

## КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 69.059.626

### ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

© 2023 г. Ю. А. Бирюков<sup>1</sup>, Л. В. Зубова<sup>1</sup>, И. М. Таугиев<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева,  
Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: islam7777.90@mail.ru

Поступила в редакцию 06.07.2023 г.

После доработки 06.07.2023 г.

Принята к публикации 05.10.2023 г.

Обоснованы современные подходы по оценке проблем и способов мониторинга зданий и сооружений. Исследованы организационно-управленческие решения при мониторинге технического состояния и восстановлении зданий и сооружений. Повышены показатели технико-экономической эффективности восстановления зданий и сооружений на основе разработанной системы мониторинга их технического состояния. Используются математико-статистические методы регрессионного анализа, интегрированного подхода и эффективности целенаправленных вопросов. Разработаны принципиально новые технические решения, комплексное применение которых позволяет автоматизировать системы поддержки принятия решений и мониторинга технического состояния зданий при их восстановлении.

DOI: 10.56304/S2782375X2302002X

#### ВВЕДЕНИЕ

Условия выполнения восстановительных работ значительно отличаются от повседневной производственной деятельности строительных предприятий прежде всего значительными объемами восстановительных работ на различных по виду и степени разрушениях зданий и сооружений, сжатыми сроками их выполнения, необходимостью использования с наибольшей эффективностью как традиционных, так и перспективных технологий и средств механизации.

Объекты, получившие критические повреждения, ветхие и аварийные строения с физическим износом более 70%, морально устаревшие здания и сооружения сносятся путем их полной или частичной разборки, демонтажа или разрушения. Здания и сооружения, получившие значительные повреждения несущих и ограждающих конструкций, восстанавливают и реконструируют в ходе ремонтно-восстановительных работ. На освобожденных в результате сноса участках возводят новые здания и сооружения.

Восстановление объектов при ликвидации последствий вооруженных конфликтов и других чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера охватывает целый ряд аспектов: безопасность объектов капитального строительства, разработку концепции организации восста-

новления объектов, учет особенностей и последовательности принятия решений по их восстановлению, а также ряд других проблем.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Мониторинг технического состояния зданий и сооружений является одним из элементов системы технической эксплуатации. Предметом мониторинга является многокомпонентная совокупность элементов строительных конструкций объектов, подверженных разнообразным естественным динамическим воздействиям и испытывающих различные изменения при эксплуатации. Анализ выполнения мероприятий по мониторингу технического состояния объектов необходим для определения уровня эффективности их технической эксплуатации от момента ввода в эксплуатацию до постановки на капитальный ремонт.

ГОСТ 31937-2011 определяет, что мониторингом технического состояния объектов является (в том числе зданий) система наблюдения и контроля, проводимая по определенной программе, утверждаемой заказчиком, для выявления объектов, на которых произошли значительные изменения напряженно-деформированного состояния несущих конструкций или крена, для которых необходимо обследование их технического состо-

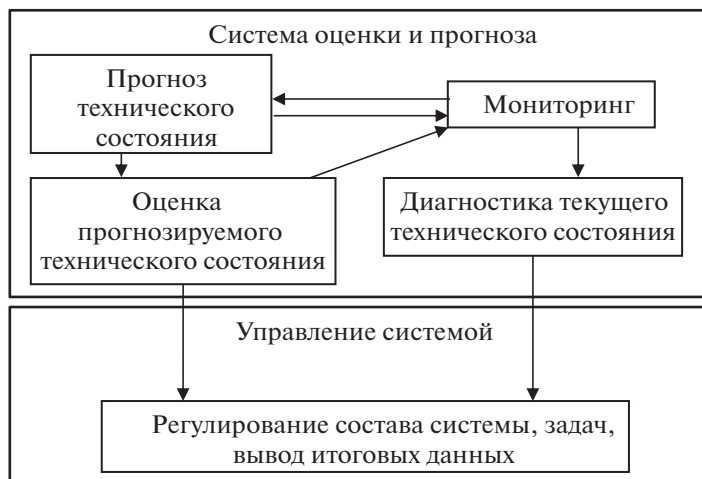


Рис. 1. Структура системы мониторинга технического состояния зданий и сооружений.

яния [5]. Общая структура мониторинга технического состояния зданий и сооружений представлена в виде схемы на рис. 1.

Для оценки риска анализируют исходные данные, приведенные на рис. 2 [2].

Уровень риска здания (сооружения) проверяют по формуле

$$P \leq [P], \quad (1)$$

где  $P$  – риск нанесения зданию (сооружению) ущерба определенного уровня при опасном воздействии данной интенсивности за срок службы объекта,  $[P]$  – допустимый уровень риска (фоновый уровень для Российской Федерации), который принимается равным  $5 \times 10^{-6}$ .

В мониторинг технического состояния объектов, где сохраняются конструкции при проведении демонтажных работ, дополнительно входит изучение деформированного состояния, определяемого геодезическими методами. В предварительно выбранных контрольных точках измеряются три координаты перемещений, по которым можно построить деформированную схему сооружения.

Главная цель обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений заключается в установлении фактической несущей способности и эксплуатационной надежности строительных конструкций после полученных повреждений в ходе вооруженного конфликта. Полученные данные используются при разработке проектов капитального ремонта, реконструкции, консервации и сноса (демонтажа, разборки, утилизации) объекта.

При проведении длительных наблюдений необходимо предусмотреть и обеспечить стабильность системы наблюдений и параметров измерительных устройств при изменениях в окружающей среде.

Опыт проведения мониторинга показывает эффективность использования в едином комплексе цифровых измерительных устройств различных типов, дающих сведения о состоянии конструкций и грунтов основания объектов. Конечным этапом проведения мониторинга является получение данных о фактическом состоянии объектов. Полученные данные используются для принятия обоснованного решения о целесообразности использования объекта с последующим определением необходимого вида работ, в частности по демонтажу и сносу.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Способ мониторинга технического состояния сохраняемых конструкций зданий и сооружений.* Во время подготовки к работам по демонтажу зданий и сооружений при необходимости, если это предусмотрено проектом, проводят мониторинг технического состояния сохраняемых конструкций, а также находящихся в тридцатиметровой зоне зданий подпорных стен, опор газопроводов, колодцев систем канализации. Мониторинг позволяет определить момент перехода зданий и сооружений к состоянию ухудшения и разработать способы предотвращения последующего развития диагностированных ухудшений. Для этого мониторинг осуществляется по всем компонентам технических состояний объекта [1–3, 6, 9]. Основные цели мониторинга технического состояния приведены на рис. 3.

Алгоритм мониторинга технического состояния сохраняемых конструкций зданий и сооружений во время демонтажа (сноса), прилегающих к нему объектов и сохраняемых конструкций объекта представлен на рис. 4 [2]. Базовая стоимость работ

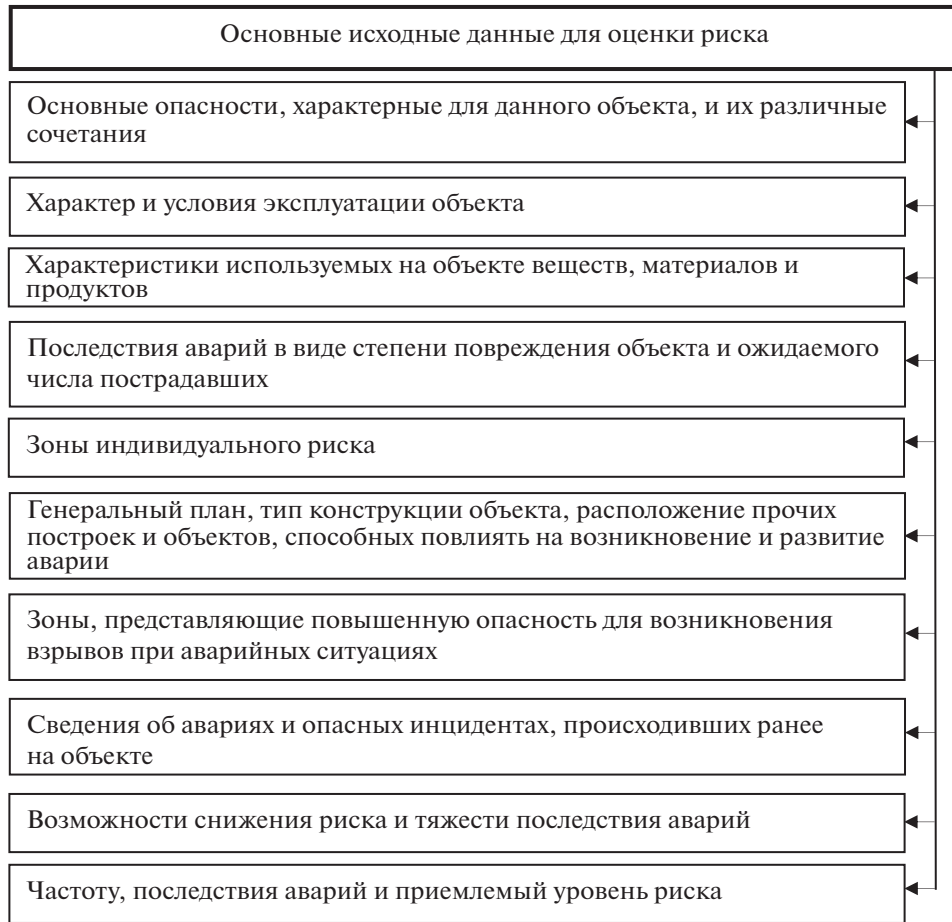


Рис. 2. Основные исходные данные для оценки риска зданий.

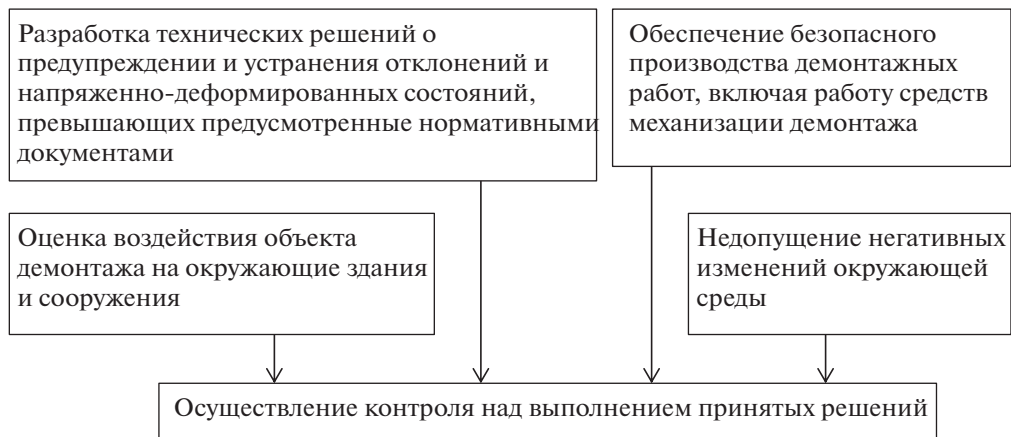


Рис. 3. Цели мониторинга технического состояния сохраняемых конструкций зданий и сооружений.

по мониторингу строительных конструкций зданий и сооружений определяется по формуле [3]:

$$C_{(6)} = \Pi_{(6)} \times K_{cp} \times \prod_{i=1}^n K_i, \quad (2)$$

где  $C_{(6)}$  – базовая стоимость работ по обследованию и мониторингу,  $\Pi_{(6)}$  – базовая цена работ по обследованию и мониторингу,  $K_{cp}$  – корректиру-

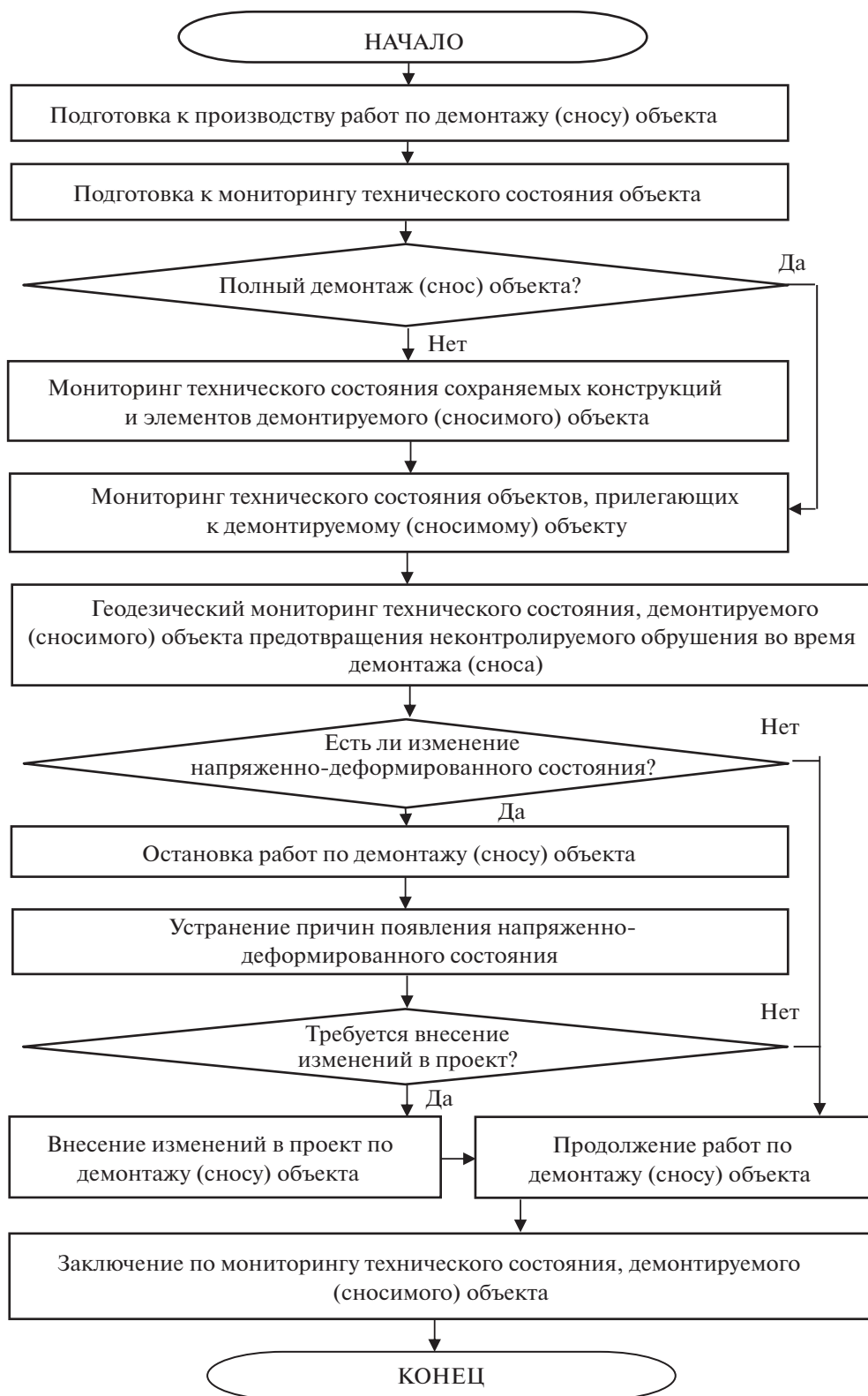


Рис. 4. Алгоритм мониторинга технического состояния сохраняемых конструкций зданий и сооружений.

ющий коэффициент, учитывающий степень полноты выполнения работы или комплекса работ и определяющийся исходя из долевого значения отдельных операций в общем объеме работ,  $\prod_{i=1}^n K_i$  – произведение корректирующих коэффициентов, учитывающих усложняющие (упрощающие) факторы, влияющие на трудоемкость выполнения работ.

Коэффициент, учитывающий степень полноты выполнения работ ( $K_{cp}$ ), определяется по формуле [2]:

$$K_{cp} = \sum D_i \times K_{ki}, \quad (3)$$

где  $D_i$  – доля отдельных видов работ в общей стоимости работ,  $K_{ki}$  – степень полноты проработки отдельных видов работ (определяется в техническом задании или по согласованию с заказчиком).

Стоимость работ в текущем уровне цен ( $C_{(т)}$ ) определяется по формуле

$$C_{(т)} = C_{(б)} \times K_{пер}, \quad (4)$$

где  $K_{пер}$  – коэффициент пересчета (инфляционного изменения) базовой стоимости работ в текущий уровень цен.

Основными причинами деформаций существующих зданий и сооружений при производстве демонтажных работ в 30-метровой зоне могут являться: увеличение вертикальных напряжений в основании под фундаментами существующих зданий, вызванное снятием нагрузки на грунт вблизи них; устройство котлованов или изменение планировочных отметок; технологические факторы, такие как динамические воздействия средств механизации и прочее.

Мониторинг проводят по специально разработанному проекту. Состав, методы и объем мониторинга устанавливают в зависимости от геотехнической категории зданий и сооружений совместным решением заказчика демонтажа и генпроектировщика проекта по мониторингу.

До старта работ по демонтажу предусматривают установку системы наблюдений, включающей в себя проведение наблюдений и их регистрацию, обработку информации; корректировку в случае возникновения необходимости процесса демонтажа и разработку дополнительных мероприятий.

При обнаружении деформаций оснований фундаментов определяют величины вертикальных перемещений (осадок, просадок, подъемов), горизонтальных перемещений (сдвигов) при наличии специального обоснования, кренов, углов наклона фундаментов.

Наблюдения за деформациями зданий, оснований и фундаментов проводят в определенной последовательности. Разрабатывается программа

измерений; выбираются конструкции, места расположения и установки исходных геодезических знаков высотной и плановой основы; осуществляется высотная и плановая привязка установленных исходных геодезических знаков; устанавливаются деформационные марки на зданиях и сооружениях; проводятся инструментальные измерения величин вертикальных и горизонтальных перемещений, кренов и углов наклона фундаментов [8].

Методы измерений вертикальных и горизонтальных перемещений и определение крена и углов наклона фундамента устанавливают с помощью программы измерения деформаций в зависимости от требуемой точности измерения, конструктивных особенностей фундамента, инженерно-геологической и гидрогеологической характеристик основания, возможности применения и экономической целесообразности метода в данных условиях.

*При оценке технико-экономической эффективности восстановления зданий и сооружений* целесообразно исходить из метода комплексной экономической оценки, используемого для определения сравнительной эффективности капитальных вложений в строительство. Комплексная экономическая оценка восстановления зданий и сооружений учитывает себестоимость работ по восстановлению, производственные фонды строительных предприятий [2, 6].

Себестоимость восстановления зданий и сооружений определяется по их сметной стоимости без сметной прибыли. Данные работы, возможно, потребуют и незначительных затрат основных производственных фондов, а увеличение потребности в оборотных производственных фондах может быть принято как возрастание незавершенных капитальных вложений в восстановление зданий и сооружений и по объему быть пропорциональным увеличению протекания работ. Комплексные приведенные затраты на восстановительные работы при разрушениях зданий и сооружений можно определить по формуле

$$П = (C_p - 0.065C_p) + 0.25(C_p/2). \quad (5)$$

Экономическая целесообразность восстановления зданий и сооружений определяется соотношением затрат на восстановительные работы и части восстановительной стоимости здания с учетом соответствия его современным нормативным требованиям. При восстановлении зданий и сооружений при сопоставлении вариантов необходимо исходить из приведенных затрат. Приведенные затраты определяются на натуральную единицу измерения, в частности, на объектах в целом до начала их эксплуатации и рассчитываются по формуле

$$Z_n = \sum_1^n Z_M + Z_D, \quad (6)$$

где  $Z_M$  – приведенные капитальные вложения в сопряженные отрасли, изготавливающие и поставляющие используемые в строительстве материалы и изделия;  $n_1$  – количество материалов и изделий;  $Z_D$  – приведенные затраты на возведение строительных конструкций, определяемые как сумма прямых затрат на производство строительного-монтажных работ.

Приведенные затраты в сопряженные отрасли определяются по формуле

$$Z_M = E_n K_{пр} P, \quad (7)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0.15;  $K_{пр}$  – удельные капитальные вложения в производственную базу сопряженных отраслей для выпуска единицы продукции, приведенные к началу их использования в строительстве;  $P$  – расход материалов и изделий, используемых для изготовления и возведения конструкций зданий и сооружений.

В работе за эталон, с которым сравнивают ожидаемые затраты на восстановление, принят суммарный расчетный ущерб. Он состоит из ущерба от повреждения объектов, физического и морального износов, который выражается через общую стоимость восстановления объекта при повреждениях данного класса, отнесенных к стоимости объекта, определяемых по формуле

$$Y_{1(j)} = \sum_{i=1}^N C_i (C_{общ}/100), \quad (8)$$

где  $N$  – число обследованных (поврежденных) объектов;  $C_i$  – общая доля восстановительной стоимости  $i$ -го объекта в процентах его первоначальной стоимости;  $C_{общ}$  – стоимость объектов. В расчетный ущерб могут включаться величины ущерба от повреждения материальных ценностей  $Y_{2(j)}$ , ущерба от перерывов в эксплуатации объектов и сопутствующий ущерб от перебоев в работе и нарушениях режима на других объектах  $Y_{3(j)}$ .

Прямые затраты связаны непосредственно с выполнением строительных и монтажных работ, физический объем которых определяется по проекту, а величина этих затрат – по сметным нормам и ценам. Они изменяются прямо пропорционально изменению объемов работ и включают в себя:

– стоимость материалов, деталей, конструкций и других материальных ресурсов  $C_{мат}$ , включая их приобретение, заготовку и доставку на приобъектные склады строительства;

– расходы на оплату труда рабочих  $C_{рот.стр.}$ , занятых на выполнении строительных и монтажных работ на объектах;

– расходы на эксплуатацию строительных машин и механизмов  $C_{эмм}$ , участвующих в производстве строительных и монтажных работ:

$$ПЗ = C_{мат} + C_{рот.стр.} + C_{эмм}. \quad (9)$$

Увеличенные нормативы накладных расходов по основным видам строительства объектов целесообразно использовать для разработки инвесторских смет и на стадии подготовки документации при проведении подрядных торгов. В этом случае при определении сметной стоимости накладные расходы рассчитываются по формуле [2]:

$$НР = h_{нру}/100 \times (C_{рот.стр.} + C_{рот.мех}), \quad (10)$$

где  $h_{нру}$  – увеличенный норматив накладных расходов по видам строительства, %;  $C_{рот.стр.}$ ,  $C_{рот.мех}$  – величина средств на оплату труда соответственно рабочих-строителей и механизаторов, учитываемая в составе прямых затрат в сметной стоимости.

В данном походе определение затрат и оценка целесообразности восстановления зданий и сооружений исходят из состояния конструкций, их физического износа. Примерную величину затрат на восстановительные работы возможно вычислить по формуле

$$Z_b = a_j C_n F_{зд}/100, \quad (11)$$

где  $Z_b$  – стоимость восстановительных работ на объектах, имеющих целью возмещение физического износа в результате повреждения конструкций, руб.;  $a_j$  – стоимость восстановительных работ на объектах с  $j$ -м показателем категории состояния конструкций, процент от восстановительной стоимости объектов;  $C_n$  – нормативное значение показателя удельной сметной стоимости общестроительных работ 1 м<sup>2</sup> общей площади объектов, руб.;  $F_{зд}$  – общая площадь объектов, м<sup>2</sup>. Значение  $a_j$  содержит повреждения (физического износа) конструктивных элементов зданий и сооружений.

Если установлено, что наряду с физическим износом имеют место моральный износ и факторы, усиливающие экстремальность условий восстановления зданий и сооружений, то затраты на восстанавливаемый объект определяют по формуле

$$Z_y = \left( \frac{C_{общ}}{C_{зд}} + \sum_i^n K_i \right) C_{зд}, \quad (12)$$

где  $Z_y$  – затраты на восстановление объектов, руб.;  $C_{общ}$  – затраты на восстановительные работы, возмещающие повреждения, физический и моральный износы объектов, руб.;  $K_1, \dots, K_n$  – коэффициенты, характеризующие увеличение стоимости восстановительных работ из-за факторов, усиливающих экстремальность условий зданий и сооружений, таких как восстановление в период

вооруженного конфликта, отдаленность объектов восстановления от мест постоянной дислокации строительных предприятий, полное или частичное отсутствие проектно-сметной документации, несоблюдение графика поступления материально-технических ресурсов, дефицит времени;  $C_{зд}$  — сметная стоимость общестроительных работ [9].

Величина затрат на восстановление зданий и сооружений может измеряться объемом затрат на строительство нового здания, равного по площади существующему объекту, с учетом убытков от сокращения прибыли объекта. При оценке затрат на восстановительные работы следует учитывать физический и моральный износ объектов, а также необходимо иметь сведения о стоимости и трудозатратах на выполнение отдельных восстановительных работ [4, 8].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обоснованы современные подходы по оценке и решению проблем и способов мониторинга зданий и сооружений. Разработаны принципиально новые технические решения для автоматизации процесса мониторинга технического состояния зданий на основе математико-статистических методов регрессионного анализа, интегрированного подхода и эффективности целенаправленных вопросов. Комплексное применение разработанных решений позволяет повысить эффективность принятия управленческих решений по восстановлению зданий и сооружений; реализовать концепцию управления жизненным циклом зданий за счет применения совокупности технических решений для мониторинга технического состояния эксплуатируемых фондов; оценить технико-экономическую эффективность восстановления зданий и сооружений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бирюков А.Н., Денисов В.Н., Бирюков Ю.А.* Восстановление объектов военной инфраструктуры при ликвидации последствий вооруженных конфликтов: монография. СПб.: ВИ (ИТ) ВА МТО, 2019. 338 с.
2. *Бирюков Ю.А.* Управление обеспечением, материально-техническими и трудовыми ресурсами объектов военной инфраструктуры для их восстановления при ликвидации последствий вооруженных конфликтов: монография. СПб.: ВИ(ИТ) ВА МТО, 2021. 214 с.
3. *Бирюков Ю.А.* // Сб. ст. науч.-практ. конф. «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники». СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. Т. 1.
4. *Бирюков А.Н., Таутиев И.М.* // Сб. ст. науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Новые материалы и энергетика в ВС РФ». Анапа: ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА», 2022. С. 33.
5. *Бирюков А.Н., Бирюков Ю.А., Таутиев И.М. и др.* Устройство для возбуждения непрерывных колебаний струны импульсом полусинусоидальной формы. Патент на изобретение Российской Федерации М. Бюл. открытий, изобретений № 22. Пат. № 2782678. 2022.
6. ГОСТ 53778-2010 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2010. С. 65.
7. ГОСТ 31937-2011 Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Стандартинформ, 2011. С. 59.
8. *Грибов В.Д.* Экономика объекта: учебник. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2006. 336 с.
9. *Гроздов В.Т.* Признаки аварийного состояния несущих конструкций зданий и сооружений. СПб.: Издательский Дом К.Н+, 2006. 42 с.
10. *Канторович Л.В., Горстко А.Б.* Математическое оптимальное программирование в экономике. М.: Знание, 1968. 96 с.
11. *Фарфель М.И., Гукова М.И., Кондрашов Д.В., Коняшин Д.Ю.* // Вестник НИЦ «Строительство». 2021. Т. 1. № 28. С. 110.