

Технико-экономическая оценка долговечности и остаточного ресурса эксплуатации объекта строительства

Хайруллин В.А., Салов А.С., Терехов И.Г., Масалимов Р.Б.

Объективная количественно измеримая технико-экономическая оценка долговечности и остаточного ресурса эксплуатации здания (сооружения) является одной из важнейших прикладных задач в сфере обеспечения безопасности эксплуатации объектов строительства, требующих своего разрешения в целях осуществления прогнозирования во времени величины остаточного ресурса до момента израсходования объектом технической и экономической целесообразности эксплуатации. В данном исследовании представлен метод оценки долговечности и остаточного ресурса эксплуатации уже функционирующего сооружения, натурное обследование которого было проведено авторами ранее. В разделе Материалы и методы авторами представлена теоретическая часть с расчётными формулами технико-экономической оценки долговечности и остаточного ресурса эксплуатации объекта строительства. Представлен теоретический вид оценки физической, моральной и экономической долговечности. В качестве объекта строительства, который был использован авторами для наглядной демонстрации технико-экономической оценки долговечности и остаточного ресурса эксплуатации выбрано инженерно-техническое сооружение – эстакада. В разделе Результаты авторы представили: 1. Характеристику объекта строительства, натурное обследование которого проводилось авторами данной статьи; 2. Представлен расчёт: средней величины повреждений отдельных видов конструкций; коэффициента значимости отдельных видов конструкций; значение постоянной износа, полученное в процессе натурального обследования на основании изменения несущей способности в момент обследования объекта строительства; оценка относительной надёжности, определяемой по категории технического состояния конструкции в зависимости от ее повреждений согласно таблицы 1; значение срока эксплуатации в годах на момент обследования. 3. Представлены количественно измеримые показатели (в годах) долговечности и остаточного ресурса эксплуатации объекта строительства.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

ГОСТ 7.1-2003

Ахундов Э.Р. Технико-экономическая оценка долговечности и остаточного ресурса эксплуатации объекта строительства // Дискуссия. – 2022. – Вып. 115. – С. 52-70.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Физический износ здания, техническая эксплуатация здания, эффективная эксплуатация здания, восстановительная стоимость здания, первоначальная стоимость здания, надёжность здания, жизненный цикл здания, экономика строительства.

JEL: C130, C180, C410

DOI 10.46320/2077-7639-2022-6-115-52-70

Technical and economic assessment of the durability and residual service life of the construction object

Khairullin V.A., Salov A.S., Terekhov I.G., Masalimov R.B., Masalimov R.B.

An objective, quantitatively measurable technical and economic assessment of the durability and residual life of a building (structure) is one of the most important applied tasks in the field of ensuring the safety of the operation of construction projects that require their permission in order to predict the value of the residual life in time until the object is used up by the technical and economic feasibility operation. This study presents a method for assessing the durability and residual service life of an already functioning structure, a full-scale survey of which was conducted by the authors earlier. Materials and Methods section presents the theoretical part with calculation formulas for the technical and economic assessment of the durability and residual service life of the construction object. A theoretical assessment of physical, moral and economic durability is presented. An engineering and technical structure - an overpass was chosen as a construction object, which was used by the authors for a visual demonstration of the technical and economic assessment of durability and residual service life. Results section includes: 1. The characteristics of the construction object, the full-scale survey of which was carried out by the authors of this article; 2. The calculation of the average damage value of certain types of structures: the coefficient of significance of certain types of structures; the value of the wear constant obtained during a full-scale survey based on the change in load-bearing capacity at the time of the survey of the construction object; an assessment of relative reliability determined by the category of technical condition of the structure depending on its damage according to Table 1; the value of the service life (in years) at the time of the survey is presented. 3. Quantitative indicators (in years) of the durability and residual service life of the construction object are presented.

FOR CITATION

Khairullin V.A., Salov A.S., Terekhov I.G., Masalimov R.B., Masalimov R.B. Technical and economic assessment of the durability and residual service life of the construction object. *Diskussiya [Discussion]*, 115, 52–70.

APA

KEYWORDS

Physical deterioration of the building, technical operation of the building, effective operation of the building, the replacement cost of the building, the initial cost of the building, the reliability of the building, the life cycle of the building, the economics of construction.

JEL: C130, C180, C410

ВВЕДЕНИЕ

Цель данного исследования – содержательное описание прикладного применения метода оценки долговечности и остаточного ресурса эксплуатации действующего объекта строительства.

Поставленная цель исследования предполагает решение следующих задач:

1. Рассмотреть вопросы существующего методического обеспечения в области долговечности и остаточного ресурса при технической эксплуатации зданий;

2. Раскрыть взаимосвязь между понятием эксплуатации здания, физическим и моральным износом здания;

3. Проанализировать факторы, влияющие на долговечность и остаточный эксплуатационный ресурс объекта строительства;

4. Представить прикладное применение метода оценки долговечности и остаточного эксплуатационного ресурса объекта строительства.

Важнейшими характеристиками любого здания (сооружения) являются их долговечность и остаточный ресурс эксплуатации. Это объясняется, тем что эксплуатирующую организацию (пользователя объекта строительства), интересует, сколько прослужит здание (сооружение), в котором осуществляется хозяйственная деятельность и (или) проживание людей, и с какими проблемами технической эксплуатации предстоит столкнуться со временем. Долговечность объекта строительства может быть определена сроком службы несменяемых конструкций здания (сооружения). Под несменяемостью подразумевается отсутствие технической возможности полной замены отдельных конструкций при работах по воспроизводству эксплуатационного ресурса объекта строительства (ремонт, реконструкция), в первую очередь фундаментов, перекрытий и стен. Существует техническая возможность частичной замены, например части стены или фундамента, или определенных их элементов, и полной замены различных сменяемых конструкций: кровельные и фасадные покрытия, оконные и дверные блоки, детали внешней и внутренней отделки и многое другое. Возможность полной или частичной замены тех или иных элементов конструкций здания (сооружения) и определяется их ремонтпригодностью. В современном строительстве ситуация с оценкой долговечности возводимых зданий (сооружений) обстоит гораздо сложнее, чем в условиях планового хозяйства СССР. В настоящее время при возведении различных объектов широко используются новые технологии, строительные

конструкции и материалы (как отечественных, так и зарубежных производителей), возможность применения и срок службы которых в конкретных геологических и климатических условиях еще недостаточно исследованы. Зачастую они не проходят необходимые испытания на долговечность, что существенно осложняет оценку срока службы объекта строительства в целом. Кроме того, существенные затруднения при оценке долговечности объектов строительства связаны как с огромным разнообразием их архитектурных решений, так и с широким ассортиментом конструкционных материалов, используемых при возведении подобных объектов. Дополнительно проблеме оценки долговечности зданий осложняет отсутствие нормативной базы, которая регламентировала бы этот параметр как для зданий в целом, так и для отдельных их конструкций. В 1971 году из состава СНиП на ограждающие конструкции¹ была изъята градация долговечности зданий и составляющих их конструкций, при этом отдельного документа, регламентирующего сроки эффективной эксплуатации для различных, особенно современных объектов строительства до сих пор не существует. В ГОСТ 27751-2014² и СП 255.1325800.2016³ присутствует некоторая информация: рекомендуемые сроки службы зданий (сооружений) и продолжительность эффективной эксплуатации зданий (сооружений). Минимальные сроки эффективной эксплуатации зданий и объектов, а также элементов зданий и объектов из традиционных материалов представлены в ВСН 58-88⁴, который хоть и находится в статусе действующего, но в нём не рассматриваются сроки эффективной эксплуатации зданий и объектов из современных строительных материалов, а также отсутствуют промышленные объекты строительства. В СТО БДП-8-97⁵ изложена методика оценки срока службы здания, которая базируется на группе капитальности зданий, которые взяты из более раннего документа – сборники УПВС (Укрупнённые показатели восстановитель-

1 СНиП 3.03.01-87. «Несущие и ограждающие конструкции». – М.: Стройиздат, 1999 г.

2 ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения»

3 СП 255.1325800.2016. "Свод правил. Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения" (утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 24.08.2016 N 590/пр) (ред. от 02.12.2019)

4 ВСН 58-88(р) «Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения. Нормы проектирования»

5 СТО БДП 8-97 Жилища малоэтажные. Оценка качества.

ной стоимости)⁶. Здесь отдельно отметим, что сборники УПВС до сих пор имеют крайне высокую прикладную значимость для оценки восстановительной стоимости, оценки физического износа объекта строительства в стоимостном выражении, «действительной остаточной стоимости здания» [1, с. 16]. Также частично вопросы, затрагивающие продолжительность эффективной эксплуатации зданий (сооружений) рассматриваются в СНиП 2.03.01-84⁷, СНиП 3.01.04-87⁸, СП 118.13330.2012⁹, СП 44.13330.2011¹⁰, СП 54.13330.2011¹¹, МДС 13-6.2000¹². Отметим, что сборники УПВС при том, что разработаны в 70-х годах прошлого века, частично уточнены в 1995 году прошлого века (в виде консультаций: *Консультации по вопросам оценки недвижимости при использовании сборников укрупненных показателей восстановительной стоимости. Изд. 1995 г. Республиканское управление технической инвентаризации*), тем не менее, имеют высокую прикладную значимость для целей оценки восстановительной, остаточной, балансовой стоимости основных фондов в строительстве.

Из вышеизложенного становится понятно, что ориентировочная продолжительность эффективной эксплуатации объектов строительства и долговечность объектов строительства определяется исходя из фактических значений показателей по аналогичным эксплуатируемым зданиям (сооружениям). На практике такой метод имеет крайне высокую погрешность, так как на долговечность любого здания (сооружения), вне зависимости от того материала, из которого построен объект, влияет целый ряд факторов: климатические условия местности, где возведён объект строительства; эффективность выбора строительных конструкций; геологические условия и рельеф местности; условия технической эксплуатации объекта строительства; надёжность теплоизоляции и множество других факторов: «*Эксплуатируемые здания подвергаются различным внешним (главным образом природным)*

6 Сборник № 28 укрупненных показателей восстановительной стоимости жилых, общественных зданий и зданий и сооружений коммунально-бытового назначения для переоценки основных фондов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://upvs-online.ru/>

7 СНиП 2.03.01-84. «Бетонные и железобетонные конструкции». Госстрой СССР. – М., ЦИТП Госстроя СССР, 1989 г.

8 СНиП 3.01.04-87 «Приемка в эксплуатацию законченных строительством объектов. Основные положения».

9 СП 118.13330.2012 Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009.

10 СП 44.13330.2011 Административные и бытовые здания. Актуализированная редакция СНиП 2.09.04-87.

11 СП 54.13330.2011 Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003.

12 МДС 13-6.2000. Методика по определению непригодности жилых зданий и жилых помещений для проживания.

и внутренним (технологическим и функциональным воздействиям)» [2, с. 5]. Поэтому на практике разброс значений по долговечности для аналогичных объектов строительства может составлять десятки лет.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Понятия долговечности здания основополагающий фактор для принятия решения о реализации проекта строительства. Очевидно, что долговечность определяется на проектной стадии, как минимум для сравнения альтернативных вариантов проектов строительства и в меньшей степени в процессе строительства или эксплуатации¹³. Необходимо дать определение и классификацию понятия долговечности здания. Обобщая различные источники нормативно-методического характера в строительстве, научной литературы [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10] и практический опыт работы авторов, представим определение, в котором раскрывается, что понимать под долговечностью и остаточным ресурсом эксплуатации объекта строительства.

Долговечность здания (сооружения) – промежуток времени, при котором здание (сооружение) соответствует условиям нормальной эксплуатации, включающий в себя временные интервалы на восстановление требуемых параметров надёжности объекта (капитальный ремонт или реконструкция), без учёта временных лагов необоснованного простоя объекта от момента восстановительных мероприятий до момента ввода в эксплуатацию. Что подразумевается под нормальной эксплуатацией здания?

Нормальная эксплуатация здания (сооружения) – функционирование объекта, с сохранением требуемых эксплуатационных свойств, согласно положениям нормативной документации в строительстве, с сохранением параметров надёжности строительных конструкций и проведением соответствующих восстановительных мероприятий. Ключевой параметр объекта в условиях эксплуатации, это надёжность, рассмотрим из чего она складывается. Надёжность объекта строительства включает в себя две составляющие: 1. Безотказность – сохранением работоспособности конструктивных элементов без перерывов в течение заданного периода времени (нормативного срока службы); 2. Ремонтопригодность – приспособленностью конструктивных элементов зданий и сооружений к предупреждению, обна-

13 В процессе эксплуатации также необходимо оценивать долговечность здания, но в динамическом аспекте, т.е. как она может измениться под воздействием различных факторов.



Источник: составлено авторами

Рисунок 1. Виды долговечности объекта строительства

ружению и устранению повреждений путем проведения ремонтно-строительных мероприятий.

Долговечность объекта, очевидно, существенно может быть различна в зависимости от потребности оценки и контекста. Представим авторскую классификацию на рисунке 1.

Согласно ГОСТ 27751-2014¹⁴ для обеспечения требуемой долговечности строительного объекта при его проектировании необходимо учитывать три фактора: 1. условия эксплуатации по назначению, то есть эксплуатация объекта должна соответствовать проектным условиям; 2. расчетное влияние окружающей среды на эксплуатируемый объект, то есть, необходимо количественно на стадии проектирования учесть влияние факторов окружающей среды на эксплуатацию объекта; 3. свойства применяемых материалов, возможные средства их защиты от негативных воздействий среды, а также возможность деградации их свойств в процессе эксплуатации.

При проектировании строительных объектов необходимо учитывать возможное влияние на них агрессивной среды и других негативных условий эксплуатации (попеременное замораживание и оттаивание, наличие противоледных

¹⁴ ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения».

реагентов, воздействие морской воды, выбросов промышленных производств и т.д.).

Необходимые меры по обеспечению долговечности конструкций и оснований сооружений с учетом конкретных условий эксплуатации проектируемых объектов, а также расчетные сроки их службы должен определять генпроектировщик по согласованию с заказчиком. Рекомендуемые сроки службы зданий и сооружений приведены в таблице 1 (согласно ГОСТ 27751-2014)¹⁵.

Примечание – при соответствующем обосновании сроки службы отдельных несущих и ограждающих конструкций могут быть приняты отличными от сроков службы сооружения в целом.

Остаточный ресурс здания или сооружения – промежуток времени до момента наступления предельного технического состояния, при котором дальнейшая техническая эксплуатация объекта невозможна без проведения комплекса восстановительных мероприятий.

Предельное состояние здания (сооружения) – состояние здания (сооружения), при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима

¹⁵ Примечание – при соответствующем обосновании сроки службы отдельных несущих и ограждающих конструкций могут быть приняты отличными от сроков службы здания (сооружения) в целом.

или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Остаточный ресурс эксплуатации здания (сооружения) определяется рядом основных факторов: – величина начальной надежности на момент окончания объекта строительства; – условий технической эксплуатации объекта строительства, в том числе, температурно-влажностный режим внутри здания и климатические параметры. Скорость снижения надежности здания зависит от условий эксплуатации и их стабильности во времени – наличия и величин особых нагрузок, механических и климатических воздействий.

При проведении экспертизы промышленной безопасности любого здания (сооружения), например, эстакады основная задача – установить, можно ли данные сооружения безопасно эксплуатировать и в течение какого периода. То есть необходимо определить остаточный ресурс этих зданий.

Необходимость определения остаточного ресурса эксплуатации зданий (сооружений) возникает при следующих обстоятельствах:

В отношении объектов недвижимости.

Оценка здания (сооружения) как объекта недвижимости, когда определяют разницу балансовой стоимости и суммарную величину физического износа. В условиях образования рынка недвижимости невозможно производить с должной эффективностью операции купли-продажи без исчерпывающих сведений о техническом состоянии здания, сооружения или предприятия в целом. Анализ проектной документации по эксплуатируемому зданию дает лишь общее представление о параметрах объекта. Поэтому проводится предварительное общее обследование конструкций здания. Результаты обследования сопоставляют с современными требованиями нормативных документов к качеству материалов и конструкций, уровню комфортности, соответствующим функциональным, санитарно-гигиеническим, теплотехническим условиям и условиям безопасности. Приблизительно определяется остаточный жизненный ресурс здания и его отдельных частей с целью оценки.

Оценка технического состояния здания и его элементов с целью реконструкции или капитального ремонта.

Главной задачей в данной ситуации является определение возможности дальнейшей эксплуатации объектов строительства (продление срока эксплуатации) и факторов, уменьшающих их сто-

имость (обесценивание) на момент обследования. В отношении опасных производственных объектов, ранее введенных в эксплуатацию.

По требованию представителя Ростехнадзора.

Основная цель технического обследования зданий и сооружений – выявление реального остаточного ресурса эксплуатации и принятие решения об их сносе, капитальном ремонте или реконструкции на основе выявленных дефектов несущих, ограждающих конструкций, инженерных систем и оборудования.

В случае аварии, в результате которой были повреждены несущие конструкции данных зданий и сооружений.

В результате аварии на промышленном объекте строительства, вследствие которой были повреждены несущие конструкции данных зданий и сооружений, обязательным условием является проведение экспертизы промышленной безопасности, одной из процедур которой является расчет остаточного ресурса. Данная норма установлена пунктом 2 статьи 7 Федерального закона № 116-ФЗ¹⁶.

При возникновении сверхнормативных деформаций здания или сооружения (климатические и технологические).

Отсутствие проектной документации, либо отсутствие в проектной документации данных о сроке эксплуатации здания или сооружения; Расчет остаточного ресурса в данном случае необходим с целью установления срока (в годах), при котором дальнейшая эксплуатация их невозможна без проведения капитального ремонта с усилением и частичной заменой конструктивных элементов. Если в документации срок эксплуатации не установлен, допускается использовать данные по аналогам или определять его по согласованной с Ростехнадзором методике, с учетом результатов анализа документации, условий эксплуатации и технического диагностирования (экспертного обследования). В отношении жилых, административных, общественных, бытовых и производственных зданий.

Обследование здания перед его сдачей в эксплуатацию, перед выполнением капитального ремонта, в случае назначения судебной строительной экспертизы и иное.

Для осуществления технического обследования в соответствии с Градостроительным кодексом и Приказом Минрегиона РФ от 30.12.2009 N 624 индивидуальный предприниматель или

¹⁶ Федеральный закон "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" от 21.07.1997 N 116-ФЗ.

юридическое лицо имеет право осуществлять обследование состояния грунтов основания зданий и сооружений и работы по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений при наличии выданного саморегулируемой организацией свидетельства о допуске к таким работам. Конечной целью обследования является техническое заключение с обоснованными предложениями и конкретными техническими решениями для дальнейшей разработки проекта реконструкции или капитального ремонта объекта недвижимости. Техническое заключение содержит также архивные, архитектурные, конструктивные характеристики, поверочные расчеты несущих и ограждающих конструкций, инженерных сетей и оборудования.

Параметрами технического состояния объекта строительства служат:

- характеристики материалов (механические и химические);
- коэффициенты запасов прочности;
- технологические показатели.

Выбор ключевых параметров осуществляется по результатам анализа технической документации и результатов обследования. В некоторых случаях допустимо использовать результаты экспертной оценки, которая обязательно должна включать анализ условий эксплуатации, инструментальный контроль и поверочные расчеты. Данные методы ограничены в области прикладного применения из-за факторов, которые могут существенно повлиять на остаточный ресурс эксплуатации и которые слабо поддаются контролю:

- резкое изменение условий эксплуатации и возможное воздействие особых нагрузок;
- наличие скрытых дефектов конструкций;
- качество изготовления конструкций;
- скорость деградации материалов конструкций и ее изменение.

Техническое состояние конструкций подразделяется на пять уровней: исправное; работоспособное; ограниченно работоспособное; недопустимое; аварийное.

На основании анализа полученных результатов и опыта эксплуатации принимается решение о продлении эксплуатации здания с назначением остаточного ресурса, либо о необходимости проведения расчета остаточного ресурса.

В общем случае выбор метода расчета остаточного ресурса эксплуатации по тому или иному критерию должен обосновываться точностью и достоверностью полученных данных, а также требованиям точности и достоверности прогно-

зируемого ресурса эксплуатации объекта строительства и риска его дальнейшей эксплуатации.

Для более точного расчета остаточного ресурса при необходимости могут проводиться экспериментальные исследования конструкций, а именно: тензометрия и (или) акустическая эмиссия.

При определении факторов остаточного эксплуатационного ресурса мы воспользовались методом, предложенным в «Рекомендациях по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам»¹⁷ [11]:

e – средняя величина повреждений отдельных видов конструкций;

α – коэффициент значимости отдельных видов конструкций;

λ – постоянная износа, определяемая по данным обследования на основании изменения несущей способности в момент обследования;

J – относительная надежность, определяемая по категории технического состояния конструкции в зависимости от ее повреждений по таблице 1;

t_{ϕ} – срок эксплуатации в годах на момент обследования.

Расчет физической долговечности (ФД) – предполагает установление промежутка времени на очевидном принципе, это такой промежуток времени при котором возможна нормальная эксплуатация основных несущих конструкций, то есть физическая долговечность объекта строительства будет определяться исходя из срока службы несущей конструкции, которая имеет минимальное значение из всей совокупности, т.е формула 1:

$$ФД = T_{\min} \cdot \alpha \quad (1)$$

где ФД – физическая долговечность объекта строительства, лет;

T_{\min} – минимальная продолжительность нормальной эксплуатации, основной конструкции из всей совокупности элементов, лет.

Функциональная или моральная долговечность (МД), будет определена исходя из величины морального износа, но так как величина морального износа не регламентирована в нормативных и законодательных актах, то есть даже при 100 процентах морального износа нормальная эксплуатация возможна, то очевидно, что функ-

¹⁷ Настоящие рекомендации разработаны к.т.н. Добромисловым А.Н. при участии инж. Фролова Ю.В., Кузиной О.Л., Третьяковой С.В. в развитие ранее выпущенной работы ЦНИИ Промзданий в 1989 г.

циональная долговечность равна по величине физической, то есть формула 2:

$$MD=FD \quad (2)$$

Экономическая долговечность (ЭД) исходя из определения, которое было представлено ранее на рисунке 1, будет определяться исходя из разницы притока и совокупного оттока по затратам на эксплуатацию объекта строительства, очевидно разница должна быть положительной, то есть формула 3:

$$ЭД=(Пэ/(Зтр-Звм-ЭЗ))*360, \quad (3)$$

где ЭД – экономическая долговечность, лет;

Пэ – приток от эксплуатации объекта строительства, руб.;

Зтр – затраты на текущий ремонт, руб.;

Звм – затраты на восстановительные мероприятия (капитальный ремонт или реконструкция), руб.;

ЭЗ – эксплуатационные затраты, руб.

При этом должно выполняться условие, формула 4:

$$Пэ/(Зтр-Звм-ЭЗ) \geq 1 \quad (4)$$

Представим алгоритм для целей оценки остаточного эксплуатационного ресурса здания:

1. Изучение технической документации на объект.

2. Натурное обследование строительных конструкций.

3. Выявление дефектов и повреждений, оценка их влияния на несущую способность.

4. Проведение неразрушающих испытаний.

5. Выполнение поверочных расчетов.

6. Оценка остаточного ресурса строительных конструкций.

7. Техничко-экономическая оценка конструктивных элементов объекта строительства.

8. Разработка рекомендаций по дальнейшей эксплуатации объекта экспертизы.

В качестве базовой концепции для расчета остаточного эксплуатационного ресурса зданий предлагается подход, основанный на принципе “безопасной эксплуатации по техническому состоянию”. Согласно данному подходу, оценка технического состояния объекта осуществляется по параметрам технического состояния, обеспечивающим его надежную и безопасную эксплуатацию в соответствии с нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией, а остаточный ресурс – по определяющим параметрам технического состояния. В качестве последних принимаются параметры, изменение

которых (в отдельности или в некоторой совокупности) может привести объект в неработоспособное или предельное состояние. Во время прогнозирования величины остаточного ресурса должно быть обеспечено выполнение (одновременное) следующих условий: – известны параметры технического состояния здания; – известны определяющие параметры технического состояния, изменяющиеся соответственно выявленному механизму повреждения элементов объекта; – назначены критерии предельных состояний объекта, достижение которых возможно при развитии выявленных повреждений. В зависимости от критериев предельного состояния и условий эксплуатации объекта параметрами его технического состояния служат: – характеристики материалов (механические характеристики – предел текучести, предел прочности, твердость, трещиностойкость, пределы выносливости, длительной прочности, ползучести, химический состав, характеристики микроструктуры и т.д.); – коэффициенты запасов прочности (по пределам текучести, прочности, длительной прочности, ползучести, трещиностойкости, устойчивости, по числу циклов или напряжениям при расчетах на циклическую прочность); – технологические показатели (температура, параметры вибрации, режимы работы и т.д.).

Аспектами определения остаточного ресурса зданий (сооружений) в общем виде являются: – физический износ; – статическая (в ряде случаев динамическая) прочность материалов с учетом дефектов и повреждений; – усталость материалов.

Остаточный ресурс здания может определяться по тому или иному аспекту в зависимости от исходных материалов, полученных на этапе обследования. Для обеспечения заданной точности расчета в ряде случаев могут потребоваться дополнительные испытания конструкций статической либо динамической нагрузкой.

Существует два метода расчета остаточного ресурса зданий и сооружений: метод использования математических моделей и метод экспертных оценок. Данные методы могут применяться, как дифференцировано, так и вместе.

В настоящее время основные подходы к определению остаточного ресурса, как физико-механической характеристики зданий и сооружений, связаны с использованием: детерминированных расчетов; теории вероятности.

Применение вероятностных методов требует значительного объема информации о внешних воздействиях, а также информации о материалах конструкций. Увеличение объема необходимой

информации обеспечивает большую достоверность выводов о надёжности и долговечности зданий и сооружений. При вероятностном подходе: – внешние условия эксплуатации конструкции считаются случайными процессами; – за основной показатель надёжности принимается вероятность пребывания параметров системы в некоторой допустимой области, нарушение нормальной эксплуатации приводит к выходу из этой области; – выход конструкции из строя является, как правило, следствием постепенного накопления повреждений; – оценка соответствия фактического риска аварии объекта предъявляемым требованиям конструкционной безопасности является составной частью определения остаточного ресурса. Параметрами технического состояния объекта служат: – характеристики материалов (механические и химические); – коэффициенты запасов прочности; – технологические показатели. Выбор ключевых параметров осуществляется по результатам анализа технической документации и результатов обследования. В отдельных случаях допустимо использовать результаты экспертной оценки, которая обязательно должна включать анализ условий эксплуатации, инструментальный контроль и поверочные расчеты. Необходимо отметить, что все вышеописанные методы имеют ограниченную область применения, а также не учитывают такие существенные при определении остаточного ресурса факторы, как: – резкое изменение условий эксплуатации и возможное воздействие особых нагрузок; – наличие скрытых дефектов конструкций; – качество изготовления конструкций; – скорость деградации материалов конструкций и ее изменение. Другим методом оценки остаточного ресурса зданий (сооружений) является экспертный.

Экспертная оценка основывается на: 1) анализе технической и эксплуатационной документации; 2) анализе условий эксплуатации; 3) результатах полученных данных визуального измерительного контроля, инструментального контроля, неразрушающих испытаний, определения пространственного положения конструкций; 4) результатах поверочного расчета.

Техническое состояние конструкций подразделяется на пять уровней: исправное; работоспособное; ограниченно работоспособное; недопустимое и аварийное. На основании анализа полученных результатов и опыта эксплуатации принимается решение о продлении эксплуатации здания с назначением остаточного ресурса, либо о необходимости проведения расчета остаточного ресурса.

В настоящее время, с учетом специфики диагностируемых объектов (зданий и сооружений), специализированными организациями используются различные методики. В общем случае выбор метода расчета остаточного ресурса по тому или иному критерию должен обосновываться точностью и достоверностью полученных данных, а также требованиям точности и достоверности прогнозируемого ресурса объекта и риска его дальнейшей эксплуатации.

Для более точного расчета остаточного ресурса при необходимости могут проводиться экспериментальные исследования конструкций, а именно: тензометрия и (или) акустическая эмиссия.

Общая оценка повреждаемости сооружения производится по формуле 5:

$$\varepsilon = \frac{(\alpha_1 * \varepsilon_1 + \alpha_2 * \varepsilon_2 + \dots + \alpha_i * \varepsilon_i)}{(\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i)}, \quad (5)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i$ – максимальные повреждения отдельных видов конструкций;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$ – коэффициент значимости отдельных видов конструкций¹⁸.

Для относительной оценки надёжности (ниже по формуле 6)

Относительная оценка надёжности объекта строительства по формуле 6:

$$y = 1 - \varepsilon \quad (6)$$

Величина повреждения строительных конструкций через t лет технической эксплуатации определяется по таблице 1 (столбец 4).

Постоянная износа определяется по данным обследования, формула 7:

$$\lambda = \frac{-\ln y}{t\varphi}, \quad (7)$$

где $t\varphi$ – срок службы в годах на момент проведения оценки. Срок службы здания с начала эксплуатации до капитального ремонта определяется по формуле 8, в годах:

$$T_k = 0,16 / \lambda \quad (8)$$

Расчет остаточного ресурса по статической прочности. Остаточный ресурс по критерию пре-

18 Коэффициенты значимости конструкций устанавливаются на основании экспертных оценок, учитывающих социально-экономические последствия разрушения отдельных видов конструкций, характера разрушения (разрушение с предварительным оповещением посредством развития пластических деформаций или мгновенное хрупкое разрушение). При отсутствии данных коэффициенты значимости принимаются: для плит и панелей перекрытия и покрытия $\alpha = 2$, для балок $\alpha = 4$, для ферм $\alpha = 7$, для колонн $\alpha = 8$, для несущих стен и фундаментов $\alpha = 3$, для прочих строительных конструкций $\alpha = 2$.

Таблица 1

Категории технического состояния

Категория технического состояния	Описание технического состояния	Относительная надёжность $y=y_0$	Повреждённость $e = 1 - y$	Стоимость ремонта $C, \%$
1	2	3	4	5
1	Нормальное состояние. Отсутствуют видимые повреждения, свидетельствующие о снижении несущей способности. Необходимости в ремонтных работах нет.	1	0	0
2	Удовлетворительное состояние. Незначительное снижение несущей способности и долговечности конструкций. Требуется устройство антикоррозионного покрытия, затирка трещин и т.п.	0,95	0,05	0 – 11
3	Не совсем удовлетворительное состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о снижении несущей способности конструкции. Требуется текущий ремонт.	0,85	0,15	12 – 36
4	Неудовлетворительное состояние. Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности к эксплуатации конструкции. Требуется капитальный ремонт с усилением конструкций. До проведения усиления необходимо ограничение нагрузок.	0,75	0,25	37 – 90
5	Аварийное состояние. Требуется немедленная разгрузка конструкции и устройство временных креплений, замена аварийных конструкций.	0,65	0,35	91 – 120

Источник: Рекомендации по оценке надёжности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам

дельного состояния – допускаемому напряжению составляет, формула 9:

$$Tk(T\sigma) = \left(\frac{\sigma_b(t) - [\sigma]}{\alpha_c} \right), \quad (9)$$

где $\sigma_b(t)$ – предел прочности на момент проведения обследования;

$[\sigma]$ – предел прочности по расчету;

α_c – скорость снижения механических свойств, которая рассчитывается по формуле 10:

$$\alpha_c = (\sigma_c - \sigma_b(t)) / t, \quad (10)$$

где σ_b – предел прочности на момент проведения обследования; t – время от начала эксплуатации до момента проведения обследования.

Расчет остаточного ресурса по коррозионному износу конструкций. Остаточный ресурс конструкций здания, подвергшихся коррозии определяется по формуле 11:

$$Tk = (S\phi - S_p) / \alpha_k, \quad (11)$$

где $S\phi$ – фактическая минимальная толщина стенки элемента, мм;

S_p – расчетная величина стенки элемента, мм;

α_k – скорость равномерной коррозии, мм/год.

Скорость равномерной коррозии рассчитывается по формуле 12:

$$\alpha_k = (S_u - S\phi) / t, \quad (12)$$

где S_u – исполнительная толщина стенки элемента, мм;

t – время от момента начала эксплуатации до момента проведения обследования, лет.

Расчет остаточного ресурса по усталости конструкций. Ресурс циклической работоспособности определяется по формуле 13:

$$T_y = T\sigma [N] / N\sigma \quad (13)$$

где $T\sigma$ – время эксплуатации с момента начала эксплуатации, лет;

$[N]$ – допустимое количество циклов нагружения;

$N\sigma$ – количество циклов нагружения за период эксплуатации.

Ресурс остаточной работоспособности определяется по формуле 14:

$$T_{ост} (y) = T_y - T\sigma \quad (14)$$

По результатам расчетов остаточного ресурса эксплуатации делается оценка величины эксплуатационного ресурса отдельных конструктивных элементов здания, частей здания, либо здания в целом. При расчете остаточного ресурса по нескольким критериям ресурс назначается по минимальному значению.

Срок эксплуатации конструктивных элементов $T\sigma$, лет до достижения аварийного состояния, формула 15:

$$T\sigma = 0,22 / \lambda \quad (15)$$

На основании данных по оценке технического состояния объекта и остаточного ресурса принимается обоснованное решение о возможности дальнейшей эксплуатации объекта в соответствии с остаточным или назначенным ресурсом или

его ремонте, снижении рабочих параметров, использованию по иному назначению или выводу из эксплуатации.

Далее необходимо оценить восстановительную стоимость объекта по формуле (16):

$$BC = PC * Kп \quad (16)$$

где BC – восстановительная стоимость сооружения в тыс. руб.;

PC – первоначальная стоимость сооружения (по сборникам УПВС) в тыс. руб.;

Kп – коэффициенты приведения цен к году оценки (по таблице 2).

Далее по приложению, в зависимости от установленной категории технического состояния (таблица 1), определяем величину C% – величина затрат в процентах на капитальный ремонт от восстановительной стоимости. Так как там приведён интервал C% необходимо интерполировать по значениям фактической продолжительности эксплуатации и продолжительности эксплуатации до капитального ремонта полученными по формуле 8.

Тогда затраты на капитальный ремонт составят:

$$Зк = BC * C\% \quad (17)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Характеристика объекта строительства

Сведём основные сведения об объекте строительства в таблицу 3.

Объект апробации – внутрицеховая эстакада. Назначение объекта – эстакада трубопроводов. Построено и введено в эксплуатацию в 1963 году.

Производственная среда – неагрессивная. Зона влажности г. *** согласно СНиП

23-02-2003 – сухая.

Климатический район – 1в.

Расчетный вес снегового покрова для III района – 180 кг/м².

Скоростной напор ветра для II района – 30 кг/м².

Нормативная глубина промерзания грунта – 1,94 м.

Абсолютные отметки поверхности (по устьям выработок) изменяются от 123.03 до 123.88м.

В геологическом строении территории на исследуемую глубину (до 10м) принимают участие отложения четвертичной системы.

Четвертичная система представлена голоценовыми и неоплейстоценовыми отложениями.

Отложения неоплейстоцена представлены покровными эллювиально-делювиальными мягкопластичными и тугопластичными суглинками.

С поверхности природные образования повсеместно перекрыты голоценовыми техногенными (насыпными) грунтами мощностью 0.8-1.8м.

В связи с одинаковыми инженерно-геологическими условиями территории изысканий (расположение на одном геоморфологическом эле-

Таблица 2

Коэффициенты перевода в текущие цены

Наименование коэффициента	Значение коэффициента	Источник
1	2	3
Перевод цены сборника УПВС (1969 год) в цены 1984 года	1,20	Приложение № 2 к Постановлению Госстроя СССР от 11 мая 1983 года № 94
Территориальный коэффициент	1,02	Приложение № 2 к Постановлению Госстроя СССР от 11 мая 1983 года № 94
Перевод с цен 1984 года в цены 2022 года	229,07	Письмо Координационного центра по ценообразованию и сметному нормированию в строительстве от 14 декабря 2018 г. № КЦ/2018-12ти "Об индексах изменения сметной стоимости строительства по Федеральным округам и регионам Российской Федерации на декабрь 2018 года" ¹⁹
Индекс пересчета цен с декабря 2018 года на декабрь 2019 – 1,026 Индекс пересчета цен с декабря 2019 года на декабрь 2020 – 1,052 Индекс пересчета цен с декабря 2020 года на декабрь 2021 – 1,0868 Индекс пересчета цен с декабря 2021 года на январь 2022 – 1,0118 ²⁰		

Источник: составлено автором (источники указаны в столбце по п/п)

¹⁹ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72043620/>

²⁰ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://simf-expert.ru/index>.

Таблица 3

Основные сведения по объекту апробации

Объект – внутрицеховая эстакада	
1 Адрес объекта	***21
2 Время проведения обследования	2022 год
3 Организация, проводившая обследование	***
4 Статус объекта (памятник архитектуры, исторический памятник и т.д.)	Действующее инженерное сооружение
5 Тип проекта объекта	Индивидуальный
6 Проектная организация, проектировавшая объект	***
7 Строительная организация, возводившая объект	***
8 Год возведения объекта	1963 г.
9 Год и характер выполнения последнего капитального ремонта или реконструкции	Нет данных
10 Собственник объекта	***
11 Форма собственности	Акционерная
12 Конструктивный тип объекта	Балочно-стоечная система
13 Число этажей	Одно-, двух- и трехъярусные эстакады
14 Период основного тона собственных колебаний (вдоль продольной и поперечной осей)	Не определяется
15 Крен объекта (вдоль продольной и поперечной осей)	Не обнаружено
16 Установленная категория технического состояния объекта	Работоспособное техническое состояние

Источник: составлено автором

менте) геолого-литологическое описание грунтов приводится общее для всего участка изысканий.

Согласно ГОСТ 20522-96²², в разрезе участка исследования выделено 3 инженерно-геологических элемента (ИГЭ):

ИГЭ 1 Насыпные грунты: суглинок, шлак, песок, строительный мусор.

Встречены грунты повсеместно с поверхности и под бетонными плитами мощностью 0,8-1,8м.

Предельные значения прочностных характеристик грунта при природной влажности и нормативное значение модуля деформации по проведенным изысканиям определены:

удельное сцепление 13-18 кПа;
 угол внутреннего трения 27-29 град;
 нормативный модуль деформации 15.0 МПа ;

ИГЭ-2 Суглинок серо-бурого цвета мягкопластичной консистенции. Мощность 2,3-5,2м.

Предельные значения прочностных характеристик грунта при природной влажности составляют:

удельное сцепление 0,006-0,021 МПа;
 угол внутреннего трения 14-20 град;

21 Так как объект промышленный для сохранения анонимности местоположения, эксплуатирующей организации некоторая информация сознательно скрыта авторами символами: ***.

22 ГОСТ 20522-96 Грунты. Методы статистической обработки результатов

лабораторный модуль деформации

2,4-3,6 МПа;

ИГЭ-3 Суглинок серо-бурого цвета тугопластичной консистенции. Мощностью до изученной глубина 3,0-5.7м.

Предельные значения прочностных характеристик грунта при природной влажности составляют:

удельное сцепление 0,021-0,031 МПа;
 угол внутреннего трения 14-22 град;
 лабораторный модуль деформации 3,8-6,1 МПа.

В инженерно-геологическом разрезе выделено 3 инженерно-геологических элемента (ИГЭ):

ИГЭ-1 Насыпной грунт;
 ИГЭ-2 Суглинок мягкопластичный;
 ИГЭ-3 Суглино тугопластичный.

Нагрузки, воздействия и условия эксплуатации.

Нагружение конструкций эстакад:

Постоянные нагрузки – собственный вес стоек, траверс, балок.

Временные длительные – от веса трубопроводов с технологической арматурой и опорными частями, от веса изоляции, от веса транспортируемой жидкости в стадии эксплуатации.

Кратковременные – от веса людей и ремонтных материалов на площадках и мостиках, снеговая, ветровая.

Таблица 4

Результаты обследования внутрицеховой эстакады

№п/п	Конструкция	Описание дефекта или повреждения и фото	Категория состояния ²⁵	Мероприятия по устранению дефектов
1	Стойка №2 (А-А)	 <p>Трещина длиной 2,3 м шириной раскрытия 2,4 мм</p>	2	Отбить разрушавшуюся часть бетона, зачистить арматуру, восстановить защитный слой бетона
2	Траверса стоек 2 и 2' (А-А)	 <p>Оголение поперечной арматуры</p>	2	Отбить разрушавшуюся часть бетона, зачистить арматуру, восстановить защитный слой бетона
3	Стойка №5 (А-А)	 <p>Скол бетона, оголение рабочей арматуры</p>	2	Зачистить участок оголенной арматуры, восстановить защитный слой бетона
4	Траверса стоек 11 и 11' (А-А)	 <p>Оголение арматуры</p>	2	Отбить разрушавшуюся часть бетона, зачистить арматуру, восстановить защитный слой бетона

Окончание табл. 4

№ п/п	Конструкция	Описание дефекта или повреждения и фото	Категория состояния ²³	Мероприятия по устранению дефектов
5	Стойки и траверсы (В-В)	 <p>Коррозия металлических конструкций</p>	2	Выполнить антикоррозионную защиту металлоконструкций
6	Стойки, балки и траверсы (Г-Г)	 <p>Коррозия металлических конструкций</p>	2	Выполнить антикоррозионную защиту металлоконструкций
7	Стойки (Г-Г)	 <p>Не плотное опирание базы стойки на фундамент</p>	2	Выполнить мероприятия по установке металлических клиновых подкладок и подтяжке болтов крепления

Источник: составлено автором

²³ Определяется методами визуального и инструментального контроля, в целях использования представленной здесь методики определения долговечности и остаточного ресурса эксплуатации объекта строительства используем «Рекомендациях по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам» [11] - приложение: Таблицы для оценки технического состояния зданий и сооружений по внешним признакам.



Источник: составлено автором

Рисунок 2. Общий вид эстакады по сечению А-А

Конструкции эстакады по сечению А-А (рисунок 2):

На основании визуального обследования производственного здания установили величины повреждений различных несущих конструкций, согласно [11]:

Фундаменты – работоспособное состояние, поврежденность $e_1 = 0,05$;

Стойки – работоспособное состояние, поврежденность $e_1 = 0,1$;

Траверсы – работоспособное состояние, поврежденность $e_1 = 0,05$;

Конструкции эстакады по сечению Б-Б²⁴:

Фундаменты – работоспособное состояние, поврежденность $e_1 = 0,05$;

Стойки – работоспособное состояние, поврежденность $e_1 = 0,1$;

Траверсы – работоспособное состояние, поврежденность $e_1 = 0,05$;

Конструкции эстакады по сечению В-В

Фундаменты – работоспособное состояние, поврежденность $e_1 = 0,05$;

²⁴ Авторы не приводят фотографии сооружения по всем сечениям далее, так как полное раскрытие информации об объекте противоречит положениям о коммерческой тайне в действующем законодательстве.

Стойки – работоспособное состояние, поврежденность $e_1 = 0,1$;

Траверсы – работоспособное состояние, поврежденность $e_1 = 0,05$;

Конструкции эстакады по сечению Г-Г

Фундаменты – работоспособное состояние, поврежденность $e_1 = 0,05$;

Стойки – работоспособное состояние, поврежденность $e_1 = 0,1$;

Траверсы – работоспособное состояние, поврежденность $e_1 = 0,05$;

Балки – работоспособное состояние, поврежденность $e_1 = 0,05$.

Далее определяем техническое состояние сооружения в целом с учетом значимости отдельных конструкций, согласно [11].

Коэффициенты значимости приняли:

Фундаменты – работоспособное состояние, $\alpha_1 = 3$;

Стойки – работоспособное состояние, $\alpha_2 = 8$;

Траверсы – работоспособное состояние, $\alpha_3 = 2$;

Балки – работоспособное состояние, $\alpha_4 = 4$.

Срок эксплуатации в годах на момент обследования $t_{\text{ф}} = 59$ лет

Общую поврежденность с момента эксплуатации рассчитаем по формуле 5:

$$e = (e_1 \cdot a_1 + e_2 \cdot a_2 + \dots + e_n \cdot a_n) / (a_1 + a_2 + \dots + a_n) = (0,05 \cdot 3 + 0,1 \cdot 8 + 0,05 \cdot 2 + 0,05 \cdot 4) / (3 + 8 + 2 + 4) = (0,15 + 0,8 + 0,1 + 0,2) / 17 = 0,074$$

Относительная оценка надёжности формула 6: $y = 1 - e = 1 - 0,074 = 0,926$.

Постоянная износа по результатам обследования формула 7: $\lambda = -\ln y / t\phi = 0,077 / 59 = 0,0013$.

Срок эксплуатации с момента ввода в эксплуатацию, до капитального ремонта составит формула 8: $T_k = 0,16 / 0,0013 = 123,08$ года.

Срок эксплуатации до наступления аварийного состояния составит: $T_э = 0,22 / 0,0013 = 169,23$ года.

Срок эксплуатации до проведения капитального ремонта (Тэк), при установленной системе ремонтов составит: $123,08 - 59 = 64,08$ года.

Остаточный эксплуатационный ресурс здания составит: $169,23 - 59 = 110,23$ года.

Было выявлено следующее:

1. Общая поврежденность с момента эксплуатации $e = 0,926$.

2. Постоянная износа по результатам обследования $\lambda = 0,0013$.

3. Срок эксплуатации с момента ввода в эксплуатацию, до капитального ремонта составил $T_э = 123,08$ года.

4. Срок эксплуатации до наступления аварийного состояния составил – $T_а = 169,23$ года.

5. Срок эксплуатации до проведения капитального ремонта, при установленной системе ремонтов составил: Тэк = 64,08 года.

Остаточный эксплуатационный ресурс здания составил: ОЭР= 110,23 лет.

Далее установим восстановительную стоимость эстакады, для этого воспользуемся сборниками УПВС²⁵:

Тогда при установленном диаметре трубы 200 мм и протяжённости 1,3 км первоначальная стоимость эстакады составит $1,3 \cdot 10,06 = 13,078$ тыс. руб. (в ценах 1969 года), найдём восстановительную стоимость по формуле (16).

$$BC = 13,078 \cdot 1,2 \cdot 1,02 \cdot 229,07 \cdot 1,026 \cdot 1,052 \cdot 1,0868 \cdot 1,0118 = 4352,1 \text{ тыс.руб.}$$

проведём интерполяцию $C\% = ((90 - 37) / (123,08 - 59)) \cdot 59 + 37 = 85,97\%$.

Тогда планируемые затраты на капитальный ремонт для воспроизводства остаточного ресурса эксплуатации в ценах 2022 года, по формуле 17, составят $Z_k = 4352,1 \cdot 0,86 = 3742,8$ тыс.руб.

ОБСУЖДЕНИЕ

Развивая теоретические аспекты проблематики и предметной области исследования, авторы считают, что факторы долговечности объектов строительства, в общем виде исходя из положений теорий надёжности ГОСТ Р 53480-2009²⁶, ГОСТ 27751-2014²⁷, ГОСТ 27751-88²⁸ помимо тех, что

Таблица 4

Восстановительная стоимость 1 км эстакады, в тыс. руб.

Территориальные пояса	Диаметры труб, в мм							
	30	75	100	125	150	200	250	300
1	3,64	4,24	6,32	7,53	9,59	11,64	14,47	18,25
2	3,82	4,45	6,64	7,91	10,06	12,22	15,19	19,16
3	4,00	4,66	6,95	8,28	10,55	12,80	15,91	20,07
4	4,18	4,87	7,27	8,66	11,03	13,38	16,64	20,98
5	4,55	5,30	7,90	9,41	11,99	14,55	18,09	22,81
6	4,73	5,51	8,22	9,79	12,48	15,13	18,81	23,72
7	5,09	5,94	8,85	10,54	13,43	16,29	20,25	25,55
8	5,46	6,36	9,48	11,29	14,39	17,46	21,71	27,37
9	5,82	6,78	10,11	12,04	15,34	18,62	23,15	29,20

Источник: составлено автором по данным сборника УПВС

25 В разделе МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ авторами представлено развёрнутое пояснение по сборникам УПВС

26 ГОСТ Р 53480-2009 «Надёжность в технике. Термины и определения». М.: Стандартинформ, 2010.

27 ГОСТ 27751-2014 «Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения». М.: Стандартинформ, 2015.

28 ГОСТ 27751-88*. «Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчёту». М.: Издательство стандартов, 1989.

представлены в исследовании можно выделить следующие²⁹:

гамма-процентный ресурс – суммарное время эксплуатации объекта, в течение которого объект не достигнет предельного состояния с вероятностью, выраженной в процентах;

назначенный ресурс – суммарное время эксплуатации объекта, при достижении которого эксплуатация объекта по назначению должна быть прекращена независимо от его технического состояния.;

средний ресурс, это математическое ожидание ресурса;

гамма-процентный срок службы – календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью, выраженной в процентах;

назначенный срок службы – подразумевается технико-экономически обоснованный или заданный срок службы, обеспечиваемый конструкцией, технологией и эксплуатацией, в пределах которого объект не должен достигать предельного состояния.

Следует отметить, что долговечность понимается как один из факторов надёжности строительной конструкции. Разработка методики оценки долговечности, исходя из показателей теории надёжности представляется крайне перспективной в смысле объективации результатов оценки. Так как на сегодняшний момент недостаточность проработанности нормативной базы в строительстве вынуждает специалистов использовать, пусть объективные и количественно измеримые методы, но тем не менее нормативы, явно устаревшие для объектов нового строительства. В нашем случае сооружения 1959 года ввода

²⁹ Представленные определения, переработаны авторами и соответствуют виду деятельности – Строительство, формулировка определений в ГОСТах представленных выше, являются общими для теории надёжности.

в эксплуатацию, а как быть, например, с объектом 2010 года ввода в эксплуатацию – вопрос остаётся открытым, потому что могут быть использованы материалы, технологии, которые в базах 1969 года, 2001 года не предусмотрены. Пример разработанных методов оценки долговечности – эксплуатация атомных электростанций в виде патентов [12], [13] существуют и этот опыт можно использовать.

Также следует согласиться с мнением отечественных исследователей, что введение начального резервирования важный фактор контроля безотказности объекта строительства: «При проектировании (рис. 1, кривая 2) в результате удорожания объекта можно достичь высокого уровня начальной безотказности (ввести начальное резервирование) таким образом, чтобы с учетом снижения безотказности во времени безотказность достигла минимально допустимого уровня к концу расчетного срока эксплуатации».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аварийное состояние зданий и сооружений возникает в основном из-за допущенных грубых ошибок и просчетов, допущенных при разработке проектов, строительстве и эксплуатации объекта строительства. В случае неблагоприятного прогноза назначаются дополнительные меры по проверке качества проектирования, строительства и эксплуатации с целью устранения обнаруженных дефектов и одной из важнейших мер выступает научно-обоснованный подход, который учитывает все аспекты долговечности объекта строительства (физическую, функциональную, экономическую). В данном исследовании авторы наглядно продемонстрировали как в процессе эксплуатации объекта строительства реализовать технико-экономическую оценку долговечности и остаточного ресурса эксплуатации действующего инженерного сооружения.

Список литературы

1. Хайруллин В.А. Учёт величины физического износа объекта технической эксплуатации при оценке действительной остаточной стоимости здания / В.А. Хайруллин, А.С. Салов, Л.А. Яковлева, В.В. Валишина // Интернет-журнал Науковедение. 2015. Т. 7. № 5 (30). С. 166. DOI 10.15862/219TVN515. – EDN TFWPOZ.
2. Бойко М.Д. Техническая эксплуатация зданий и сооружений. Справочное пособие. М.: Стройиздат, 1993.
3. Вольфсон В.Л. и др. Реконструкция и капитальный ремонт жилых и общественных зданий: Справочник производителя работ / В.Л. Вольфсон, В.А. Ильяшенко, Р.Г. Комиссарчик // - 2-е изд. стереотип. М.: Стройиздат, 1999. 252 с.
4. Колотилкин Б.М. Долговечность жилых зданий. М.: Стройиздат, 1965. 254 с.
5. Порывай Г.А. Предупреждение преждевременного износа зданий. М.: Стройиздат, 1979.
6. Порывай Г.А. Техническая эксплуатация зданий. М.: Стройиздат, 1982.
7. Рогонский В.А., Костриц А.И., Шеряков В.Ф. Эксплуатационная надежность зданий. Л.: Стройиздат, 1983.
8. Ройтман А.Г., Смоленская Н.Г. Ремонт и реконструкция жилых и общественных зданий. М.: Стройиздат, 1979.
9. Хотенко С.Н. Техническая эксплуатация жилых зданий: [учеб-

- ник / Нотенко С.Н., Римшин В.И., Ройтман А.Г. и др.]. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2008. 637 с.
10. Федосов С.В. О некоторых проблемах технологии безопасности и долговечности зданий, сооружений и инженерной инфраструктуры / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.А. Хрунов, М.Е. Шестеркин // *Строительные материалы*. 2015. № 3. С. 8-11. EDN TLRUQV.
 11. *Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам*. ЦНИИ Промзданий. М., 2001. 100 с.
 12. *Патент № 2518413 С1* Российская Федерация, МПК G01M 17/00. Способ оценки гамма-процентного ресурса изделия по результатам неразрушающего контроля: № 2013125295/11: заявл. 31.05.2013: опубл. 10.06.2014 / Г.В. Аркадов, А.Ф. Гетман, А.В. Михальчук [и др.]; заявитель ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций» (ОАО ВНИИАЭС). EDN GBEKOX.
 13. *Патент № 2518407 С1* Российская Федерация, МПК G01M 17/00. способ проведения неразрушающего контроля изделия во время его эксплуатации: № 2013129429/11: заявл. 27.06.2013: опубл. 10.06.2014 / Г.В. Аркадов, А.Ф. Гетман, А.В. Михальчук, А.Г. Казанцев; заявитель Открытое акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по эксплуатации атомных электростанций» (ОАО ВНИИАЭС). EDN ZFOZ XV.
 14. *Левченко В.Н.* Экономическое обоснование надежности и долговечности строительных конструкций зданий и сооружений / В.Н. Левченко, В.И. Кротюк, С.Н. Водолазский [и др.] // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2022. № 1 (153). С. 91-98. EDN QBUQZW.

References

1. *Khairullin V.A.* Accounting for the amount of physical wear of an object of technical operation when assessing the actual residual value of a building / V.A. Khairullin, A.S. Salov, L.A. Yakovleva, V.V. Valishina // *Online journal of Science Studies*. 2015. Т. 7. № 5 (30). P. 166. DOI 10.15862/219TVN515. EDN TFWPOZ.
2. *Boyko M.D.* Technical operation of buildings and structures. Reference manual. Moscow: Stroyizdat, 1993.
3. *Wolfson V.L.* et al. Reconstruction and overhaul of residential and public buildings: Directory of the manufacturer of works / V.L. Wolfson, V.A. Ilyashenko, R.G. Komisarchik // 2nd ed. stereotype. M.: Stroyizdat, 1999. 252 p.
4. *Kolotilkin B.M.* Durability of residential buildings. M.: Stroyizdat, 1965. 254 p.
5. *Poryvay G.A.* Prevention of premature wear of buildings. M.: Stroyizdat, 1979.
6. *Poryvay G.A.* Technical operation of buildings. M.: Stroyizdat, 1982.
7. *Rogonsky V.A., Kostrits A.I., Sheryakov V.F.* Operational reliability of buildings / V.A. Rogonsky, A.I. Kostrits, V. F. Sheryakov. L.: Stroyizdat, 1983.
8. *Roitman A.G., Smolenskaya N.G.* Repair and reconstruction of residential and public buildings. M.: Stroyizdat, 1979.
9. *Notenko S.N.* Technical operation of residential buildings: [text-book / Notenko S.N., Rimshin V.I., Roitman A.G., etc.]. 2nd Ed., reprint. and additional. M.: Higher School, 2008. 637 p.
10. *Fedosov S.V.* On some problems of safety technology and durability of buildings, structures and engineering infrastructure / S.V. Fedosov, V.E. Rummyantseva, V.A. Khrunov, M.E. Shesterkin // *Building Materials*. 2015. № 3. P. 8-11. EDN TLRUQV.
11. *Recommendations* for assessing the reliability of building structures of buildings and structures by external signs. Tsniipromzdaniy. M., 2001. 100s.
12. *Patent № 2518413 С1* Russian Federation, IPC G01M 17/00. Method for estimating the gamma-percent resource of the product based on the results of non-destructive testing: No. 2013125295/11: application 31.05.2013: publ. 10.06.2014 / G.V. Arkadov, A.F. Getman, A.V. Mikhalchuk [et al.]; applicant JSC "All-Russian Research Institute for the Operation of Nuclear Power Plants" (JSC VNIIAES). EDN GBEKOX.
13. *Patent № 2518407 С1* Russian Federation, IPC G01M 17/00. method of non-destructive testing of a product during its operation: № 2013129429/11: application 27.06.2013: publ. 10.06.2014 / G.V. Arkadov, A.F. Getman, A.V. Mikhalchuk, A.G. Kazantsev; applicant Open Joint Stock Company "All-Russian Research Institute on the operation of nuclear power plants" (JSC VNIIAES). EDN ZFOZ XV.
14. *Levchenko V.N.* Economic justification of reliability and durability of building structures of buildings and structures / V.N. Levchenko, V.I. Krotiyuk, S.N. Vodolazsky [et al.] // *Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture*. 2022. № 1 (153). P. 91-98. EDN QBUQZW.

Информация об авторах

Хайруллин В.А., заместитель генерального директора по экономике Научно-производственного предприятия Экопромсистемы, ведущий научный консультант центра судебной экспертизы САПИЕНС. (г. Уфа, Российская Федерация). Почта для связи с автором: vitalik000@yandex.ru

Салов А.С., кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения» Архитектурно-строительного института ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация).

Терехов И.Г., кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги, мосты и транспортные сооружения», заместитель директора по учебной работе Архитектурно-строительного института ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», эксперт в области промышленной безопасности Э7ЗС, второй категории в ООО «ГазТехЭксперт» (г. Уфа, Российская Федерация).

Information about the authors

Khairullin V.A., Deputy General Director for Economics, Research and Production Enterprise Ecopromsystem, leading scientific consultant of the SAPIENS Forensic Examination Center (Ufa, Russian Federation). Corresponding author: vitalik000@yandex.ru

Salov A.S., Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Highways, Bridges and Transport Structures» of the Architectural and Construction Institute of the Ufa State Petroleum Technical University (Ufa, Russian Federation).

Terekhov I.G., Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Highways, Bridges and Transport Structures», Deputy Director for Academic Work of the Architectural and Construction Institute of the Ufa State Petroleum Technical University, expert in the field of industrial safety E7ZS, second category in LLC Gaztehexpert (Ufa, Russian Federation).

Масалимов Р.Б., кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины» Архитектурно-строительного института ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация).

Masalimov R.B., Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Applied and Natural Sciences of the Architectural and Construction Institute of the Ufa State Petroleum Technical University (Ufa, Russian Federation).

Информация о статье

Дата получения статьи:
Дата принятия к публикации:

© Хайруллин В.А., Салов А.С., Терехов И.Г., Масалимов Р.Б., 2022.

Article Info

Received for publication:
Accepted for publication:

© Khairullin V.A., Salov A.S., Terekhov I.G., Masalimov R.B., Masalimov R.B., 2022.