стоимости обследования ($C_{обс2,max}$ или $C_{обс2,min}$ – в зависимости от затрат времени и глубины обследования):

$$P_{обс,1}(C_{обс1,max}) \approx P_{обс,2}(C_{обс2,max}) < P_{обс,2}(C_{обс2,min}) \ll \ll P_{обс,1}(C_{обс1,min}),$$

то есть при максимальной стоимости обследования (испытания) надежность результатов практически не зависит от квалификации специалиста, но при $C_{обс,min} \ll C_{обс,max}$:

$$P_{обс,1}(C_{обс,max1}) \gg P_{обс,2}C_{обс,min2}. \quad (10)$$

Таким образом, заказчик обследований заинтересован, чтобы:

$$C_{обс} \ll P_o, \quad (11)$$

$$C_{обс} < R_o = Q \cdot P_o, \quad (12)$$

кроме того, при необходимости усиления:

$$C_{обс} + C_{ус} \leq R_o. \quad (13)$$

В результате из общего количества эксплуатируемых конструкций N , определяют n конструкций с дефектами, которые относятся к состоянию III (непригодное к эксплуатации) или IV (аварийное) и требуют усиления ($n \leq N$).

Вероятность отказа конструкций, пребывающих в техническом состоянии I (нормальном) или II (удовлетворительном) – Q_o , риск потерь от отказа таких конструкций соответственно составляет:

$$R_o = Q_o \cdot P_o. \quad (14)$$

Величина R_o является «приемлемым риском заказчика».

Вероятность отказа конструкций, которые относятся к состоянию III (непригодному к нормальной эксплуатации) или IV (аварийному) соответственно составляют значения Q_{III} и Q_{IV} , а риск потерь от их отказа:

$$R_{III} = Q_{III} \cdot P_o, \quad R_{IV} = Q_{IV} \cdot P_o. \quad (15)$$

Риски R_{III} и R_{IV} – являются «неприемлемыми рисками заказчика», то есть необходимо вмешательство в процесс эксплуатации таких конструкций – их усиление (ремонт).

Границей между величинами рисков R_o и R_{III} (R_{IV}), а следовательно и техническими состояниями является стоимость ремонта (усиления) конструкций $C_{рем}$.

Итак, когда:

1) стоимость ремонта превышает риск потерь от возможных убытков при отказе конструкции $C_{рем} > R$, тогда это риск R_o – с экономической и страховой точки зрения выполнение ремонта (усиления) нецелесообразно;

2) стоимость ремонта меньше или равна риску потерь от возможных убытков при отказе конструкции $C_{рем} \leq R$, тогда это риск R_{III} , или $C_{рем} \ll R(R_{IV})$.

Выводы

1. Предложенный в статье подход позволяет:

- определить объем «глубокой выборки» обследуемых конструкций исходя из анализа риска ошибочной диагностики и риска исполнителя (обследователя) и заказчика;
- определить стоимость обследовательских работ и усиления в зависимости от анализа риска возможных потерь при отказе (аварии) и неопределенности экспертной оценки технического состояния конструкций;
- решить задачу разграничения технических состояний строительных конструкций (особенно состояний II и III) на основе анализа соотношения рисков возможных потерь и рисков заказчика и поставщика (обследователя). Предложенная методика позволяет оценить риск от нецелесообразного усиления (ошибочного отнесения удовлетворительной конструкции к состоянию III) и наоборот «пропуска» аварийной или непригодной к эксплуатации конструкции.

2. Методика оценки страховых рисков позволяет определить оптимальную стоимость обследования. Для заказчика выгоднее избежать лишних затрат по ремонту (усилению) конструкций, особенно если возможные потери от их отказа незначительны и носят локальный характер. В то же время для специализированной организации, выполнявшей обследование, менее рискованным является увеличение количества усиливаемых конструкций.

3. Предложенный аппарат теории страховых рисков позволяет шире внедрить страхование строительных конструкций при эксплуатации и реконструкции.

Библиографический список

1. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А.В. Перельмутер. – К.: УкрНИИпроект-стальконструкция, 2000. 216 с.
2. Чирков В.П. Прикладные методы в теории надежности в расчетах строительных конструкций: Уч. пособие для вузов ж.-д. транспорта / В.П. Чирков. – М.: Маршрут, 2006. – 620 с.
3. Гордеев В.Н. О проекте ДБН «Общие принципы обеспечения надежности и безопасности зданий, сооружений, строительных конструкций и оснований» / В.Н. Гордеев, М.А. Микитаренко, А.В. Перельмутер // Будівельне виробництво: міжвідомчий наук.-тех. зб. – К., – 2003. – №44. – С. 50–58.
4. Савчук В.П. Байесовские методы статистического оценивания: Надежность технических объектов / Савчук В.П. – М.: Наука, 1989. – 328 с.

5. Тамразян А.Г. К оценке определения риска чрезвычайных ситуаций по основным признакам его проявления на сооружения / А.Г. Тамразян // Бетон и железобетон. – 2001. – №5. – С. 8-10.
6. Савицкий Н.В. Методология диагностики и оценки технического состояния несущих железобетонных конструкций / Е.Ю. Худолей, А.Н. Савицкий, Т.Д. Никифорова // Новини науки Придніпров'я. – №4. – 2004. – С. 46-52.
7. Савицкий Н.В. Интервальный метод для анализа неопределенностей в конструкциях с большим числом параметров / Н.В. Савицкий, А.Е. Бауск // Теоретические основы строительства / Сб. науч. тр. ПГАСА и Варшавского технического университета. – Варшава, 2007. – Вып. 15. – С. 33-41.
8. Худолей Е.Ю. Диагностика и оценка технического состояния железобетонных конструкций на основе выборочного контроля: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Е.В. Худолей. – Днепропетровск, 2004. – 185 с.
9. Семко А.В. К определению коэффициента надежности по назначению с учетом рисков в строительстве/ Семко А.В. Пичугин С.Ф. Махынко А.В. // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск, – 2005. - №11-12. – С. 104-109.
10. Семко О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій / О.В. Семко – К.: Сталь, 2004. – 320 с.
11. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. Затверджені спільним наказом Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України та Держнаглядохоронпраці України від 27 листопада 1997 р. за № 32/288.
12. ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що експлуатуються.