

СТРОИТЕЛЬСТВО. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ

УДК 624.046

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

Т. В. Золина

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

Представлены результаты анализа используемых в настоящее время в инженерной практике методик расчета и оценки уровня надежности строительных конструкций промышленных зданий, находящихся в эксплуатации. Вне зависимости от выбора управляющего критерия реализация концепции исследования сводится к вероятностной постановке. Низкая эффективность существующих методов и средств в решении проблемы оценки остаточного ресурса промышленного здания ведет к необходимости развивать методологию исследования кинетики изменения напряжений и деформаций в работающих конструкциях. В качестве научной гипотезы автором статьи выдвинуто предположение о возможности достоверного прогнозирования остаточного ресурса одноэтажного промышленного здания с мостовыми кранами только при учете вероятностной оценки влияния накопления повреждений на матрицу жесткости конструктивной системы. Подтверждение научной гипотезы достигается посредством развития теоретических основ и прикладных методов анализа изменения жесткостных характеристик несущей системы во времени эксплуатации объекта исследования.

Ключевые слова: надежность, остаточный ресурс, вероятностный подход, напряженно-деформированное состояние, несущая система, промышленное здание.

INDUSTRIAL BUILDINGS RESIDUAL RESOURCE EVALUATION METHODS DEVELOPMENT

T. V. Zolina

Astrakhan state University of architecture and construction

The paper refers to the results of calculation methods analysis and the reliability level of industrial building constructions evaluation, currently used in engineering practice. In spite of the choosing of the control test realization the concept study is reduced to probabilistic setting. Low efficiency of existing methods and tools in solving of the problem of evaluation of a residual life of an industrial building leads to the necessity of developing a methodology for investigation of the kinetics of the stress and strain changes in the working constructions. As a scientific hypotheses the author has suggested the possibility of a reliable prediction of a residual life of a single-stored industrial building with overhead cranes only by taking into account the probabilistic evaluation of the impact of the damage accumulation in the matrix stiffness of the structural system. Acknowledgement of this scientific hypothesis is achieved through the development of theoretical foundations and practical methods for analyzing changes in the stiffness characteristics of the bearing system during the researched object exploitation time.

Keywords: reliability, residual life, probabilistic approach, the stress-strain state, carrying system, industrial building.

Оценка уровня надежности строительных конструкций на сегодняшний день в подавляющем большинстве проектных решений основана на реализации концепции вероятностной оптимизации, сформулированной А. Р. Ржаницыным [1]. Ее дальнейшее развитие представлено в работах Я. М. Айзенберга [2], А. П. Булычева [3], А. Я. Дривинга [4, 5], С. В. Медведева [6], А. П. Пшеничкина [7], В. Д. Райзера [8], Н.Н. Складнева [9]. Вероятностное описание процесса эксплуатации строительных конструкций сводится к определению изменений в значениях их расчетных параметров в течение всего предполагаемого срока службы.

Следует заметить, что сегодня одним из направлений деятельности подавляющего большинства ведущих центров, занимающихся диагностикой технических систем, является решение проблемы обеспечения контроля над изменением напряжений и деформаций в работающих конструкциях. При этом эффективность существующих методов и средств проведения такого контроля остается достаточно низкой.

В современной инженерной практике для оценки остаточного ресурса промышленного здания используется несколько методик проведения экспертизы, в качестве определяющего критерия в которых выступают:

- срок проведения капитального ремонта согласно нормам эксплуатации [10–13];
- степень физического износа, выраженная в процентах [14];
- критический уровень техногенного риска при увеличении вероятности отказов объекта исследования [15];
- совокупность значений коэффициентов запаса по разным предельным состояниям при изменении во времени величины обобщенной нагрузки и деформаций [16];
- предельно допустимая величина повреждений при экстраполяции их значений, полученных по результатам серии обследований в продолжительном интервале времени эксплуатации объекта, при фиксированном уровне доверительной вероятности [17–21].

Для отдельных видов конструкций и сооружений в настоящее время при проведении экспертизы используются общепризнанные научно обоснованные и практически реализуемые методики определения остаточного ресурса, чего нельзя сказать о промышленном здании в целом. А потому на протяжении многих десятков лет остается открытым вопрос о разработке такой методики либо о принятии в качестве основной одной из вышеперечисленных, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Рассмотрим их подробнее.

1. Одним из наиболее простых методов оценки ресурса промышленного здания является установление нормативных сроков его эксплуатации в зависимости от специфики ведения технологических процессов. Указанные сроки для железобетонных и металлических конструкций приводятся в многочисленных документах, носящих как регламентирующий, так и рекомендательный характер. К примеру, для обеспечения безопасности объектов металлургических и коксохимических производств – РД 11-126-96 [10], для взрывопожароопасных и химически опасных строительных объектов – СА-03-006-06 [12] и т. д. При этом сроки назначаются либо исходя из условий эксплуатации, либо в зависимости от этажности здания.

2. Методика оценки остаточного ресурса здания, построенная на процентном определении степени физического износа, также широко применяется в практике проведения натурных исследований, к примеру, при формировании реестра объектов, требующих капитального ремонта либо подлежащих сносу [14]. Однако данный подход не позволяет отследить кинетику изменений в работе несущей системы конструкций каркаса по прошествии конкретного периода времени его эксплуатации.

3. В основу следующей методики инженерной оценки остаточного ресурса промышленного здания положен показатель надежности, определяемый вероятностью безотказной работы конструкций каркаса в течение заданного срока службы.

В общей теории надежности отказ трактуется как утрата объектом необходимого качества. Для отдельных конструктивных элементов одного здания имеется возможность возникновения разных вариантов отказа, каждому из которых соответствует своя величина потерь, вызванная утратой объектом работоспособного состояния [15].

Если в качестве критерия принять степень определенности возможных потерь, то все отказы можно классифицировать на две группы: четкие и нечеткие. Первой из них поставим в соответствие область с четкой границей пространства допустимых состояний конструкции.

Выход за пределы установленной границы при этом сопровождается полным значением величины потерь. Группе нечетких отказов в пространстве допустимых состояний конструкции соответствует область, не имеющая четкой границы. Ее пересечение при этом сопровождается постепенно возрастающими потерями. С точки зрения рассматриваемой проблемы к четкому отказу можно отнести потерю несущей способности статически определимой конструкции, а к нечеткому – развитие пластических деформаций или накопление повреждений в изгибаемом элементе.

Основной проблемой построения методики оценки остаточного ресурса здания при выборе в качестве управляющего критерия вероятности отказа либо уровня риска является установление предельно допустимого срока его эксплуатации.

4. Методика, построенная на использовании предельных состояний, предполагает отказ от детального анализа других отличных от экстремального состояний объекта, согласно условиям наступления которого и формируются требования к объекту [16]. Представленный подход основан на дифференцировании обобщенного коэффициента запаса через систему показателей, отражающих отдельные факторы влияния на величину остаточного ресурса промышленного здания, оборудованного мостовыми кранами.

Действующие на данный момент своды правил вводят совокупность коэффициентов запаса по надежности зданий и сооружений, условиям их работы, используемым материалам и т. д. Таким способом в нормативных документах решается задача обеспечения заданного уровня надежности здания и отдельных его конструктивных элементов еще на стадии проектирования.

При всей научной обоснованности установленных детализированных коэффициентов запаса подобный подход не позволяет достоверно оценить фактическую надежность несущей системы через вероятностные характеристики состояния объекта в заданный момент времени эксплуатации при нормальных, а не экстремальных значениях нагрузок.

5. Метод экстраполяции выявленных в ходе обследований параметров повреждений дает возможность отследить динамику их накопления в процессе эксплуатации промышленного здания, а следовательно, определить срок наступления предельно допустимого состояния. При этом достоверность построения прогноза состояния технической системы вступает в зависимость от выполнения следующих условий:

- проведения непрерывного либо периодического его мониторинга;

- установления критериев предельных значений показателей;
- эффективности средств и методов сбора и обработки статистической информации;
- выбора линейного, полиномиального, логарифмического либо экспоненциального уравнения регрессии, наилучшим образом отображающего закономерности накопления повреждений;
- отсутствия опасности внезапных отказов.

Следует заметить, что указанная методика оценки ресурса промышленного здания сводится к сбору, обработке и анализу выборочной совокупности данных наблюдений за факторами воздействия и ответными реакциями на них со стороны обследуемого объекта. Основной проблемой в данном случае является обеспечение заданной статистической надежности получаемых результатов, что зависит от периодичности проведения обследований и технических характеристик контрольно-измерительной аппаратуры. Очевидно, что непрерывный мониторинг процесса развития разрушений позволяет накопить больший объем информации о состоянии объекта. Однако при отсутствии комплексного подхода к анализу полученных данных его проведение не гарантирует повышения точности построения прогноза о развитии ситуации в будущем.

На современном этапе отечественный строительный комплекс, к сожалению, не имеет возможности заполучить в свое распоряжение серийное оборудование для осуществления непрерывного контроля над техническим состоянием объектов. А потому для обеспечения долговременного характера проводимых измерений возникает необходимость в расширении интервала времени.

Часто результаты мониторинга напряженно-деформированного состояния одного и того же объекта, выполненные разными организациями, представляются несопоставимыми и противоречивыми. Поэтому заказчику трудно определиться с регламентом проведения требуемых ремонтно-восстановительных работ.

Для реализации метода, построенного на корреляции уровней временных рядов известных значений напряжений в отдельных точках расчетной схемы объекта, требуется разработка комплексного подхода к исследованию изменений жесткостных характеристик каркаса под действием нагрузочного фактора в процессе эксплуатации.

Таким образом, в качестве научной гипотезы дальнейших исследований автором статьи выдвинуто предположение о том, что достоверное прогнозирование остаточного ресурса одноэтажного промышленного здания с мостовыми кранами возможно только при учете вероят-

ностной оценки влияния накопления повреждений на матрицу жесткости конструктивной системы. Реализация подхода к исследованию, основанного на комплексном анализе изменения жесткостных характеристик несущей системы во времени эксплуатации объекта, позволила оценить возможность модернизации производства и определить сроки проведения требуемых ремонтно-восстановительных работ.

Для подтверждения научной гипотезы выполнен последовательный ряд действий, направленных на решение общей проблемы оценки ресурса промышленного здания в любой фиксированный момент времени его эксплуатации при выборе в качестве определяющего критерия 10%-ного снижения частоты по первой форме собственных колебаний. Для достижения цели настоящего исследования [22–27]:

- проведены натурные эксперименты технического состояния конструктивных элементов одноэтажных зданий производственных цехов с целью выявления наиболее характерных повреждений, влияющих на снижение силового сопротивления;
- выявлены неучтенные факторы и варианты построения конструкций, вызывающие деформативность каркаса, при выборе расчетной схемы, наиболее полно отражающей напряженно-деформированное состояние несущих конструкций промышленного здания, оснащенного мостовыми кранами;
- классифицированы нагрузки по характеру и длительности возмущающих воздействий и обосновано доленое участие каждой из них в величине обобщенной нагрузки;
- разработан комплекс математических моделей по расчету зданий и сооружений на статические и динамические нагрузки на принципах вероятностного подхода;
- проведен сравнительный анализ амплитуд колебаний, вызванных работой боковых сил при перекосном движении крана, направленных поперек рельсовых путей, и торможением крановой тележки с целью выявления запроектных составляющих обобщенной нагрузки;
- обоснован выбор наиболее неблагоприятного для восприятия каркасом здания сочетания нагрузок;
- сформирована схема управления процессом вероятностной оценки напряженно-деформированного состояния несущих конструкций промышленного здания;
- построен алгоритм решения обратной задачи, позволяющей скорректировать матрицу жесткости в зависимости от изменения смещений в расчетных точках каркаса;
- скоррелированы уровни временных рядов значений напряжений в отдельных точках

расчетной схемы при проведении первого обследования на этапе сдачи объекта в эксплуатацию;

- определены функции фиктивной нагрузки и работоспособности здания, учитывающие динамику изменения напряжений в отдельных конструктивных элементах каркаса, возникающих под воздействием совокупности факторов;
- построен прогноз снижения несущей способности здания, подверженного внешним и внутренним воздействиям, по истечении конкретного срока эксплуатации объекта на основе выведенных регрессионных зависимостей;
- автоматизирован статический и динамический расчет работоспособности промышленного здания при атмосферных воздействиях и нагрузках, вызванных работой мостовых кранов;
- сопоставлены результаты реализации предлагаемого аналитического аппарата с экспериментальными данными и с методами расчета, представленными в научно-нормативной литературе;
- дана оценка адекватности разработанного комплекса моделей при варьировании опреде-

ляющих параметров функционирования объекта и условий его эксплуатации;

- разработана система конструктивных мер, направленных на снижение деформативности и улучшение эксплуатационных качеств объекта.

В заключение следует сделать вывод о том, что развитие методологии определения остаточного ресурса промышленного здания позволило оценить фактическую надежность объекта исследования и спрогнозировать достижение сроков преодоления граничных значений области допустимых состояний конструкций каркаса, в рамках которых обеспечивается безопасное их функционирование. Реализация разработанных методов построена на учете определенного числа не ликвидированных в процессе строительства и накопленных в процессе эксплуатации критических дефектов, снижающих прочность, устойчивость и долговечность конструкций. Эти дефекты не представляют прямой угрозы до тех пор, пока сохраняются нормальные условия эксплуатации. Степень повреждений и обрушений здания находится в прямой зависимости от потенциала заложенных в него критических дефектов.

Список литературы

1. Ржаницын А. Р. Определение характеристик безопасности и коэффициентов запаса из экономических соображений // Вопросы теории пластичности и прочности строительных конструкций. М. : Стройиздат, 1961. С. 5–21.
2. Айзенберг Я. М., Килимник Л. Ш. О критериях предельных состояний и диаграммах «восстанавливающая сила – перемещение» при расчетах на сейсмические воздействия // Сейсмостойкость зданий и инженерных сооружений. М. : Стройиздат, 1972. С. 46–60.
3. Бульчев А. П. Вероятностно-экономический метод определения эквивалентных нагрузок на несущие элементы зданий // Строительная механика и расчет сооружений. 1982. № 1. С. 6–9.
4. Дривинг А. Я. К определению числовых характеристик надежности конструкций и сооружений с чисто экономической ответственностью // Проблемы надежности в строительной механике : материалы 2-й Всесоюзной конференции по проблемам надежности в строительной механике. Вильнюс, 1968. С. 43–49.
5. Дривинг А. Я. Рекомендации по применению экономико-статистических методов при расчетах сооружений с чисто экономической ответственностью. М. : ЦНИИСК, 1972. 61 с.
6. Медведев С. В. К вопросу об экономической целесообразности антисейсмического усиления зданий // Вопросы инженерной сейсмологии. Изв. АН СССР. 1962. № 7.
7. Пшеничкин А. П. Основы вероятностно-статистической теории взаимодействия сооружений с неоднородно деформируемыми основаниями. Волгоград : ВолгГАСУ, 2006. 226 с.
8. Райзер В. Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. М. : Стройиздат, 1986. 194 с.
9. Складнев Н. Н. Оптимальное проектирование конструкций и экономия материальных ресурсов // Строительная механика и расчет сооружений. 1982. № 6. (Приложение к журналу). С. 17–22.
10. РД 11-126-96. Методические рекомендации по организации и осуществлению контроля за обеспечением безопасной эксплуатации зданий и сооружений на подконтрольных металлургических и коксохимических производствах.
11. Рекомендации о порядке осуществления государственного контроля за соблюдением требований строительных норм и правил при производстве строительного-монтажных работ на объектах производственного назначения / Госархстройнадзор России. М. : ГУП ЦПП, 1997. 22 с.
12. СА-03-006-06. Методические указания по проведению технического обслуживания, ремонта, обследования, анализа промышленной безопасности производственных зданий и сооружений предприятий, эксплуатирующих взрывопожароопасные и химически опасные объекты. М., 2008. 236 с.
13. Ханухов Х. М. Нормативное обеспечение безопасной эксплуатации зданий и сооружений и мониторинг их технического состояния // Предотвращение аварий зданий и сооружений : сб. науч. трудов. Вып. 8. М. : МДП, 2009. С. 146–165.
14. Садчиков П. Н. Управление структурой инвестиций в ветхий и аварийный жилищный фонд (на примере г. Астрахани) : дис. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2008. 195 с.
15. Мельчаков А. П., Чебоксаров Д. В. Прогноз, оценка и регулирование риска аварии зданий и сооружений. Теория, методология и инженерные приложения. Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2009. 111 с.
16. Суцев С. П., Самолинов Н. А., Адаменко И. А. Остаточный ресурс конструкций (сооружений) и возможные методы его оценки // Предотвращение аварий зданий и сооружений : сб. науч. трудов. Вып. 8. М. : МДП, 2009. С. 320–327.
17. Байбури А. Х., Иванов А. Е., Байбури Д. А. Некоторые аспекты оценки остаточного ресурса строительных конструкций // Предотвращение аварий зданий и сооружений : сб. науч. трудов. Вып. 10. М. : МДП, 2011. С. 140–150.

18. Бедов А. И., Знаменский В. В., Габитов А. И. Оценка технического состояния, восстановление и усиление оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений : учеб. пособие : в 2 ч. Ч. 1. Оценка технического состояния оснований и строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений / под ред. А. И. Бедова. М. : Изд-во АСВ, 2014. 704 с.
19. Дормидонтова Т. В. Комплексное применение методов, средств контроля для диагностики и мониторинга строительных систем : монография / Самарский гос. арх.-строит. ун-т. Самара, 2011. 158 с.
20. Дормидонтова Т. В., Евдокимов С. В. Комплексное применение методов оценки надежности и мониторинга строительных конструкций и сооружений : монография. Самара : СГАСУ, 2012. 128 с.
21. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам / ЦНИИпромзданий. М., 1989. 112 с.
22. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Прогнозирование надежности здания при исследовании динамики его напряженно-деформированного состояния // Вестник МГСУ. 2015. № 10. С. 20–31.
23. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Методика оценки остаточного ресурса эксплуатации промышленного здания, оснащенного мостовыми кранами // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура, вып. 33(52). Волгоград : ВолгГАСУ, 2013. С. 51–56.
24. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Моделирование изменений матрицы жесткости промышленного здания в процессе его эксплуатации // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 19–20.
25. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Моделирование работы конструкций промышленного здания с учетом изменения жесткости в процессе эксплуатации // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 69–76.
26. Золина Т. В., Садчиков П. Н. Концептуальная схема исследования напряженно-деформированного состояния промышленного здания // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура, вып. 33(52). Волгоград : ВолгГАСУ, 2013. С. 47–50.
27. Золина Т. В., Туснин А. Р. Увеличение срока эксплуатации промышленного объекта введением конструктивных мер // Вестник МГСУ. 2015. № 6. С. 41–49.

© Т. В. Золина

Ссылка для цитирования:

Золина Т. В. Развитие методов оценки остаточного ресурса промышленного здания // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2016. № 3 (17). С. 35–39.