

А.Г. ТАМРАЗЯН¹, Т.А. МАЦЕЕВИЧ¹, С.Ю. САВИН¹

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКА АВАРИИ

Аннотация. Каждое здание и сооружение представляет собой сложную техническую систему с заранее заданными техническими параметрами, которые должны контролироваться в процессе всего жизненного цикла. Целью исследования является разработка методик количественной оценки технического состояния несущих систем зданий для повышения их конструктивной безопасности и эксплуатационной пригодности. Определена зависимость фактического износа здания от периода собственных колебаний на основе теории прогнозирования риска аварии, позволяющая определить увеличение периода собственных колебаний несущих систем зданий для оценки категории их технического состояния. Определены границы увеличения периода собственных колебаний несущих систем зданий, позволяющие количественно оценить категорию их технического состояния (0-4% - нормативное техническое, от 5-10% - работоспособное, от 11-49% - ограниченно работоспособное, 50-95% и выше – аварийное).

Ключевые слова: конструктивная безопасность, риск аварии, период собственных колебаний, фактический износ здания.

A.G. TAMRAZYAN¹, T.A. MATSEEVICH¹, S.Y. SAVIN¹

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF LOAD-BEARING STRUCTURES OF BUILDINGS BASED ON ACCIDENT RISK FORECASTING

Abstract. Each building and structure are a complex technical system with predetermined technical parameters that must be monitored throughout the entire life cycle. The purpose of the study is to develop a methodology for quantitatively assessing the technical condition of load-bearing systems of buildings to improve their structural safety and operational suitability. The dependence of the actual wear of a building on the period of natural oscillations is determined based on the theory of predicting the risk of an accident, which allows determining an increase in the period of natural oscillations of load-bearing systems of buildings to assess the category of their technical condition. The limits of increase of the period of natural vibrations of bearing systems of buildings are defined. They allow quantitatively estimate the category of the technical condition (0-4% - normative technical condition, from 5-10% - serviceable, from 11-49% - limited serviceable, 50-95% and higher - emergency).

Keywords: structural safety, accident risk, natural oscillation period, actual building wear.

Введение

Значительное снижение нормируемого уровня надежности строительных объектов вплоть до аварийных ситуаций обусловлено дефектами изготовления, транспортировки и монтажа конструкции [1].

Наибольшую опасность представляет неблагоприятное сочетание проектных ошибок с дефектами выполнения строительно-монтажных работ и нарушениями условий эксплуатации зданий, поэтому необходима разработка достоверных методик оценки надежности и безопасности строительных конструкций.

Существующие методы оценки технического состояния зданий основаны преимущественно на визуальных и местных способах диагностирования. Известны работы, которые по результатам визуального и инструментального контроля, дают степень износа отдельных конструктивных элементов [2-5], а также безопасный ресурс, надежность [6-11] и др.

Основным нормативным документом по оценке технического состояния строительных конструкций является ГОСТ Р 53778-2010 [12], где определено четыре вида категорий технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений: нормативное техническое, работоспособное техническое, ограниченно - работоспособное техническое, аварийное состояние.

Анализ причин возникновения дефектов и методов контроля показал необходимость интегрального подхода при оценке категории состояния зданий. Только на основе полученных наиболее полных диагностических и расчетных данных можно определить инженерные мероприятия, повышающие устойчивость здания к воздействию возможных опасных природных и техногенных нагрузок и разработать проект повышения конструкционной безопасности.

Актуальность проблемы оценки технического состояния несущих конструкций зданий с учетом прогнозирования риска аварии, обусловлена постоянным ростом угроз природного, техногенного характера для несущих систем промышленных и гражданских зданий. Несмотря на низкую вероятность реализации явлений, связанных с аварийным отказом отдельных несущих элементов зданий и сооружений, социальные и экономические последствия могут быть катастрофическим [13-15]. При этом характер деформирования и возможность разрушения сооружения во многом определяется техническим состоянием конструкций. В связи с этим исследования, направленные на создание методики оценки технического состояния зданий на основе вероятностных параметров живучести и риска, представляются актуальными. Особенно важно проведение обследований и оценка технического состояния после разного рода техногенных и природных воздействий (пожары, средовые воздействия и т.п.), а также аварий. В свою очередь важным является инженерно-техническое обследование, предшествующее реконструкции зданий, что часто связано с изменением действующих нагрузок и функционального назначения, с изменением конструктивных схем и необходимостью учета современных норм проектирования. Научно обоснованное присвоение той или иной категории технического состояния зданиям, определение их живучести и уровня риска позволяют вовремя и достоверно распознать состояние конструктивной системы, своевременно, эффективно и обоснованно определить степень и затраты требуемого инженерного вмешательства. В таком случае исключаются или сводятся к минимуму неоправданные затраты при эксплуатации объекта (планирование текущих и капитальных ремонтов) при его реконструкции (частичной или полной).

Целью исследования является разработка методики количественной оценки технического состояния несущих систем зданий для повышения их конструкционной безопасности и эксплуатационной пригодности.

Материалы и методы

Категория технического состояния - степень эксплуатационной пригодности строительной конструкции или здания и сооружения в целом, установленная в зависимости от доли снижения несущей способности и эксплуатационных характеристик конструкций. Согласно методу измерений динамических параметров [16], степень повреждения здания определяется по результатам сравнения проектных (нормативных) значений динамических

параметров (периодов собственных колебаний, декремента затухания) с экспериментально полученными значениями.

Анализ эпюры колебаний дает возможность выявить места расположения возможных дефектов по высоте и в плане здания. Для определения нормативных значений периодов собственных колебаний (T_j) используется эмпирическая формула:

$$T_j = a \cdot n, \quad (1)$$

где n — количество этажей в здании; a - коэффициент, зависящий от конструкции здания и вида его основания, например, для монолитного каркаса с кирпичным или легкобетонным заполнением стен $a = 0,064$, для жилых крупнопанельных зданий $a = 0,045$.

Степень повреждения зданий и сооружений в зависимости от изменения фактического периода собственных колебаний здания по сравнению с нормативным (проектным) значением приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Степени повреждения зданий в зависимости от изменения периода собственных колебаний конструкции

Степень повреждения	Увеличение периода собственных колебаний, %
1 - без повреждения - легкая	0-10
2 - умеренная	11-30
3 - сильная	31-60
4 - тяжелая	61-90
5 - катастрофическая	91-100

Анализ методов определения динамических параметров зданий показал, что основными критериями оценки технического состояния несущих систем являются период и частота собственных колебаний зданий. Известно, что основной динамический параметр – период собственных колебаний конструктивной системы T связан с её жесткостью EI . Поэтому результаты динамических испытаний периода собственных колебаний сооружения дают величину снижения его интегральной жесткости.

Математическая зависимость периода собственных колебаний от жесткости выражается формулой:

$$T = k \cdot \sqrt{\frac{m}{E \cdot I}}, \quad (2)$$

где k - коэффициент, учитывающий тип конструктивной схемы, m - масса, E - модуль упругости, I - момент инерции.

Снижение момента инерции I показывает наличие возможных дефектов в сечениях конструктивных элементов сооружения. Снижение модуля упругости E показывает, что происходит уменьшение прочности конструктивных элементов. Поэтому по изменению периода и частоты собственных колебаний несущих систем зданий можно оценивать изменение их конструктивной жесткости и дать количественную оценку их технического состояния.

Определение количественной оценки технического состояния зданий

Физическое состояние сооружения в целом оценивается в результате анализа основных несущих конструктивных элементов. В предположении, что при оценке прочности и устойчивости сооружений можно пренебречь изменением массовых характеристик, несущую способность можно охарактеризовать изгибной жесткостью опасных сечений несущих конструктивных элементов

$$B = E \cdot I. \quad (3)$$

Указанные предпосылки дают возможность оценивать несущую способность сооружения по спектру частот собственных колебаний f по собственным формам, связанным со средней жесткостью соотношением:

$$f_i = \frac{\alpha_i^4 \cdot B}{H^4 \cdot m}, \quad (4)$$

где α_i^4 – частотный коэффициент, зависящий от упругих свойств сечения;
 H^4 – пролет конструктивного элемента (для высотных сооружений – высота сооружения);
 $m = \text{const}$ – погонная масса.

При проведении динамических расчетов сооружений необходимо знать модули упругости материалов. Эти характеристики зависят от многих факторов и поэтому правильно назначить их величину – не простая задача. В частности, упругие свойства материалов изменяются с изменением его напряженного состояния, особенно при переходе напряжений за пределы упругости. В конструкциях к этому добавляется влияние большого числа местных напряженных состояний, не поддающихся расчетному учету и вносящих существенные поправки к характеристикам, относящимся к материалу конструкций [17]. Все это приводит к тому, что отдельное рассмотрение упругих свойств материалов в отрыве от конструкций, а тем более от целых зданий, не имеет смысла.

При подсчете прогибов в конструкциях от действия статических нагрузок обычно представляет интерес определение максимально возможных их значений, которые, как известно, зависят не только от упругих, но также и от необратимых деформаций, связанных с пластическими свойствами материала. При динамических же расчетах для определения периодов, форм и амплитуд колебаний необходимо знать свойства, определяющие только упругие деформации материала (или конструкции). Характеристика, учитывающая все деформации материала (включая деформации пластические и упругого последдействия), будет отличаться от показателей, оценивающих только его упругие деформации.

Как показывают результаты натурных измерений фактических величин периодов собственных колебаний большинства зданий, значения T зависят от жесткости самого здания, а также от податливости основания, причем оказывается, что чем жестче здание, тем большее влияние на периоды колебаний оказывает податливость основания. В связи с этим при выборе расчетных схем реальных сооружений необходимо одновременно учитывать податливость основания и деформируемость конструкций, а также фактическую жесткость конструкций. При этом расчетная схема принимается в виде деформируемой системы, упруго связанной с основанием. Тогда периоды свободных колебаний такой системы приближенно можно определить по формуле:

$$T = \sqrt{T_0^2 + T_k^2}, \quad (5)$$

где T_k — период свободных колебаний здания, когда учитываются только деформации его конструкций;

T_0 — период свободных колебаний абсолютно жесткого здания вследствие податливости основания, равный:

$$T_0 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\theta}{k_a}}, \quad (6)$$

θ — момент инерции массы относительно оси вращения, т.е. оси, проходящей через центр тяжести основания перпендикулярно плоскости колебаний;

k_a — угловая жесткость основания.

Для сплошных фундаментов

$$k_a = 2 \cdot C_z \cdot I_\phi, \quad (7)$$

C_z — коэффициент упругого равномерного сжатия основания;

I_ϕ — момент инерции площади основания.

Величина периода T_k зависит от расчетной схемы сооружения при действии горизонтальных нагрузок. При исследовании форм колебаний различных зданий было установлено, что форма их деформирования различна:

- в зданиях с жесткой конструктивной схемой преобладают сдвиговые деформации;
- в гибких сооружениях — изгибные.

Хорошая сходимость опытных и расчетных значений периодов колебаний получается при рассмотрении расчетной схемы сооружений как системы с равномерно распределенной массой, работающей на изгиб и сдвиг.

Результаты и обсуждения

Прогнозирования риска аварии для определения границ динамических критериев

Для зданий и сооружений основным видом безопасности является конструкционная, характеризующая способность несущего каркаса объекта сопротивляться перегрузкам в чрезвычайных ситуациях, и трактуемая как отсутствие в нем недопустимого риска аварии. Уровень конструкционной безопасности считается достаточным, если фактический риск аварии объекта находится в области приемлемых значений. Границами такой области служат два стандартных значения риска: нормальное, являющееся допустимым значением риска аварии для новых зданий, и предельно допустимое значение, при достижении которого на объекте, находящемся в эксплуатации, следует произвести ремонтные работы с целью снижения риска аварии и продления его безопасного ресурса. Существует и третье стандартное значение риска аварии — предельное R_n , при достижении которого физический (конструкционный) износ объекта становится предельным, соответствующий переходу объекта из ограниченноработоспособного в аварийное состояние. При достижении такого риска способность объекта сопротивляться действующим на него нагрузкам практически исчерпывается.

Для отыскания стандартных значений риска аварии используется закон однопараметрического распределения Рэлея:

$$f(R) = (R-1) / \sigma^2 \cdot \exp\left[-(R-1)^2 / 2\sigma^2\right]. \quad (8)$$

При этом нормальный риск аварии приравнивается к величине естественного риска для новых зданий, показателем которого может служить математическое ожидание закона распределения риска аварии на неограниченном множестве новых зданий. На таком множестве закон распределения величины $V=R-1$ практически является симметричным относительно значения 0.5. Этот факт означает, что независимо от вида кривой распределения случайной величины v ее среднее значение m_v равно 0.5. Тогда из формулы (8) следует, что естественный риск аварии строительного объекта, а, следовательно, и величина нормального риска $R_n = 2$. Другими словами, фактическая вероятность аварии объекта после окончания его строительства в среднем увеличивается в 2 раза по сравнению с вероятностью, закладываемой по умолчанию при проектировании объекта. Время эксплуатации объекта с момента окончания его строительства до достижения риском аварии первой стыковой точки ($R = 19$) определяет безопасный ресурс объекта T_b . В этот период эксплуатации объекта трещины в конструкциях его несущего каркаса отсутствуют и можно утверждать, что каркас способен сопротивляться не только проектным воздействиям, но и за счет запаса прочности

большинству не учтенным при проектировании нагрузкам, возникающим в чрезвычайных ситуациях.

Техническое состояние объекта на этом промежутке времени можно трактовать как безопасное, а величину риска аварии, равную 19 , следует принять за предельно допустимый риск R_{nd} . При достижении объектом предельно допустимого риска аварии величина его физического (конструкционного) износа составляет 50%. При такой величине износа требуется капитальный ремонт здания [18] с целью восстановления способности его несущего каркаса сопротивляться запроектным воздействиям. Если же восстановительные мероприятия на объекте произведены не будут, то риск аварии продолжает расти и время достижения предельного значения риска, равного $R_n=83$, определяет предельный ресурс T_n этого объекта.

При превышении объектом предельно допустимого риска аварии скорость роста информационной энтропии замедляется, что означает переход объекта в иное отличное от безопасного состояние. Таким состоянием может быть только аварийное, при котором в несущих конструкциях появляются недопустимые трещины. В аварийном состоянии способность несущего каркаса объекта сопротивляться непроектным воздействиям снижается, а с дальнейшим ростом риска аварии полностью исчерпывается. При достижении объектом предельного значения риска аварии $R_n=83$ максимальной становится не только степень неопределенности технического состояния несущего каркаса, но и величина его конструкционного износа. При $R > R_n$ способность несущего каркаса объекта сопротивляться любым нагрузкам теоретически исчерпывается, а рост информационной энтропии практически прекращается. Это означает, что объект находится в ветхо-аварийном состоянии.

Стандартные риски аварии R_H , R_{nd} и R_n являются инвариантами, поскольку из способа их определения следует, что они не зависят ни от конструктивного типа здания, ни от его этажности. Два из них (R_H и R_{nd}) образуют нижнюю и верхнюю границы области приемлемых значений риска аварии объекта. Пока фактический риск аварии остается внутри этого коридора, уровень конструкционной безопасности объекта следует считать достаточным.

К показателям ресурса строительных объектов относятся безопасный ресурс t_b и безопасный остаточный ресурс $t_{\bar{a}}$. Безопасный ресурс – это время с момента ввода объекта в эксплуатацию до достижения им предельно допустимого риска аварии, а безопасный остаточный ресурс – интервал времени эксплуатации здания от момента, при котором осуществлена диагностика его технического состояния и определено фактическое значение риска аварии R , до момента достижения объектом предельно-допустимого риска аварии. Если при достижении объектом предельно допустимого значения риска аварии ремонтно-восстановительные работы для снижения риска аварии произведены не будут, то объект переходит в аварийное состояние. В этом случае жизненный цикл объекта от начала его строительства до достижения предельного риска аварии определяет величину предельного ресурса (t_n) этого объекта.

Безопасный остаточный ресурс здания, его конструкционный износ и фактический риск аварии – это тесно связанные величины. При построении математических моделей оценки физического износа и остаточного ресурса объектов строительства принято, что рост физического износа объекта в процессе его эксплуатации выражается экспонентой. Ее представительным параметром служит фактический риск аварии R , зафиксированный через t_f лет эксплуатации объекта. А при достижении риском аварии предельного значения R_n физический износ объекта становится равным **0,95 (95%)** [19].

Выбор формы модели физического износа объекта обоснован исследованиями ресурса конструкций по аналогии с «гамма» %-ым ресурсом по износу, используемым в теории надежности [20].

Фактический износ здания можно выразить в виде экспоненты (рис.1).

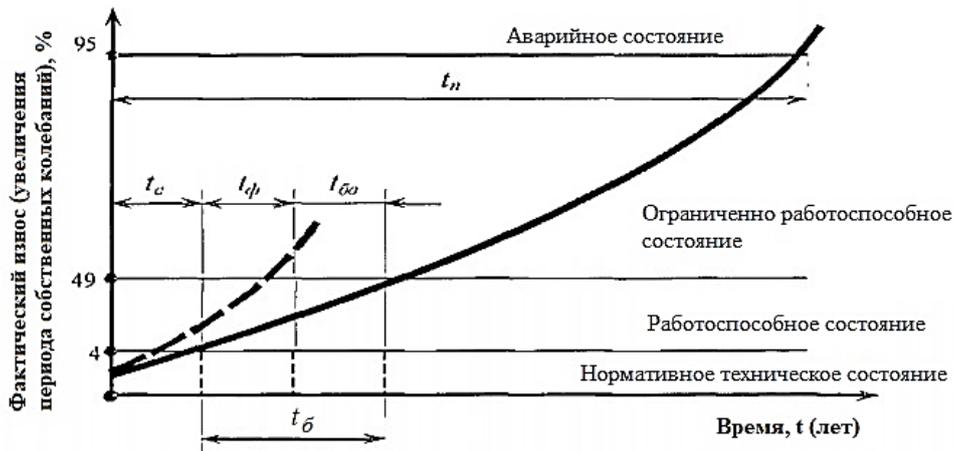


Рисунок 1 – Зависимость фактического износа здания от времени эксплуатации

Для определения границ динамических критериев, позволяющих количественно оценить категорию технического состояния здания, использована формула:

$$J = J(t) = 1 - \exp[-k(R - 1)], \quad (9)$$

где J – фактический износ здания,

$J(t)$ – фактический износ эксплуатируемого здания на момент времени t ;

R – фактический риск аварии.

Для определения верхней границы фактического износа при нормативном техническом состоянии здания использованы следующие положения теории прогнозирования риска аварии. Показатели ресурса $t_{\delta o}$ и t_n существенным образом зависят от величины фактического риска аварии на момент сдачи объекта в эксплуатацию. После окончания строительства фактический риск аварии здания равен нормальному значению ($R = R_H = 2$), а срок строительства нормативный, равный $t_c = 2$ года.

Тогда из формулы (9) следует, что фактический износ здания при определении верхней границы нормативного технического состояния составит:

$$J = 1 - \exp[-k(R - 1)] = 1 - \exp[-0,0365 \cdot (2 - 1)] = 0,0358 (4\%).$$

Для определения верхней границы фактического износа при работоспособном техническом состоянии использованы результаты численного эксперимента. Согласно полученным данным при условии наличия дефектов и повреждений, которые не влияют на несущую способность и при условии учета полного значения временной нагрузки, действующей на перекрытие, максимальное отклонение расчетных частот собственных колебаний от фактических составило 10%.

Для определения верхней границы фактического износа при предельно- допустимом риске $R_{nd} = 19$ - ограниченно-работоспособном состоянии, фактический износ здания составит:

$$J = 1 - \exp[-k(R - 1)] = 1 - \exp[-0,0365 \cdot (19 - 1)] = 0,49 (49\%).$$

Результаты численного эксперимента показали, что при снижении жесткости каркаса, связанного с повреждением несущих элементов в ответственных местах или появлении дефектов, которое не приводит к внезапному обрушению конструкций, уменьшение собственных частот достигает 50%.

Для определения верхней границы фактического износа при предельном риске аварии $R_{nd} = 83$ (аварийное состояние), фактический износ здания составит:

$$J = 1 - \exp[-k(R-1)] = 1 - \exp[-0,0365 \cdot (83-1)] = 0,95 (95\%).$$

Для определения категории технического состояния здания, нами предложено выразить фактический износ через увеличение периода собственных колебаний и определять по формуле:

$$J = (T_{\phi} - T_p) / T_p \cdot 100\%, \quad (10)$$

где T_{ϕ} – фактический период собственных колебаний здания,

T_p – расчетный период собственных колебаний.

Выводы

1. Адаптирована теория прогнозирования риска аварии для оценки технического состояния несущих систем зданий на основе динамических критериев.
2. Определена зависимость фактического износа здания от периода собственных колебаний, которая использована для определения нижней и верхней границ категории технического состояния здания.
3. Определены границы увеличения периода собственных колебаний несущих систем зданий, позволяющие количественно оценить категорию их технического состояния (0-4% - нормативное техническое, от 5-10% - работоспособное, от 11-49% - ограниченно работоспособное, 50-95% и выше - аварийное).

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект по теме «Оценка технического состояния зданий на основе параметров живучести и риска», номер темы FSWG 2024-0003 (госзадание НИУ МГСУ). Соглашение о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания от 15.10.2024 №075-03-2024-063/9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гроздов В.Т. Дефекты строительных конструкций и их последствия. М.: Электронстандарт-принт. 2005. С.7-127.
2. Доброммыслов А.Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений. М.: МГСУ, 2008. 304с.
3. Лычев А.С. Надежность строительных конструкций. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. 84 с.
4. Землянский А.А. Обследование и испытание зданий и сооружений. М.: АСВ, 2004. 240 с.
5. Нуриева Д.М. Сейсмостойкость многоэтажных каркасных зданий при знакопеременном нелинейном деформировании несущих элементов : дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2004.
6. Тамразян А.Г. Методология анализа и оценки надежности состояния и прогнозирование срока службы железобетонных конструкций // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 1. № 1. С. 5-18.
7. Тамразян А.Г. Мониторинг состояния конструкций для обеспечения устойчивости функционирования и оценки жизненного цикла // В сборнике: Актуальные проблемы строительной отрасли и образования - 2023. Сборник докладов IV Национальной научной конференции. Москва, 2024. С. 38-42.
8. Тамразян А.Г., Попов Д.С. Напряженно-деформированное состояние коррозионно-поврежденных железобетонных элементов при динамическом нагружении // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 2. С.19-26.
9. Тамразян А.Г., Дехтерев Д.С., Карпов А.Е., Ласковенко А.Г. Определение расчетных параметров для оценки надежности платформенных стыков панельных зданий в сборнике: современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия. Под редакцией А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. 2016. С. 413-416.
10. Тамразян А.Г., Филимонова Е.А. Рациональное распределение жесткости плит по высоте здания с учетом работы перекрытия на сдвиг // Вестник МГСУ. 2013. № 11. С. 84-90.

11. Тамразян А.Г., Филимонова Е.А. Метод поиска резерва несущей способности железобетонных плит перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 3. С. 23-25.
12. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения, Правила обследования и мониторинга технического состояния.
13. Ellingwood B.R. et al. Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings // U.S. National Institute of Standards and Technology (NIST). 2007. 216 p.
14. Zhang Q. et al. Reliability analysis of reinforced concrete structure against progressive collapse // *Reliab Eng Syst Saf.* 2022. Vol. 228. P. 108831.
15. Grunwald C. et al. Reliability of collapse simulation – Comparing finite and applied element method at different levels // *Eng Struct.* Elsevier, 2018. Vol. 176, № January. P. 265–278.
16. Шахраманьян М.А., Нигметов Г.М., Гайфуллин З.Г., Бабусенко М.С. Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений // Вестник ФЦ «ВНИИ ГОЧС». 2004. № 2(4). С. 5-15.
17. Лужин О.В. Вероятностные методы расчета сооружений. М.: МИСИ, 1983. 122 с.
18. Абраштитов В.С. Техническая эксплуатация и обследование строительных конструкций. М., 2002. С. 20-54.
19. Правила оценки физического износа жилых зданий ВСН 53-86 (р). Госгражданстрой, издание официальное. 1998.
20. Авиром Л.С. Управление качеством крупнопанельного домостроения. М.: Стройиздат, 1983. 200 с.

REFERENCES

1. Grozdov V.T. Defekty stroitel'nykh konstruksiy i ikh posledstviya [Defects of building structures and their consequences]. Moscow: Elektronstandart-print. 2005. Pp.7-127.
2. Dobromyslov A.N. Diagnostika povrezhdeniy zdaniy i inzhenernykh sooruzheniy [Diagnostics of the building and engineering structures damages]. Moscow: MGSU, 2008. 304 p.
3. Lychev A.C. Nadezhnost' stroitel'nykh konstruksiy [Reliability of building constructions]. Moscow: Publishing ASV, 2008. 84 p.
4. Zemlyanskiy A.A. Obsledovaniye i ispytaniye zdaniy i sooruzheniy [Inspection and Testing of Buildings and Structures]. Moscow Publishing: ASV, 2004. 240 s.
5. Nuriyeva D.M. Seysmostoykost' mnogoetaznykh karkasnykh zdaniy pri znakoperemennom ne-lineynom deformirovaniy nesushchikh elementov [Seismic stability of the multi-storey frame buildings at alternating non-linear deformation of the bearing elements]: dis. ... kand. tekhn. nauk. Kazan', 2004.
6. Tamrazian A.G. Methodology for the Analysis and Assessment of the Reliability of the State and Prediction the Service Life of Reinforced Concrete Structures. *Reinforced concrete structures.* 2023;1(1):5-18. (In Russ.)
7. Tamrazyan A.G. Monitoring sostoyaniya konstruksiy dlya obespecheniya ustoychivosti funktsio-nirovaniya i otsenki zhiznennogo tsikla [Condition monitoring of structures to ensure the stability of function-ning and life cycle assessment]. In collection: Aktual'nyye problemy stroitel'noy otrasli i obrazovaniya - 2023. Proceedings of Conference IV Natsional'noy nauchnoy konferentsii. Moskva, 2024. Pp. 38-42.
8. Tamrazyan A.G., Popov D.S. Napryazhenno-deformirovannoye sostoyaniye korrozionno-povrezhdennykh zhelezobetonnykh elementov pri dinamicheskom nagruzhenii [Stress-strain state of the corrosion-damaged reinforced concrete elements under dynamic loading]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo.* 2019. No. 2. Pp.19-26.
9. Tamrazyan A.G., Dekhterev D.S., Karpov A.Ye., Laskovenko A.G. Opredeleniye raschetnykh para-metrov dlya otsenki nadezhnosti platformennykh stykov panel'nykh zdaniy [Determination of the Design Parameters for Reliability Assessment of Platform Joints of Panel Buildings]. In collection: sovremennyye problemy rascheta zhelezobetonnykh konstruksiy, zdaniy i sooruzheniy na avariynnyye vozdey-stviya. Under ed. A.G. Tamrazyan, D.G. Kopanitsa. 2016. Pp. 413-416.
10. Tamrazyan A.G., Filimonova Ye.A. Ratsional'noye raspredeleniye zhestkosti plit po vysote zdaniya s uchetom raboty perekrytiya na sdvig [Rational distribution of slab stiffness along the height of the building taking into account the slab shear operation]. *Vestnik MGSU.* 2013. No. 11. Pp. 84-90.
11. Tamrazyan A.G., Filimonova Ye.A. Metod poiska rezerva nesushchey sposobnosti zhelezobeton-nykh plit perekrytiy [Search method of the load-bearing capacity reserve of the reinforced concrete floor slabs]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo.* 2011. No. 3. Pp. 23-25.
12. GOST R 53778-2010. Zdaniya i sooruzheniya, Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya [Buildings and structures, Rules for inspection and monitoring of technical condition].
13. Ellingwood B.R. et al. Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings. U.S. National Institute of Standards and Technology (NIST). 2007. 216 p.
14. Zhang Q. et al. Reliability analysis of reinforced concrete structure against progressive collapse. *Reliab Eng Syst Saf.* 2022. Vol. 228. P. 108831.
15. Grunwald C. et al. Reliability of collapse simulation – Comparing finite and applied element method at different levels. *Eng Struct.* Elsevier, 2018. Vol. 176, № January. P. 265–278.

16. Shakhraman'yan M.A., Nigmatov G.M., Gayfullin Z.G., Babusenko M.S. Metodika otsenki i sertifikatsii inzhenernoy bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy [Methodology of evaluation and certification of engineering safety of buildings and structures]. *Vestnik FTS «VNI GOCHS»*. 2004. No. 2(4). Pp. 5-15.
17. Luzhin O.V. Veroyatnostnyye metody rascheta sooruzheniy [Technical operation and inspection of building structures]. Moscow: MISI, 1983. 122 p.
18. Abrashitov B.C. Tekhnicheskaya ekspluatatsiya i obsledovaniye stroitel'nykh konstruksiy. Moscow, 2002. Pp. 20-54.
19. Pravila otsenki fizicheskogo iznosa zhilykh zdaniy [Rules for Assessment of Physical Depreciation of Residential Buildings] VSN 53-86 (r). Gosgrazhdanstroy, official edition. 1998.
20. Avrom L.C. Upravleniye kachestvom krupnopanel'nogo domostroyeniya [Quality management of large-panel house-building]. Moscow: Stroyizdat, 1983. 200 p.

Информация об авторах:

Ашот Георгиевич Тамразян

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Москва, Россия,
Член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций
E-mail: tamrazian@mail.ru

Татьяна Анатольевна Мацевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Москва, Россия,
доктор физико-математических наук, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций,
E-mail: MatseevichTA@mgsu.ru

Сергей Юрьевич Савин

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: savinsyu@mgsu.ru

Information about authors:

Ashot G. Tamrazyan

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia,
Corresponding member of RAACS, Doctor in Tech. Sc., Profesor, Head of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures,
E-mail: tamrazian@mail.ru

Tatyana A. Matseevich

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures
E-mail: MatseevichTA@mgsu.ru

Sergei Yu. Savin

National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia,
Candidate of Tech. Sc., associate professor of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures
E-mail: savinsyu@mgsu.ru