

Анализ организационно-технологических аспектов диагностирования зданий как фактора повышения качества строительной продукции на протяжении всего жизненного цикла объекта

*С.Г. Шеина¹, Ю.Д. Сергеев², Р.Ю. Мясищев², А.Ю. Сергеева²,
А.В. Мищенко²*

¹Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

²Воронежский государственный технический университет, Воронеж

Аннотация: В данной статье оцениваются различные методы определения технического состояния конструкций, зданий и сооружений. На сегодняшний день при решении задач определения степени разрушения строительных конструкций одним из возможных вариантов определения считаются вероятностные (статистические) методы. Преимуществом данных методов является возможность комплексно учитывать параметры, присутствующие в разнообразной материальной природе. Это связано с возможностью описания их безразмерными величинами. Смысл рассматриваемого метода состоит в том, чтобы формулировать определённое количество технических состояний (событий) благодаря которым планируется выполнять определение степени разрушения и находить совокупность технических состояний строительных конструкций. Диагностические матрицы создаются путем объединения диагностических признаков и их условных вероятностей, приобретаемые посредством анализа большого количества накопленных статистических данных.

Ключевые слова: строительно-техническая экспертиза, дефекты, надежность, методики диагностики, эффективность.

Эксплуатация зданий сопряжена с риском аварий, которые влекут за собой значительные финансовые потери и, к сожалению, нередко приводят к человеческим жертвам. Своевременные осмотры и выявление дефектов критически важны для предотвращения этих негативных последствий. Строительно-техническая экспертиза направлена на решения подобных задач [1, 2].

Ввиду того, что стройобъект является многоаспектной строительной системой, состоящей из множества взаимосвязанных элементов, для точного определения его технического состояния необходимы многоуровневые модели [3]. Эти модели позволят распознавать и оценивать степень разрушения, как отдельных компонентов, так и их групп и подсистем на всех

уровнях. В этой связи важно структурирование методов построения многокомпонентной, иерархичной классификации определения технического состояния стройобъекта, которая позволит анализировать состояние всех подсистем в любой период времени, интересующий пользователя [4].

При применении вероятностных (статистических) методов диагностики технического состояния строительных конструкций предполагается, что существует система, в которой состояние n на момент обследования является одним из возможных случайных результатов R_i .

Унификация параметров S^* дает видение о состоянии системы с определенной вероятностью. Логично разработать концепцию, которая бы присваивала конкретному набору параметров S^* одно из возможных определений степени разрушения R_i . Было выявлено, что случаи диагностирования строительных конструкций и всей строительной площадки в целом (R_i) являются случайными. Вероятность каждого из этих случаев $D(R_i)$ определяется распределением, которое представляет собой набор чисел, указывающих на вероятность каждого из событий R_i [5].

Логическая сумма (дизъюнкция) и логическое произведение (конъюнкция) служат инструментами для оценки вероятности различных технических состояний анализируемых строительных объектов (рис. 1).

Совокупность некоторого количества событий генерирует сегмент событий. Особенное значение включает понятие фундаментальной группы событий, означающее, что из всех событий в данном сегменте обязательно случится по крайней мере одно [6]. События считаются разнонаправленными, если они не могут произойти одновременно. Вероятность интеграции двух несовместных событий формулируется как сумма вероятностей любого из событий:

$$D(R_{12}) = D(R_1) + D(R_2). \quad (1)$$



Рис. 1. - Критерии для оценки вероятности различных технических состояний анализируемых строительных объектов

Если существует возможность достоверного появления одного из событий (R1 или R2):

$$D(R1) + D(R2) = 1. \quad (2)$$

В случае, когда два несовместных и независимых события $D(S_j \wedge R_i)$ совершаются синхронно: $D(S_j \wedge R_i) = 0$.

В случае, когда события совершаются синхронно и их исходы не связаны:

$$D(S_j \wedge R_i) = D(R_i S_j) = D(R_i) D(S_j). \quad (3)$$

Вероятность произведения событий произойдёт при условии, что события влияют друг на друга и происходят одновременно [7]:

$$D(R_i S_j) = D(R_i) D(S_j / R_i). \quad (4)$$

В формуле (4) событие R_i считается состоянием, которое обязательно совершится.

Существуют в теории вероятностей широко применяемые равенства. В рассматриваемом контексте данное равенство выглядит:

$$D(R_i S_j) = D(R_i) D(S_j / R_i) = D(S_j) D(R_i / S_j). \quad (5)$$

Главным достоинством статистических методов идентификации состояний (событий) будет считаться полное учитывание показателей, которые предполагают возможность описывать состояния безразмерными величинами [8, 9].

Группа несовместных событий состоит из события S_j , которое взаимодействует с одним из состояний $R_1, R_2, \dots, R_i$. То есть одно из состояний обязательно должно произойти, но все прочие состояния происходить одновременно не могут. Таким образом, аналогично формуле (1):

$$D(R_1) + D(R_2) + \dots + D(R_i) = 1.$$

Исходя из статистических данных состояния конструкций, полученных благодаря анализируванию вероятности диагнозов $D(R_1), D(R_2), \dots, D(R_i)$, известна частота распространённости признака S_j в каждом из состояний R_i . В таком случае, запишем вероятность совместного появления события S_j и его состояния R_i :

$$D(R_i S_j) = D(R_i) D(S_j / R_i) = D(S_j) D(R_i / S_j).$$

Благодаря этому высказыванию получена Байесовская формула. Ее можно записать следующим образом:

$$D(R_i / S_j) = D(R_i) \times \frac{D(S_j / R_i)}{D(S_j)}.$$
(6)

Вероятностный метод занимает главное место среди всех существующих методов технического диагностирования [10].

Рассмотрим подробнее величины, которые необходимы для строительных конструкций, зданий и сооружений [11].

$D(R_i / S_j)$ – это событие R_i , в результате которого стали известны признаки, влияющие на значительные повреждения объектов S_j .

$D(R_i)$ – это событие R_i , которое фиксируется по показателям на основе вероятности. (Следовательно, на этапе определения начальной степени повреждения N строительных конструкций i объектов пребывают в состоянии R_i):

$$D(R_i) = \frac{N_i}{N}. \quad (7)$$

После определения $D(R_i)$ система оказывается в одном из n состояний.

Поэтому целесообразно руководствоваться формулой (1):

$$\sum_{i=1}^n D(R_i) = 1. \quad (8)$$

$D(S_j/R_i)$ – это вероятная допустимость того, что признак, влияющий на разрушение S_j , появится у объектов с техническим состоянием R_i .

В тех случаях, когда в исследуемых N_i объектах, имеющих техническое состояние R_i , у части объектов N_{ij} проявился признак S_j , то тогда:

$$D(S_j/R_i) = \frac{N_{ij}}{N_i}. \quad (9)$$

$D(S_j)$ – это вероятность появления функции S_j на всех анализируемых объектах.

Как ожидается, среди всех N исследуемых строительных объектов функция идентифицирована в N_j .

Исходя из вышеизложенного:

$$D(S_j) = \frac{N_j}{N}. \quad (10)$$

На практике состояние зданий определяется с помощью совокупности признаков, которая включает в себя некоторое количество $S_1 \dots S_m$. Каждое

из них может содержать несколько чисел m с некоторой числовой основой ($S_{j1}, S_{j2}, \dots, S_{js}, \dots, S_{jm}$). Во время проверки определяется, обладает ли компонент здания определенным свойством с соответствующей категорией, то есть указывается, что реализация этого свойства в системе известна, и реализация целого набора свойств S^* считается известной [12].

В данном случае принимается равенство:

$$S_j^* = S_{jR}.$$

S_j^* выражает конкретное выполнение свойства.

Когда исследование основано на наборе признаков, определяющих степень разрушения конструкции, формула Байеса принимает вид:

$$D(R_i/S^*) = D(R_i)D(S^*/R_i)/D(S^*), \quad (11)$$

где $D(R_i/S^*)$ – допустимость определения степени разрушения R_i в случае очевидности результатов исследования по совокупности свойств S .

В случае, когда совокупность свойств состоит из ν диагностически независимых признаков:

$$D(S^*/R_i) = D(S_1^*/R_i)D(S_2^*/R_i) \dots D(S_j^*/R_i). \quad (12)$$

В практической деятельности с наличием множества признаков, влияющих на разрушение конструкций, что свойственно строительным проектам, можно предположить, что признаки независимы, даже если между ними существуют значительные корреляции [13, 14].

Вероятность возникновения совокупности свойств, влияющих на разрушение конструкций S^* :

$$D(S^*) = \sum_{R=1}^n D(R_R)D(S^*/R_R). \quad (13)$$

Теорема Байеса:

$$D(R_i/S^*) = \frac{D(R_i)D(S^*/R_i)}{\sum_{R=1}^n D(R_R)D(S^*/R_R)} \quad (14)$$

Знаменатель определенно неизменен всегда, что дает возможность первоначально установить возможность совместного возникновения i -го случая и данного восприятия набора функций:

$$D(R_i S^*) = D(R_i)D(S^*/R_i). \quad (15)$$

Далее устанавливаем условную вероятность случайного события, учитывая, что известны апостериорные данные, полученные после эксперимента:

$$D(R_i/S^*) = D(R_i S^*) / \sum_{R=1}^n D(R_i S^*). \quad (16)$$

Диагностическая Байесовская матрица формируется на основе первичного статистического материала для определения вероятности постановки диагноза методом Байеса.

Литература

1. Шеина С.Г., Аль-Фатла А.Н.М., Понеделко А.Ф., Грабовская В.Н. Организационно-технологические подходы проведения экспертизы качества и объема выполненных строительных работ // Инженерный вестник Дона, 2022, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7444.
2. Hussamadinu Raafat., Jansson Gustav, Mukkavaara Jani. Digital Quality Control System—A Tool for Reliable On-Site Inspection and Documentation // Luleå University of Technology. Sweden Buildings 2023. 13(2), 358 p. URL: doi.org/10.3390/buildings13020358.
3. Емельянов Д.И., Мышовская Л.П., Казарцева А.И. Повышение эффективности управления строительным производством на основе

применения комбинированных экспертно-модельных систем // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2017. №11. С. 46-51.

4. Соколов В.А. Многоуровневый вероятностный анализ технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений // XV научно-методическая конференция "Дефекты зданий и сооружений". СПб.: ВИТИ, 2011. С.54-63.

5. Тонков И.Л., Тонков Ю.Л. Актуальные проблемы оценки технического состояния строительных конструкций // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. Научно-технический журнал. 2017. № 3. С. 94–104. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.03.07.

6. Лapidус А.А., Экба С.И., Билонда Трегубова Е., Кормухин С.А. Методика оценки потребности проведения капитального ремонта для каждого типа многоквартирного дома // Инженерный вестник Дона, 2023, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8387.

7. Сергеева А.Ю., Сергеев Ю.Д., Мясичев Ю.В., Мясичев Р.Ю. Анализ факторов, влияющих на организационно-технологическую надежность строительства // IX Международная научно-практическая конференция "Проблемы современных экономических, правовых и естественных наук в России - синтез наук в конкурентной экономике". Воронеж: ВГТУ, 2021. С. 223-232.

8. Ведяков И. И., Соловьев Д. В., Коваленко А. И. Вероятностный подход к оценке риска прогрессирующего обрушения // Промышленное и гражданское строительство. Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. 2021. №10. С. 36-43. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.10.36-43.

9. Венцов Н.Н., Долгов В.В., Подколзина Л.А. Об одном способе построения запросов к базе данных на основе аппарата нечеткой логики //



Инженерный вестник Дона. 2015. №3 URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3172.

10. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Серебрякова Е.А. Модель управления запасами в строительной сфере, основанная на марковских случайных процессах // Инженерный вестник Дона. 2023. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2023/8235.

11. Mishchenko V., Sergeev Yu., Sergeeva A., Myasishev Yu., Myasishev R. Selection of methods of inspection of building structures to prevent damage // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures. Ural Federal University. 2020. pp. 012063. DOI: 10.1088/1757-899X/972/1/012063.

12. Henley E.J., Kumamoto H. Probabilistic risk assessment: Reliability Engineering, Design, and Analysis // IEEE Press. New York. 1992. 596 p.

13. Чернышева А.С., Чернышева Е.В. Технический надзор в строительстве // VI международная научно-практическая интернет-конференция "Актуальные проблемы менеджмента качества и сертификации". Белгород: БГТУ им В.Г. Шухова, 2016. С. 188-192.

14. Федотова М. И., Шмелев Г. Д. Прогноз риска аварии несущих строительных конструкций на основе расчета снижения несущей способности // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. Научный журнал. 2022. № 2(21). С. 30-37. DOI: 10.36622/VSTU.2021.21.2.003.

References

1. Sheina S.G., Al'-Fatla A.N.M., Ponedelko A.F., Grabovskaya V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7444.

2. Hussamadinyu Raafat., Jansson Gustav, Mukkavaara Jani. Luleå University of Technology. Sweden Buildings 2023. 13(2), 358 p. URL: doi.org/10.3390/buildings13020358.
3. Emel'yanov D.I., My'shovskaya L.P., Kazarceva A.I. FE'S: Finansy'. E'konomika. Strategiya. 2017. №11. pp. 46-51.
4. Sokolov V.A. XV nauchno-metodicheskaya konferenciya "Defekty` zdaniy i sooruzhenij". SPb., 2011. pp.54-63.
5. Tonkov I.L., Tonkov Yu.L. Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politexnicheskogo universiteta. Prikladnaya e'kologiya. Urbanistika. Nauchno-texnicheskij zhurnal. 2017. № 3. pp. 94–104. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.03.07.
6. Lapidus A.A., Ekba S.I., Bilonda Tregubova YE., Kormukhin S.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8387.
7. Sergeeva A.Yu., Sergeev Yu.D., Myasishhev Yu.V., Myasishhev R.Yu. IX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Problemy` sovremenny`x e'konomicheskix, pravovy`x i estestvenny`x nauk v Rossii - sintez nauk v konkurentnoj e'konomie". Voronezh, 2021. pp. 223-232.
8. Vedyakov I.I., Solov'ev D.V., Kovalenko A.I. Promy'shlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. Ezhemesyachny`j nauchno-texnicheskij i proizvodstvenny`j zhurnal. 2021. №10. pp. 36-43. DOI: 10.33622/0869-7019.2021.10.36-43.
9. Vencov N.N., Dolgov V.V., Podkolzina L.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3172.
10. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Serebryakova E.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2023/8235.
11. Mishchenko V.Ya., Sergeev Yu., Sergeeva A., Myasishev Yu., Myasishev R. In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and



Engineering. International Conference Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures. Ural Federal University. 2020. pp. 012063. DOI: 10.1088/1757-899X/972/1/012063.

12. Henley E.J., Kumamoto H. IEEE Press. New York. 1992. 596 p.

13. Cherny'sheva A.S., Cherny'sheva E.V. VI mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya internet-konferenciya "Aktual'ny'e problemy` menedzhmenta kachestva i sertifikacii". Belgorod: BGTU im V.G. Shuxova, 2016. pp. 188-192.

14. Fedotova M. I., Shmelev G. D. Housing and communal infrastructure. Scientific Journal. 2022. No. 2(21). pp. 30-37. DOI: 10.36622/VSTU.2021.21.2.003.

Дата поступления: 18.09.2025

Дата публикации: 28.10.2025