

В.С. ФЕДОРОВ¹, Н.Н. ТРЕКИН², Э.Н. КОДЫШ³, И.А. ТЕРЕХОВ¹

¹ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

³АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия

КРИТЕРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАТЕГОРИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН, РИГЕЛЕЙ, БАЛОК И ФЕРМ

Аннотация. В статье рассмотрен процесс формирования критериев оценки в процессе эксплуатации категории технического состояния железобетонных колонн, ригелей, балок и ферм. Критерии ограниченно-работоспособного и аварийного состояния определялись с помощью расчетов по методу предельных усилий с учетом закладываемых при проектировании запасов несущей способности. В качестве примера рассмотрено по одному характерному расчетному дефекту для каждого типа конструкций. Установление критериев для дефектов, которые не были рассмотрены в расчетах, выполнено путем анализа и исследования характерных дефектов строительных конструкций зданий и сооружений на основании данных проведенных ранее исследований, а также по результатам рассмотрения других нормативно-технических документов. Приведенные в итоговой таблице критерии были предложены к включению во вторую редакцию пересмотра ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

Ключевые слова: дефект, железобетон, колонна, ригель, балка, ферма, категория технического состояния

V.S. FEDOROV¹, N.N. TREKIN², E.N. KODYSH³, I.A. TEREKHOV¹

¹Russian University of Transport, Moscow, Russia

²National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

³JSC TSNIIPromzdaniy, Moscow, Russia

CRITERIA FOR ASSESSING THE CATEGORY OF TECHNICAL CONDITION OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS, CROSSBARS, BEAMS AND TRUSSES

Abstract. The article considers the process of formation of evaluation criteria in the course of operation of the category of technical condition of reinforced concrete columns, crossbars, beams and trusses. Criteria for limited serviceability and emergency conditions were determined using calculations using the method of limiting forces, taking into account the bearing capacity reserves laid down in the design. As an example, one characteristic design defect for each type of structure is considered. The establishment of criteria for defects that were not considered in the calculations was carried out by analyzing and studying the characteristic defects of building structures of buildings and structures based on data from previous studies, as well as based on the results of consideration of other regulatory and technical documents. The criteria given in the final table were proposed for inclusion in the second edition of the revision of GOST 31937–2011 «Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition».

Keywords: defect, reinforced concrete, column, crossbar, beam, truss, technical condition category.

Введение

Сравнение ряда экспериментальных данных, учитывающих работу несущих конструкций в особом предельном состоянии, с теоретическими, полученными численными и аналитическими методами, показали, что в железобетонных конструкциях имеются резервы по прочности до 30 %, а по деформативности до 50 % [1-5].

В процессе эксплуатации зданий и сооружений в конструкциях происходит накопление дефектов в результате внешних воздействий и внутренних процессов деградации материалов, поэтому с целью предупреждения их преждевременного выхода из строя необходимо проводить обследование технического состояния с определением причин возникновения дефектов и с последующей их ликвидацией.

Обследование выполняют в соответствии с указаниями ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», в котором в настоящее время отсутствуют количественные значения критериев технического состояния, по которым можно назначить категорию технического состояния конструкций при визуальном обследовании.

Для установления границы перехода строительных конструкций с дефектами из работоспособного состояния в ограниченно-работоспособное и из ограниченно-работоспособного в аварийное (определение параметра дефекта), с учетом закладываемых при проектировании запасов несущей способности, в [6, 7] предложены следующие параметры для оценки технического состояний конструкций:

- сниженная несущая способность сечения для ограниченно-работоспособного состояния до 90 %; по второй группе предельных состояний до 80 %.
- сниженная несущая способность сечения для аварийного состояния меньше 75 %; по второй группе предельных состояний – меньше 65 %.

Под «параметром дефекта» подразумевается величина, характеризующая размер дефекта, которая может быть выражена численно и определена при визуальном обследовании, а также свидетельствует о размере дефекта. Например: уменьшение сечения (в %); потеря сечения арматуры вследствие коррозии (в %).

Подробное обоснование подобного подхода, а также критерии оценки технического состояния железобетонных плит приведены в статье [6, 7].

В статье [8] было предложено определять критерии ограниченно-работоспособного и аварийного состояния с помощью расчетов по методу предельных усилий.

Модели и методы

Для формирования критериев технического состояния конструкций были выполнены следующие численные исследования:

- для колонн: уменьшение сечения колонны; отклонение от вертикали; уменьшение площади сечения арматуры; уменьшение прочности бетона;
- для ригелей и балок: уменьшение площади сечения рабочей арматуры; уменьшение высоты сечения в сжатой зоне; увеличение прогиба; увеличение ширины раскрытия трещин; снижение прочности бетона;
- для стропильных ферм и решетчатых балок: уменьшение площади сечения рабочей арматуры поясов и решетки; уменьшение высоты сечения поясов и решетки; увеличение ширины раскрытия трещин нижнего пояса; увеличение прогиба; уменьшение прочности бетона верхнего пояса.

Для установления критериев предлагается рассмотреть влияние не менее трех значений того или иного дефекта для определения зависимости, которая позволяет прогнозировать сниженную несущую способность на всем диапазоне возможных значений.

Также имеются дефекты, для которых нельзя выполнить расчетное обоснование. Установление критериев для таких дефектов принято путем анализа и исследования

характерных дефектов строительных конструкций зданий и сооружений на основании обработки базы данных обследований [8], исследований [9-15], а также по результатам рассмотрения следующих нормативно-технических документов:

- СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции» (раздел 6);
- СП 454.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные. Правила оценки аварийного и ограниченно-работоспособного технического состояния» (раздел 5);
- Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений (приложение Б) [16];
- СТО 70238424.27.010.011-2008 Здания и сооружения объектов энергетики. Методика оценки технического состояния (приложение Б) [17];
- Пособие по обследованию строительных конструкций зданий (приложение II) [18];
- Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам (раздел 2) [19].

В качестве примера рассмотрим по одному характерному расчетному дефекту для каждого типа конструкций.

Результаты исследования и их анализ

Уменьшение сечения колонн. Ввиду многообразия расчетных ситуаций рассматривались колонны с наиболее часто применяемыми сечениями 300×300 мм, 400×400 мм и 400×500 мм следующих типов:

- тип А – рабочее армирование 4Ø32А400, класс бетона В15;
- тип Б – рабочее армирование 4Ø20А400, класс бетона В20;
- тип В – рабочее армирование 4Ø12А400, класс бетона В45.

Двустороннее уменьшение сечения колонны моделировалось изменением геометрических характеристик сечения.

Для разработки критериев оценки технического состояния железобетонных колонн были выполнены расчеты с уменьшением сечения колонн на 4, 8, 12 и 15 %.

Согласно рисунку 1 двустороннее уменьшение сечения колонны наиболее опасно для колонн типа В, для колонн типа Б отмечается снижение влияния, а для колонн типа А отмечено слабое влияние.

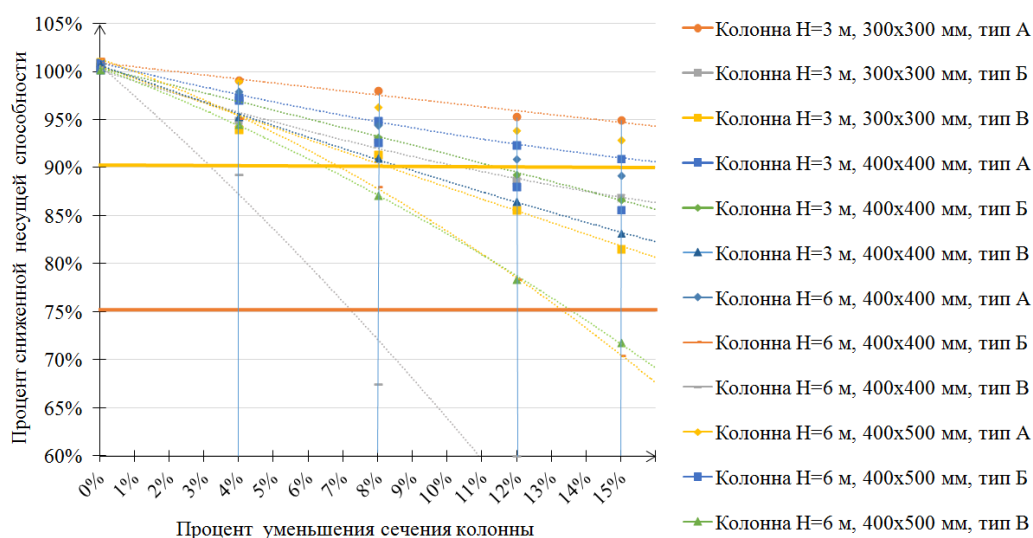


Рисунок 1 – График сниженной несущей способности в процентах в результате двустороннего уменьшения сечения колонны

При двустороннем уменьшении сечения колонны на 8 % среднее значение сниженной несущей способности составляет 90,6 %, что может соответствовать ограниченно-работоспособному состоянию. При двустороннем уменьшении сечения колонны на 15 % среднее значение сниженной несущей способности уменьшается до 81,1 %, но не достигает значения в 75 %.

Однако, учитывая критерии по СТО 70238424.27.010.011 [17], а также то, что часть колонн типа В имеет значения несущей способности ниже 75 %, а также то, что в расчетах не рассматривались колонны выше 6 м, предложено, несколько в запас, принять значение критерия аварийного состояния при уменьшении сечения на 15 %.

Для железобетонных колонн с односторонним уменьшением высоты сечения рекомендованы более жесткие требования: 5% – для ограниченно-работоспособного состояния; 10% – для аварийного состояния.

Уменьшение высоты сечения ригелей и балок. Были рассмотрены типовые ригели для опирания многпустотных и ребристых плит таврового сечения по ГОСТ 18980-2015 «Ригели железобетонные для многоэтажных зданий. Технические условия», а также балка прямоугольного сечения. Уменьшение высоты сечения на 5, 10, 15 и 20 % моделировалось изменением геометрических характеристик сечения, приведенного в таблице 1.

Таблица 1 – Поперечное сечение ригелей и балок

Тип ригеля или балки	Поперечное сечение (размеры в мм)	Тип ригеля или балки	Поперечное сечение (размеры в мм)
РДП 5,56 (бетон В30, арматура А600)		РДР 5,56 (бетон В30, арматура А600)	
РДП 6,76 (бетон В30, арматура А600)		РДР 8,56 (бетон В40, арматура А600)	
Балка прямоугольного сечения, L=2980 мм (бетон В20, арматура А400)			

Согласно рисунку 2 для железобетонных ригелей и балок уменьшение общей высоты сечения в сжатой зоне приводит к значительному снижению несущей способности.

При уменьшении высоты сечения в сжатой зоне на 10% (от общей высоты сечения) среднее значение сниженной несущей способности составляет 88,4 %, а при уменьшении высоты сечения в сжатой зоне на 20% – 75,4 %. Учитывая, что при нарушении монолитности из-за пересекающихся трещин или сколов бетона в сжатой зоне конструкции назначается аварийное состояние, для ригелей и балок были назначены более жесткие значения критериев уменьшения высоты сечения в сжатой зоне: для ограниченно-работоспособного – 5%, для аварийного – 10%. Назначенные критерии соответствуют значениям, приведенным в СТО 70238424.27.010.011 [17].

Снижение прочности бетона верхнего пояса стропильных ферм и решетчатых балок. Были рассмотрены наиболее распространенные типы стропильных ферм [20] с пролетами 18 и 24 м по ГОСТ 20213-2015 «Фермы железобетонные. Технические условия» и решетчатых балок с пролетами 12 и 18 м ГОСТ 20372-2015 «Балки стропильные и подстропильные железобетонные. Технические условия». Уменьшение прочности бетона на 15 и 25 % моделировалось заданием меньшего класса бетона в элементах верхнего пояса, сечения которых приведены в таблице 2.

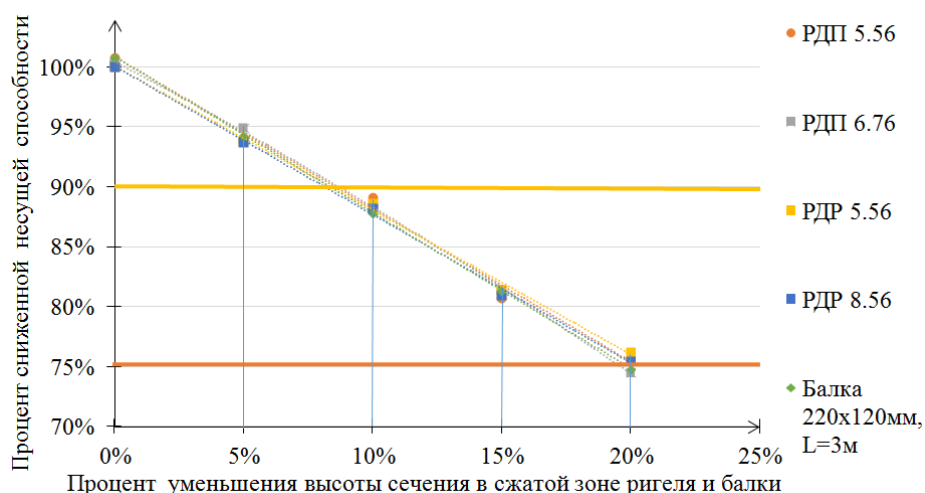


Рисунок 2 – График сниженной несущей способности в процентах в результате уменьшения высоты сечения в сжатой зоне ригелей

Таблица 2 – Поперечное сечение верхнего пояса

Тип фермы или балки	Поперечное сечение (размеры в мм)	Тип фермы или балки	Поперечное сечение (размеры в мм)
ФБС18 (бетон В30, арматура А400)		ФБС24 (бетон В30, арматура А400)	
БРД12 (бетон В40, арматура А400)		БРД18 (бетон В40, арматура А400)	

При уменьшении прочности бетона на 15% среднее значение сниженной несущей способности составляет 89,9 %, что может соответствовать ограниченно-работоспособному состоянию (рисунок 3). При уменьшении прочности бетона на 25% среднее значение процента несущей способности уменьшается до 77,8 %, что может соответствовать аварийному состоянию. Допускать большее значение уменьшения прочности бетона в стропильных конструкциях нецелесообразно.

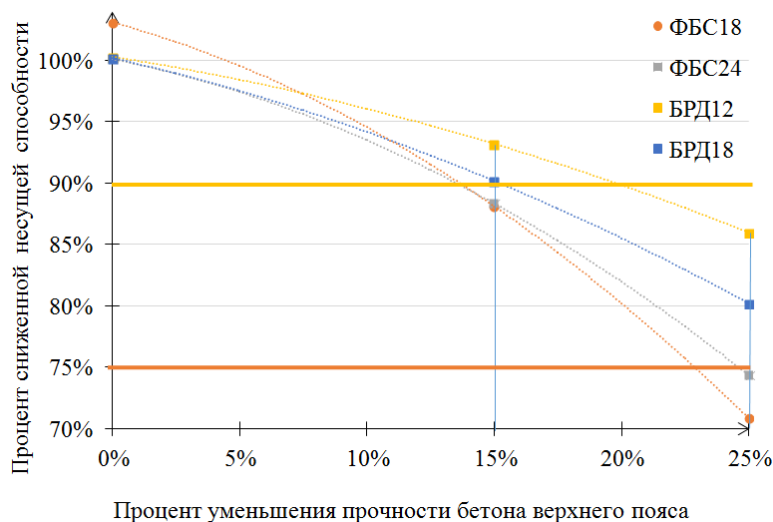


Рисунок 3 – График сниженной несущей способности в процентах в результате уменьшения прочности бетона в верхних поясах ферм и решетчатых балок

Сравнительный анализ результатов снижения несущей способности, полученных экспериментально, с данными, приведенными в нормативных документах [16, 17, 19], позволил предложить критерии для определения категории технического состояния железобетонных стропильных ферм и решетчатых балок (таблица 3).

Таблица 3 – Критерии технического состояния железобетонных стропильных ферм и решетчатых балок

Категория технического состояния	Снижение прочности бетона		
	Критерий по СТО 70238424.27.010.011 [17]	Критерий по методике оценки остаточного ресурса по внешним признакам [16, 19]	Принятый критерий
Ограниченно-работоспособное	15 %	20 %	15 %
Аварийное	20%	30 %	25 %

Принятые критерии оценки технического состояния. С применением данного подхода были получены критерии для оценки технического состояния железобетонных колонн, ригелей, балок и стропильных конструкций с наиболее часто встречающимися дефектами (таблица 4).

Таблица 4 – Критерии для оценки категории технического состояния железобетонных конструкций

№ п/п	Дефект	Критерий оценки технического состояния	Категория технического состояния	
			Ограниченно-работоспособное	Аварийное
1	2	3	4	5
1. Железобетонные колонны				
1.1	Отклонение от вертикали оси колонны	Смещение в плане центра тяжести верхнего сечения от вертикальной оси, проведенной из центра тяжести нижнего сечения колонны приведенное к высоте колонны	1/150 высоты колонны	более 1/100 высоты колонны
1.2	Выгиб (кривизна) колонны	Стрела выгиба колонны приведенное к высоте колонны	1/150 высоты колонны	более 1/100 высоты колонны
1.3	Трещины нормальные к продольной оси элемента в условиях неагрессивной среды	Ширина раскрытия трещин, мм	0,6	1,0
1.4	Трещины наклонные к продольной оси элемента в условиях неагрессивной среды	Ширина раскрытия трещин, мм	0,6	1,0
1.5	Трещины, образовавшиеся вследствие коррозии арматуры*	Визуальные признаки	1) Продольные трещины в бетоне вдоль арматурных стержней от коррозии арматуры на участке элемента. 2) Коррозия арматуры до 12%. 3) Отделение защитного слоя бетона и оголение части поверхности арматуры	1) Коррозия арматуры до 25%. 2) Оголение всего диаметра арматуры стержня в опорной зоне
1.6	Смятие (раздробление) бетона в сжатой зоне*	Визуальные признаки	1) Скол бетона не более толщины защитного слоя бетона. 2) Силовые трещины длиной не более 10 см	1) Скол бетона более толщины защитного слоя бетона. 2) Силовые трещины длиной более 10 см
1.7	Смещение в плане ферм/балок покрытия относительно разбивочных осей на опорных поверхностях колонн	Смещение в плане ферм/балок покрытия относительно разбивочных осей на опорных поверхностях колонн от проектного положения, мм	30	40
1.8	Выпучивание сжатой продольной арматуры с отслоением защитного слоя*	Визуальные признаки	Продольные трещины раскрытием более 0,4мм	1) Отслоение защитного слоя 2) Скол бетона более толщины защитного слоя бетона
1.9	Уменьшение сечения одностороннее	Потеря рабочего сечения, %	5	10
1.10	Уменьшение сечения двустороннее	Потеря рабочего сечения, %	8	15
1.11	Снижение прочности бетона	Снижение прочности бетона, %	15	30
1.12	Уменьшение сечения элементов крепления и (или) сварных швов	Уменьшение сечения элементов крепления и (или) сварных швов, %	10	20

Безопасность зданий и сооружений

№ п/п	Дефект	Критерий оценки технического состояния	Категория технического состояния	
			Ограниченно-работоспособное	Аварийное
1	2	3	4	5
2. Железобетонные ригели и балки				
2.1	Смещение в плане конструкции на опоре	Смещение в плане конструкции покрытия относительно разбивочных осей на опорных поверхностях колонн от проектного положения, мм	30	40
2.2	Прогиб элементов	Прогиб	1/130 длины элемента	1/100
2.3	Трещины, образовавшиеся вследствие коррозии арматуры*	Ширина раскрытия трещин, мм	1) Продольные трещины в бетоне вдоль арматурных стержней от коррозии арматуры на участке элемента. 2) Коррозия арматуры до 12%. 3) Отделение защитного слоя бетона и оголение части поверхности арматуры	1) Коррозия арматуры до 25%. 2) Оголение всего диаметра арматуры стержня в опорной зоне
2.4	Поперечные трещины	Раскрытие трещин, мм	0,6	1,0
2.5	Трещины наклонные к продольной оси	Раскрытие трещин, мм	0,6	1,0
2.6	Трещины от нарушения анкеровки и сдвига арматуры	Ширина раскрытия трещин, мм	0,2	0,4
2.7	Уменьшение высоты сечения	Уменьшение высоты сечения, %	5	10
2.8	Раздробление бетона в сжатой зоне	Визуальные признаки	Образование лещадок на боковых гранях	Нарушение монолитности из-за пересекающихся трещин, сколов
2.9	Уменьшение сечения элементов крепления и (или) сварных швов	Уменьшение сечения элементов крепления и (или) сварных швов, %	10%	20%
2.10	Снижение прочности бетона	Снижение прочности бетона, %	15%	30%
3. Железобетонные стропильные фермы и решетчатые балки				
3.1	Прогиб ферм/балок покрытия	Прогиб	1/160 длины элемента	1/110
3.2	Уменьшение сечения элементов крепления и (или) сварных швов	Уменьшение сечения элементов крепления и (или) сварных швов, %	10	20
3.3	Трещины в балках и элементах ферм (поясах, раскосах), образовавшихся вследствие коррозии арматуры*	Ширина раскрытия трещин, мм	1) Продольные трещины в бетоне вдоль арматурных стержней от коррозии арматуры на участке элемента. 2) Коррозия арматуры до 12%. 3) Отделение защитного слоя бетона и оголение части поверхности арматуры	1) Коррозия арматуры до 25%. 2) Оголение всего диаметра арматуры стержня в опорной зоне
3.4	Поперечные трещины в балках и в элементах ферм (поясах, раскосах)	Ширина раскрытия трещин, мм	0,6	1,0

Строительство и реконструкция

№ п/п	Дефект	Критерий оценки технического состояния	Категория технического состояния	
			Ограниченно-работоспособное	Аварийное
1	2	3	4	5
3.5	Уменьшение сечения одностороннее	Уменьшение сечения, %	5	8
3.6	Уменьшение сечения двустороннее	Уменьшение сечения, %	8	10
3.7	Смятие (раздробление) бетона в сжатой зоне	Визуальные признаки	Образование лещадок на боковых гранях	Нарушение, монолитности, пересекающиеся трещины, сколы
3.8	Погнутость (выпучивание) сжатой продольной арматуры с отслоением от ядра сечения элемента*	Визуальные признаки	Продольные трещины раскрытием более 0,4мм	1) Отслоение защитного слоя на длине более 10 см. 2) сколы бетона на глубину более защитного слоя бетона
3.9	Потеря прочности бетона фермы/балки, %	Снижение прочности бетона, %	15	25
Примечание – для дефектов, отмеченных (*), оценка производится по одному наихудшему параметру.				

Выводы

1. Были определены критерии ограниченно-работоспособного и аварийного состояния с помощью расчетов по методу предельных усилий. В качестве основного показателя была принята сниженная несущая способность в процентах. Результаты проведенных расчетов и назначенные критерии согласуются с критериями, приведенными в нормативных документах.

2. Установление критериев для дефектов, которые не были рассмотрены в расчетах, принято путем анализа и исследования характерных дефектов строительных конструкций зданий и сооружений на основании проведенных ранее обследований, а также по результатам рассмотрения других нормативно-технических документов.

3. Приведенные в таблице 4 критерии были предложены к включению во вторую редакцию пересмотра ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Федоров В.С., Терехов И.А. Железобетонные конструкции. В 2 ч. Ч. 1 Расчет конструкций: учебник для вузов. 2-е издание, дополненное и переработанное. М.: Издательство АСВ, 2022. 388 с.
2. Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н. Особое предельное состояние железобетонных конструкций и его нормирование // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 5. С. 4–9.
3. Trekin N.N., Kodysh E.N., Shmakov S.D., Terekhov I.A., Kudyakov K.L. Determination of the criteria of deformation in a special limiting state // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. Vol. 1. Pp. 108-116. URL: <https://ijccse.iasv.ru/index.php/ijccse/issue/view/51/62>. (eng)
4. Фаликман В.Р., Степанова В.Ф. Нормативные сроки службы бетонных и железобетонных конструкций и принципы их проектирования по параметрам долговечности // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 6. С. 13-22.
5. Чирков В.П. Прикладные методы теории надежности в расчетах строительных конструкций. М.: Маршрут, 2006. 620 с.
6. Ефремов А.М. Учет совместного влияния дефектов на несущую способность конструкций / А.М. Ефремов, Д.В. Бойко, Е.Ю. Сергеевцев, Н.Н. Трекин, Э.Н. Кодыш, И.А. Терехов, С.Д. Шмаков // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 8. С. 11–18.
7. Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Терехов И.А., Шмаков С.Д., Щедрин О.С. Методика определения эксплуатационной безопасности зданий и их конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2022. № 4. С. 152-159.

8. Терехов И.А. Критерии оценки технического состояния железобетонных плит при коррозии арматуры // Строительство и реконструкция. 2022. № 6 (104). С. 128-139.
9. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 1. С. 93-102.
10. Тамразян А.Г. Вероятностный метод расчета долговечности железобетонных конструкций, подверженных воздействию хлоридов // В сборнике трудов конференции «Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2021». М.: НИУ МГСУ. С. 100-106.
11. Frolov, N.V., Smolyago, G.A. Reinforced concrete beams strength under power and environmental influences. Magazine of Civil Engineering. 2021. 103(3). Article No. 10303. (eng)
12. Jun Kang Chow, Kuan-fu Liu, Pin Siang Tan, Zhaoyu Su, Jimmy Wu, Zhaofeng Li, Yu-Hsing Wang Automated defect inspection of concrete structures. Automation in Construction. 2021. Vol. 132. Article No. 103959. (eng)
13. Sina Mansourdehghan, Kiarash M. Dolatshahi, Amir Hossein Asjodi Data-driven damage assessment of reinforced concrete shear walls using visual features of damage. Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 53. Article No. 104509. (eng)
14. Tsvetkov R., Shardakov I., Shestakov A., Gusev G., Epin V. Deformation monitoring of load-bearing reinforced concrete beams. Procedia Structural Integrity. 2017. Vol. 5. Pp. 620-626. (eng)
15. Ye H., Fu C., Jin N., Jin X. Performance of reinforced concrete beams corroded under sustained service loads: A comparative study of two accelerated corrosion techniques. Construction and Building Materials. 2018. No. 162. Pp. 286–297. (eng)
16. Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений [Электронный ресурс]. ФАУ «ФЦС», 2018. 50 с. Режим доступа: https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp34_2018.pdf.
17. СТО 70238424.27.010.011–2008 Здания и сооружения объектов энергетики. Методика оценки технического состояния — М.: НП «ИНВЭЛ», 2008. 182 с.
18. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. М.: АО «ЦНИИПрозданий», 1997. 179 с.
19. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. М.: ФГУП ЦПП, 2001. 100 с.
20. Федоров В.С., Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Терехов И.А. Железобетонный каркас одноэтажного производственного здания: учебное пособие. М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. 213 с.

REFERENCES

1. Kodysh E.N., Trekin N.N., Fedorov V.S., Terekhov I.A. Zhelezobetonnye konstrukcii. V 2 ch. Ch. 1 Raschet konstrukcij: uchebnik dlja vuzov. [Reinforced concrete structures. In 2 parts. Part 1 Calculation of structures: a textbook for universities]. 2nd edition, enlarged and revised. — Moscow: Izdatel'stvo ASV, 2022. 388 p. (rus)
2. Trekin N.N., Kodysh E.N. Osoboe predel'noe sostojanie zhelezobetonnyh konstrukcij i ego normirovanie [Special limit condition of reinforced concrete structures and its normalization] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2020. No. 5. Pp. 4–9. (rus)
3. Trekin N.N., Kodysh E.N., Shmakov S.D., Terekhov I.A., Kudyakov K.L. Determination of the criteria of deformation in a special limiting state // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. Vol 1. Pp. 108-116. URL: <https://ijccse.iasv.ru/index.php/ijccse/issue/view/51/62>
4. Falikman V.R., Stepanova V.F. Normativnye sroki sluzhby betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij i principy ih proektirovanija po parametram dolgovechnosti [Normative service life of concrete and reinforced concrete structures and principles of their design based on durability parameters] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2019. No. 6. Pp. 13-22. (rus)
5. Chirkov V.P. Prikladnye metody teorii nadezhnosti v raschetah stroitel'nyh konstrukcij [Applied Methods of the Theory of Reliability in the Calculations of Building Structures]. Moscow: Marshrut, 2006. 620 p. (rus)
6. Efremov A.M., Boyko D.V., Sergeevtsev E.Yu., Trekin N.N., Kodysh E.N., Terekhov I.A., Shmakov S.D. Uchet sovmestnogo vlijaniya defektov na nesushhuju sposobnost' konstrukcij [Taking into account the joint effect of defects on the bearing capacity of structures]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2022. No. 8. Pp. 11–18. (rus)
7. Trekin N.N., Kodysh E.N., Terekhov I.A., Shmakov S.D., Shchedrin O.S. Metodika opredelenija jekspluatacionnoj bezopasnosti zdaniy i ih konstrukcij [Methodology for Determining the Operational Safety of Buildings and Their Structures] // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. 2022. No. 4. Pp. 152-159. (rus)
8. Terekhov I.A. Kriterii ocenki tehničeskogo sostojaniya zhelezobetonnyh plit pri korrozii armatury [Criteria for assessing the technical condition of reinforced concrete slabs during reinforcement corrosion] // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. 2022. No 6. Pp. 128-139. (rus)

9. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskiy V.N., Erofeev V.T. O sovremennykh metodakh obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruktsiy [The modern methods of ensuring of reinforced concrete structures durability] *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. No. 1. 2015. Pp. 93-102. (rus)
10. Tamrazyan A.G. Veroyatnostnyy metod rascheta dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruktsiy, podverzhennykh vozdeystviyu hloridov [Probabilistic method for calculating the durability of reinforced concrete structures exposed to chlorides] V sbornike trudov konferentsii «Aktual'nye problemy stroitel'noy otrasli i obrazovaniya [In the proceedings of the conference "Actual problems of the construction industry and education – 2021]. Moscow: NRU MGSU. Pp. 100-106. (rus)
11. Frolov N.V., Smolyago G.A. Reinforced concrete beams strength under power and environmental influences. *Magazine of Civil Engineering*. 2021. 103(3). Article No. 10303.
12. Jun Kang Chow, Kuan-fu Liu, Pin Siang Tan, Zhaoyu Su, Jimmy Wu, Zhaofeng Li, Yu-Hsing Wang Automated defect inspection of concrete structures. *Automation in Construction*. 2021. Vol. 132. Article No. 103959.
13. Sina Mansourdehghan, Kiarash M. Dolatshahi, Amir Hossein Asjodi Data-driven damage assessment of reinforced concrete shear walls using visual features of damage. *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 53. Article No. 104509.
14. Tsvetkov R., Shardakov I., Shestakov A., Gusev G., Epin V. Deformation monitoring of load-bearing reinforced concrete beams. *Procedia Structural Integrity*. 2017. Vol. 5. Pp. 620-626.
15. Ye H., Fu C., Jin N., Jin X. Performance of reinforced concrete beams corroded under sustained service loads: A comparative study of two accelerated corrosion techniques. *Construction and Building Materials*. 2018. No. 162. Pp. 286–297.
16. Metodika ocenki ostatochnogo resursa nesushhih konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy [Methodology for assessing the residual resource of the supporting structures of buildings and structures] [Online]. FAU "FTsS", 2018. 50 p. URL: https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp34_2018.pdf (rus)
17. STO 70238424.27.010.011–2008 Buildings and structures of energy facilities. Method for assessing the technical condition - М.: NP "INVEL", 2008. 182 p.
18. Manual for the inspection of building structures of buildings - М.: JSC "TsNIIProzhdaniy", 1997. 179 p.
19. Recommendations for assessing the reliability of building structures of buildings and structures by external signs. М.: FSUE TsPP, 2001. 100 p.
20. Fedorov V.S., Kodysh Je.N., Trekin N.N., Terehov I.A. Zhelezobetonnyy karkas odnojetazhnogo proizvodstvennogo zdaniya: uchebnoe posobie Reinforced concrete frame of a one-story industrial building: textbook. М.: FGBU DPO "Educational and methodological center for education in railway transport", 2021. 213 p.

Информация об авторах:

Федоров Виктор Сергеевич

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор, академик РААСН, заведующий кафедрой Строительных конструкций, зданий и сооружений.

E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Трекин Николай Николаевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, почетный член РААСН, профессор кафедры Железобетонные и каменные конструкции.

E-mail: nik-trekin@yandex.ru

Кодыш Эмиль Наумович

АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, почетный член РААСН, главный научный сотрудник.

E-mail: otks@yandex.ru

Терехов Иван Александрович

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры Строительных конструкций, зданий и сооружений.

E-mail: terekhov-i@mail.ru

Information about authors:

Fedorov Viktor S.

Russian University of Transport, Moscow, Russia,

doctor of technical sciences, professor, academician of the RAACS, head of the department of building constructsures, buildings and structures.

E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Trekin Nikolay N.

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

doctor of technical sciences, honorary member of the RAACS, professor of the department of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: nik-trekin@yandex.ru

Kodysh Emil N.

JSC TsNIIPromzdaniy, Moscow, Russia,

doctor of technical sciences, honorary member of the RAACS, chief researcher.

E-mail: otks@yandex.ru

Terekhov Ivan A.

Russian University of Transport, Moscow, Russia,

candidate of technical science, associated professor of the department of building constructsures, buildings and structures.

E-mail: terekhov-i@mail.ru