

УДК 624.21.012

# О БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОСТОВ С ПЛИТНЫМИ ПРОЛЕТНЫМИ СТРОЕНИЯМИ

**Ю.В. Краснощекоев**  
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия  
uv1942@mail.ru

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Приведены результаты анализа нормирования надежности конструктивных систем плитных пролетных строений мостовых сооружений.

**Материалы и методы.** Выполнен анализ опубликованных материалов с целью использования их при проектировании железобетонных мостов в связи с изменениями норм проектирования и ужесточением нормативных требований по безопасности.

**Результаты.** Результаты обследований плитных пролетных строений свидетельствуют о надежности и долговечности типовых конструкций, эксплуатируемых в обычных условиях, однако в аварийных ситуациях существует опасность прогрессирующего обрушения. В таких условиях разрезные схемы многопролетных строений недопустимы. Сформулированы задачи исследований, которые необходимо решать для обеспечения живучести плитных пролетных строений. В частности, поставлена задача разработки метода расчета на живучесть при отказе одной из опор неразрезного пролетного строения с учетом динамического эффекта, сопровождающего обрушение.

**Обсуждение и заключение.** Изменения в нормах проектирования конструкций плитных пролетных строений мостовых сооружений вызывают необходимость исследований надежности и живучести в аварийных расчетных ситуациях.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** железобетонные мосты, плитные пролетные строения, прогрессирующее обрушение, живучесть, надежность.

© Ю.В. Краснощекоев



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# SAFETY OF REINFORCED CONCRETE BRIDGES WITH SPANS STRUCTURES

**Y.V. Krasnoshchekov**

Siberian State Automobile and Highway University,  
Omsk, Russia  
uv1942@mail.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** The author presents the results of the reliability analysis of the structural systems in spans of bridges.

**Materials and methods.** The analysis of published materials for the purpose of using them in the design of reinforced concrete bridges, in connection with changes in design standards and tightening of regulatory requirements for safety is made by the author.

**Results.** The results of surveys of slab superstructures indicate the reliability and durability of typical structures operated under normal conditions, but in emergency situations there is a danger of progressive collapse. Therefore, in such conditions, split schemes of multi-span structures are unacceptable. The research tasks to ensure the durability of slab superstructures are formulated. In particular, the task of developing the method of durability calculation in case of one of the pillars failure in the continuous span structure, taking into account the dynamic effect is illustrated.

**Discussion and conclusion.** Changes in design of slab structures of bridge cause the necessity to study the reliability and failure in emergency situations.

**KEYWORDS:** reinforced concrete bridges, slab superstructures, progressive collapse, durability, reliability.

© Y.V. Krasnoshchekov



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

1. За истекшее время в нормировании конструкций произошли существенные изменения, связанные в основном с повышением безопасности сооружений. Изменения ориентируют проектировщиков на применение новых строительных материалов и технологий и требуют тщательного анализа конструкций железобетонных мостов, возводимых в настоящее время.

2. В результате анализа конструктивных решений серии 3.503.1-108 «Пролетные строения из пустотных плит пролетом от 12 до 18 м для мостов и путепроводов на автомобильных дорогах», разработанной институтом «Союздорпроект» в 1992–1999 гг., установлена их достаточная надежность при условии расчета по предельным состояниям. В связи с введением ограничений по срокам службы и необходимости учета редких аварийных воздействий требуются исследования по уточнению расчетных значений температурных, ветровых, сейсмических нагрузок.

3. Для обеспечения живучести мостов с плитными пролетными строениями при проектировании возможны две модели живучести: детерминированная и вероятностная. Применение вероятностных моделей требует нормирования индексов надежности и живучести (установления предельных значений для различных ситуаций).

**ВВЕДЕНИЕ**

За последние 30 лет в стране возводили мосты из железобетона, проекты которых были разработаны на основе СНиП 2.05.03-84\* «Мосты и трубы». В этих нормах проектирования предусмотрено требование по обеспечению надежности, долговечности сооружений, а также безопасности транспортных средств и пешеходов. Надежность несущих конструкций мостов, согласно ГОСТ 27751, обеспечивалась расчетом по методу предельных состояний. Коэффициенты надежности метода предельных состояний за этот период практически не изменялись, хотя был выполнен значительный объем исследований надежности [1–6].

За истекшее время в нормировании конструкций произошли существенные изменения, связанные в основном с повышением безопасности сооружений. В частности, в ГОСТ 27751 включено требование по исключению прогрессирующего обрушения конструкций ответственных сооружений. Основанием для появления такого требования явилась гармо-

низация отечественных норм проектирования с европейскими нормами (EN 1990). В раздел расчета несущих конструкций и оснований актуализированной редакции СНиП 2.05.03-84\* (СП 35.13330.2011) также введено требование к конструктивным схемам мостовых сооружений, которые не должны допускать возможности прогрессирующего обрушения при выходе из строя одного или нескольких элементов в случае экстремальных природных или техногенных воздействий.

В декабре 2016 г. был издан приказ Минстроя России № 879 об утверждении Изменения №1 к СП 35.13330.2011, в котором ряд положений норм проектирования железобетонных мостов получили развитие и стали обязательными для выполнения. В частности, уточнено требование о необходимости удовлетворения проектной долговечности мостов, в связи с чем рекомендованы минимальные сроки службы от 50 до 100 лет железобетонных конструкций до первого ремонта. С временным фактором связан расчетный параметр модуля деформативности бетона при продолжительном действии нагрузки, который рекомендуется определять по формуле

$$E_{bt} = E_b / (1 + C_n E_b), \quad (1)$$

где  $C_n$  – нормативное значение деформации ползучести бетона.

Снижение значения модуля деформативности бетона в несколько раз по сравнению с начальным модулем упругости  $E_b$  может оказать влияние на степень перераспределения нагрузок в пространственных расчетах железобетонных конструкций.

Впервые в нормы введен термин «живучесть» как обеспеченность от прогрессирующего разрушения и приведены рекомендации по проверке на живучесть мостов. В частности, при проверке мостового сооружения на живучесть должны быть рассмотрены случаи появления пластического шарнира в сечениях одного из пролетов, обрушение опоры и др.

Изменения №1 ориентируют проектировщиков на применение новых строительных материалов и технологий и требуют тщательного анализа конструкций железобетонных мостов, возводимых в настоящее время. В первую очередь это касается типовых решений, для изменения которых необходимы предварительные исследования и соответствующие согласования. В качестве примера в статье выполнен анализ типовых конструкций пролетных строений из пустотных плит длиной  $L$

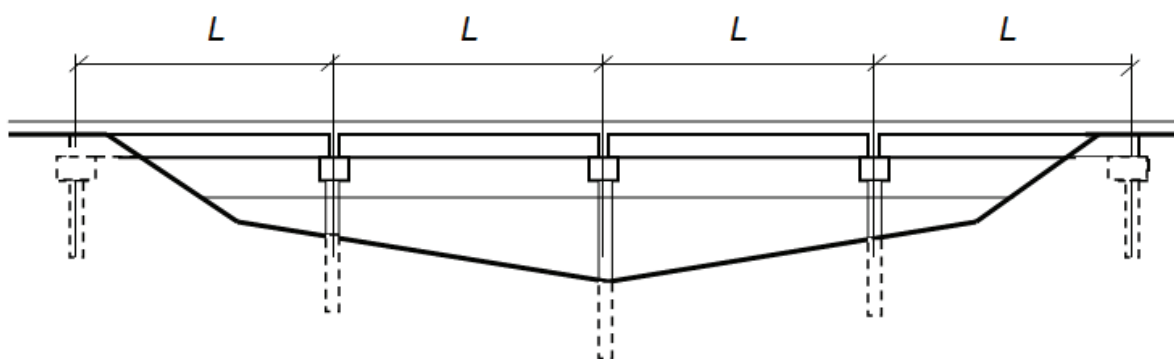


Рисунок 1 – Схема моста с пролетными строениями из пустотных плит

Figure 1 – Bridge scheme with span structures of hollow plates

Источник: составлено автором на основе анализа конструкций мостов с балочными пролетными строениями

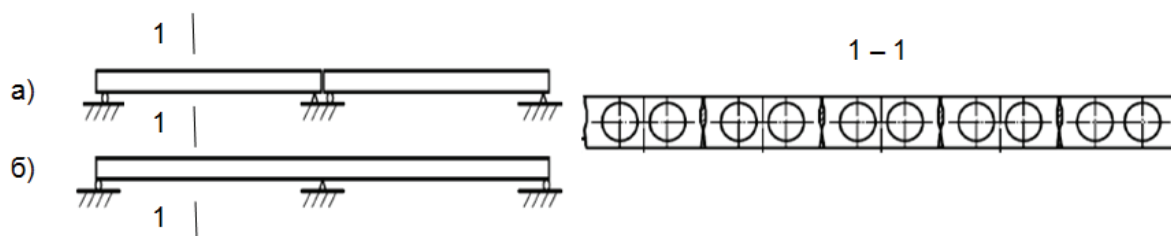


Рисунок 2 – Расчетные схемы (разрезная – а, неразрезная – б) и фрагмент сечения пролетного строения из пустотных плит

Figure 2 – Design schemes (split-a, non-cut-b) and a section fragment of the superstructure of hollow plates

Источник: составлено автором на основе анализа конструкций плитных пролетных строений

= 6, 9, 12, 15 и 18 м для мостов и путепроводов на автомобильных дорогах (рисунок 1).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Наиболее совершенными следует считать конструктивные решения, которые получили отражение в серии 3.503.1-108 «Пролетные строения из пустотных плит пролетом от 12 до 18 м для мостов и путепроводов на автомобильных дорогах», разработанной институтом «Союздорпроект» в 1992–1999 гг. Серия включает рабочие чертежи пустотных плит длиной 12, 15 и 18 м для мостов, расположенных на автомобильных дорогах общего пользования и разработанных в соответствии со СНиП 2.05.03-84 (с изменениями до 1992 г). Предусмотрены варианты пустотных плит в зависимости от климатических условий (температуры наружного воздуха наиболее холодной

пятидневки) и сейсмичности районов строительства, для эксплуатации в которых они предназначены. Совместная работа сборных железобетонных плит обеспечивается шпуночным соединением из монолитного бетона класса В35.

Конструкции пролетных строений приняты на основании расчетов, выполненных в два этапа. Примеры расчетных схем пролетных строений показаны на рисунке 2.

На первом этапе проведены квазистатические (с коэффициентами динамичности) пространственные расчеты пролетных строений по методу Б.Е. Улицкого с учетом перераспределения нагрузок, соответствующих типовым транспортным воздействиям [7]. Ввиду шпуночного соединения плит, не способного работать на изгиб, принято условие, что в поперечном направлении передача временной нагрузки между плитами осуществляется

только посредством перерезывающих сил. Случайный характер нагрузок и соответствующих усилий в элементах пролетных строений, определенных пространственным расчетом, учитывался коэффициентами надежности по нагрузкам. На втором этапе производился конструктивный расчет по двум группам предельных состояний. Случайный характер свойств материалов и условности расчетных моделей учитывали коэффициентами надежности по материалу и условий работы.

Необходимая жесткость и трещиностойкость типовых плит обеспечивается предварительным напряжением стержневой и канатной арматуры. Канатная арматура (канаты К-7) применена при пролетах более 12 м. Усредненные размеры сечений пустотных плит показаны на рисунке 3. В серии 3.503.1-108 высота плит длиной до 18 м  $h = 630$  мм, длиной 18 м  $h = 780$  мм, высота овальных пустот до 455 мм, ширина 325 мм.

Следует отметить, что надежность и долговечность пролетных строений из пустотных плит подтверждена примерами их многолетней эксплуатации в СССР и за рубежом (Великобритания, Италия, Венгрия, Чехословакия). В СССР строительство балочных мостов с разрезными пролетными строениями такого типа

началось с 1958 г. в основном на Украине [8]. Надежность конструкций проверялась детальными исследованиями, в процессе которых была определена оптимальная конфигурация шпоночных швов. Конструкция шпоночного шва типовых изделий серии 3.503.1-108 изображена на рисунке 4. Швы армируются проволочными спиралями.

В работе [8] описаны результаты испытания пролетных строений мостов с пролетами по 6 м (семь плит в каждом пролете) и 12 м (по семь, девять плит) статической нагрузкой из двух и четырех груженых автомобилей массой по 25 т. В процессе испытания измеряли прогибы и деформации бетона на нижних гранях плит в середине пролета и раскрытие швов понизу. Наибольшие усилия в элементах мостов от испытательной нагрузки, определенные пространственным расчетом, не превышали расчетных усилий по образованию трещин. Измеренные прогибы наиболее загруженных плит оказались в 1,5 раза меньше теоретических. При испытании отмечена горизонтальная раздвижка плит на опорах на 0,45 мм и вертикальные деформации швов на 0,1 – 0,3 мм. Анализ деформаций бетона показал, что условие трещиностойкости (отсутствие трещин) при испытании в целом соблюдалось.

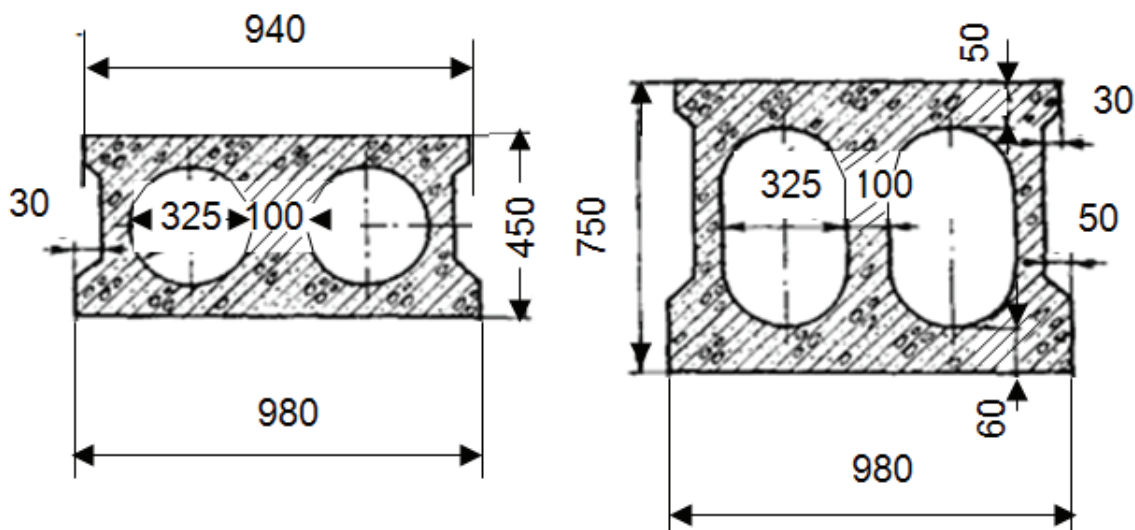
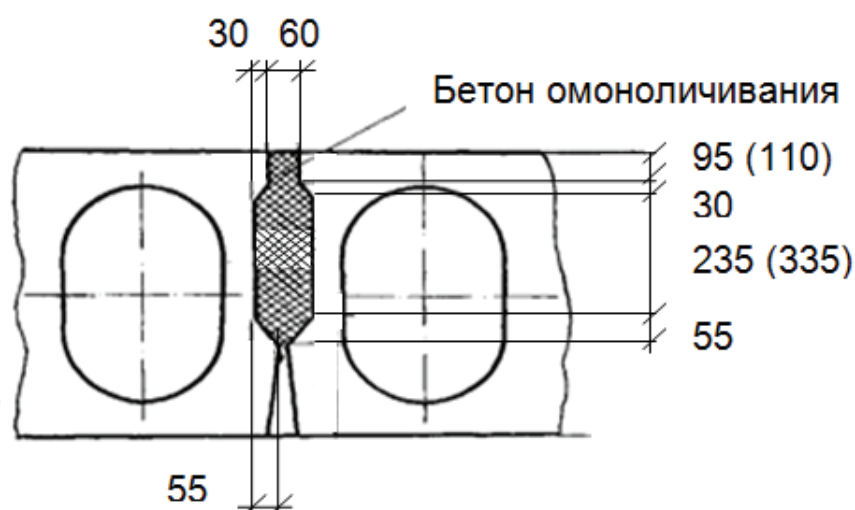


Рисунок 3 – Сечения пустотных плит пролетного строения

Figure 3 – Cross sections of hollow plates

Источник: составлено автором на основе анализа типовых плит пролетных строений



Рисуноу 4 – Конструкция шпоночного шва

Figure 4 – Design of the keyed seam

Источник: составлено автором на основе анализа типовых решений плитных пролетных строений

В результате испытаний не обнаружено различий в работе армированных и неармированных швов.

При обследовании мостов с плитными пролетными строениями видимых трещин в бетоне плит не выявлено. Отдельные повреждения являются следствием некачественного изготовления (обычно заниженные защитные слои бетона) или монтажа (наличие влаги в пустотах) и несоблюдением правил эксплуатации сооружений, связанных в основном с нарушениями ограничений транспортной нагрузки. По результатам испытаний отмечена нецелесообразность применения резиновых опорных частей для плит пролетом 15 и 18 м из-за опасности расстройств межплитных швов [8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В связи с введением ограничений по срокам службы и необходимости учета редких аварийных воздействий необходимы соответствующие исследования по уточнению расчетных значений температурных, ветровых, сейсмических нагрузок.

Значительные расхождения результатов расчета и испытаний вызывают сомнения в совершенстве метода пространственного расчета, который принят при проектировании

плитных пролетных строений. До сих пор метод Б.Е. Улицкого не вызывал особых возражений, так как результаты расчета обеспечивали достаточный запас надежности. Однако для оценки реальных резервов и эффективности конструктивных решений необходим более точный теоретический аппарат. Основным недостатком метода Б.Е. Улицкого – сложность учета изменения жесткости плитных элементов при проявлении ползучести бетона и в результате появления и развития трещин. На необходимость учета влияния ползучести бетона при длительном действии нагрузки указано в Изменениях №1 к СП 35.13330.2011. Непонятно только, как обеспечить выполнение этого требования при совместном действии на всех плитах пролетного строения постоянных нагрузок и кратковременным нагружением транспортом отдельных элементов. Что касается влияния на перераспределение усилий неравномерного развития неупругих деформаций материалов и трещин, особенно в стадии перед разрушением и критических ситуациях при аварийных воздействиях, то эта проблема вообще мало изучена.

В работе [9] отмечены многочисленные исследования, посвященные развитию пространственных методов расчета пролетных строений, в том числе с использованием конечных элементов. Кроме метода Б.Е. Улицко-



Рисунок 5 – Этапы обрушения автодорожного моста в г. Чите

Figure 5 – Stages of the bridge collapse in Chita

Источник: фрагменты видеоклипов из сети Интернет

го отмечены работы М.Е. Гибшмана, И.А. Трифонова, Г.Н. Азизова и др., в которых также имеются определенные недостатки.

Основное условие проектирования конструкций – это обеспечение безопасности. В последнее время с целью разработки правил проектирования зданий и сооружений широко обсуждается проблема живучести, т.е. надежности при катастрофических нагрузках. По определению проф. В.Д. Райзера, живучесть – это свойство конструкций сохранять при аварийных воздействиях способность к выполнению основных функций, не допуская лавинообразного (каскадного) развития возмущений и отказов [10]. Это определение соответствует требованиям, приведенным в Изменениях №1 к СП 35.13330.2011.

Причинами прогрессирующего (лавинообразного) разрушения объектов строительства являются локальные разрушения конструктивных элементов при воздействии аварийных и чрезвычайных ситуаций, к которым относятся взрывные, ударные и сейсмические динамические воздействия. Чтобы минимизировать возможность прогрессирующего разрушения, сооружение следует проектировать таким образом, чтобы в случае отказа любого отдельного элемента весь объект или его наиболее ответственная часть сохраняла работоспособность в течение периода времени, достаточно для принятия срочных мер (например эвакуации людей и транспорта). Безотказность этих элементов должна обеспечивать строительный объект от полного разрушения при аварийных воздействиях, даже если его дальнейшее использование по назначению окажется невозможным без капитального ремонта [11]. Актуальность проблемы обусловлена тем, что

существующая практика конструирования не учитывает возможность прогрессирующего разрушения [12]. Идея проектирования конструкций с учетом катастрофических воздействий сформулирована относительно недавно [13, 14].

Очевидно, что обеспечить живучесть многопролетного строения при разрушении одной из опор при разрезных схемах невозможно. Для выполнения требования живучести конструкции пролетного строения каждая пара пролетов должна быть способна к работе по схеме гибкой нити или по неразрезной схеме (см. рисунок 1, б). Существуют разные способы объединения отдельных пролетов в неразрезную систему, однако требуется анализ этих способов применительно к условиям аварийного отказа опор. Подобная задача решалась при проектировании каркасных зданий, когда в качестве аварийного воздействия рассматривается отказ одной из колонн. Основное внимание в этом случае уделяют расчету элементов перекрытий, пролеты которых значительно увеличиваются. Поэтому расчетная схема перекрытия над удаленной колонной рассматривается в виде мембраны или гибкой нити (струны). При этом отмечена необходимость учета динамического эффекта, вызываемого внезапным удалением из расчетной схемы опоры [15].

Обеспечение живучести ответственных сооружений несомненно приводит к увеличению единовременных затрат на строительство. Эти затраты должны быть компенсированы гарантированной безопасностью их эксплуатации в условиях аварийной опасности. Практическая значимость требования живучести подтверждается конкретными примерами. На

рисунке 5 показаны кадры видеозаписи обрушения двух пролетов общей длиной 24 м автодорожного моста в результате подмыва одной из опор паводковыми водами в июле 2018 г.

Если живучесть моста была бы достаточной, то повреждения имели бы ограниченный характер (см. рисунок 5, а) и без человеческих жертв, более соответствующими работе пролетных строений в аварийной ситуации по схеме гибкой нити.

Различают две модели живучести: детерминированную и вероятностную.

Детерминированная (полувероятностная) модель, реализованная в методе предельных состояний, предполагает анализ напряженно-деформированного состояния конструктивной системы с оценкой прочности и устойчивости при разрушении одного или нескольких несущих элементов (моделирование возможной ситуации разрушения). Подобную модель предлагал для третьей группы предельных состояний (по живучести) В.Д. Райзер [16].

Критериями вероятностных моделей являются показатели надежности (безотказности). Таким показателем может быть, например, индекс надежности метода двух моментов, который определяется по формуле

$$\beta = (\bar{R} - \bar{F}) / \sqrt{s_R^2 + s_F^2}, \quad (2)$$

где  $\bar{R}$  и  $\bar{F}$  – математические ожидания несущей способности и нагрузки;  $s_R^2$  и  $s_F^2$  – дисперсии несущей способности и нагрузки.

В.Д. Райзер предлагает для оценки живучести использовать индекс живучести в виде

$$I = \frac{\beta_{INT}}{\beta_{INT} - \beta_D}, \quad (3)$$

где  $\beta_{INT}$ ,  $\beta_D$  – индексы надежности неповрежденной и поврежденной конструкции.

Применение вероятностных моделей требует нормирования индексов надежности и живучести (установления предельных значений для различных ситуаций). Модель В.Д. Райзера, на наш взгляд, удачно характеризует отличие понятий надежности и живучести.

В общем случае расчет на живучесть сводится к расчету устойчивости сооружения против прогрессирующего разрушения с учетом пластических деформаций при предельных нагрузках. В работе [17] предлагается выполнять расчет на живучесть в 2 этапа. На первом этапе производится расчет в эксплуатационной стадии, предшествующей локальному

разрушению. Расчет с выключенными элементами выполняется на втором этапе с учетом физической и геометрической нелинейности на действие нагрузки от усилия, определенного на первом этапе с увеличением на коэффициент, учитывающий динамический эффект локального разрушения. По мнению авторов, такой расчет является компьютерным моделированием процесса приспособления конструкции к новой расчетной ситуации.

В работе [18] показано, что в каркасных зданиях с безбалочными железобетонными перекрытиями при превышении определенных размеров сетки колонн определяющим является расчет против прогрессирующего разрушения с учетом пластических деформаций при предельных нагрузках. При этом принимаются во внимание только особые сочетания нагрузок, включающие постоянные и длительные временные нагрузки с коэффициентами сочетания и надежности равными единице, а также наиболее опасные схемы локального разрушения. Величины перемещений (прогибов) и ширина раскрытия трещин в конструкциях не регламентируются, а устойчивость должна быть обеспечена при минимальной жесткости конструктивных элементов и узловых соединений, соответствующих максимально допустимым деформациям бетона и арматуры. Критерии несущей способности в этом случае те же, что и в обычных расчетах по предельным состояниям.

В настоящее время надежность сооружений обеспечивают расчетом по методу предельных состояний. В последней редакции стандарта (ГОСТ 27751) кроме первой и второй групп предельных состояний предусмотрены предельные состояния, возникающие при особых воздействиях и ситуациях, превышение которых приводит к разрушению сооружений с катастрофическими последствиями.

Особые воздействия подразделяют на нормируемые (например сейсмические) и аварийные, возникающие при отказе работы несущего элемента конструктивной системы. В работе [19] отмечается, что большая часть аварийных ситуаций, приведших к обрушению мостов, связана с грубыми ошибками, допущенными при их возведении, или с ударами в процессе эксплуатации. Особые воздействия включаются в особые сочетания нагрузок, в которых допускается не учитывать кратковременные нагрузки. Считается, что особые нагрузки и воздействия создают аварийные ситуации. Поэтому при расчете на особые воздействия



должна быть рассмотрена аварийная расчетная ситуация, соответствующая исключительным условиям работы сооружения, которые могут привести к существенным социальным, экологическим и экономическим потерям.

В настоящее время намечается постепенный переход к вероятностным методам расчета. Об этом свидетельствуют принципы нормирования воздействий и свойств материалов, принятые в европейских нормах проектирования конструкций различных сооружений (EN 1990). Эффективность вероятностных методов проявляется в основном при проектировании сооружений на заданную надежность [20].

### **ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Изменения в нормах проектирования конструкций плитных пролетных строений мостовых сооружений вызывают необходимость исследований надежности и живучести мостов в аварийных расчетных ситуациях.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Underwater bridge inspection. Publication No FHWA-NH1-10-027. Prepared by Collins Engineers, Inc. 123 North Wacker Drive, Suite 300 Chicago, Illinois 60606. 2010. 224 p.
2. Савчинский Б.В. Некоторые аспекты надежности железобетонных пролетных строений автодорожных мостов // Мосты и тоннели : теория, исследования, практика, 2012. С. 163-166.
3. Медведев К.В., Яцко Ф.В. Прочность, надежность и долговечность железобетонных элементов автодорожных мостов // Мосты и тоннели: теория, исследования, практика, 2013. Вып. 4. С. 52-59.
4. Шестовицкий Д.А. Прогнозирование срока службы железобетонных мостов // Мосты и тоннели: теория, исследования, практика, 2013. Вып. 4. С. 120-129.
5. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Шеин А.А., Грацинский В.Г., Вдовин К.М. Особенности подводного обследования транспортных сооружений. 2. Характерные повреждения опор мостовых сооружений // Интернет-журнал «Науковедение». 2013. Вып. 6.
6. Николенко М.А., Миасов А.Г., Савинова Е.И. Новые методы проектирования железобетонных пролетных строений // Инженерный вестник Дона. 2017. № 2(45).
7. Улицкий Б.Е. Пространственные расчеты мостов (с использованием ЭЦВМ). М.: Транспорт, 1967. 406 с.
8. Штильман Е.И., Березецкий В.И. Пролетные строения мостов из пустотных плит. М.: Транспорт, 1972. 81 с.
9. Кожушко В.П. О развитии пространственных методов расчета пролетных строений автодорожных мостов // Наука та прогрес транспорту. 2008. №21. С. 128-129.
10. Райзер В.Д. К проблеме живучести зданий и сооружений // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. №5. С. 77-78.
11. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. М.: Издательство АСВ, 2007. – 256 с.
12. Starossek U., Wolff M. Design of collapse-resistant structures [Конструирование структур, устойчивых к обрушению]. JCSS and IABSE workshop on Robustness of structures, building research establishment, Garston, Watford, UK. 2005.
13. Abrams D.P. Consequence-based engineering approaches for reducing loss in mid-America. Conference on Apr 4, 2002 at Notre-Dame University. 2002.
14. Ключева Н.В., Бухтиярова А.С., Колчунов С.И. Исследование живучести железобетонных рамно-стержневых пространственных конструкций в запредельных состояниях // Промышленное и гражданское строительство. 2012. №2. С. 55-59.
15. Краснощеков Ю.В. Расчет каркасного здания на прогрессирующее обрушение при аварийном отказе колонны // Строительная механика и расчет сооружений. 2017. № 1. С. 54-58.
16. Райзер В.Д. Теория надежности сооружений. М.: Издательство АСВ, 2010. 384 с.
17. Назаров Ю.П., Городецкий А.С., Симбиркин В.Н. К проблеме обеспечения живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. №4. С. 5-9.
18. Тихонов И.Н., Козелков М.М. Расчет и конструирование железобетонных монолитных перекрытий зданий с учетом защиты от прогрессирующего обрушения // Бетон и железобетон. 2009. №3. С. 2-8.
19. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 1: Воздействия на сооружения. Стандарты EN 1991-1-1 и 1-3-1-7; пер. с англ. / Х. Гульванесян, П. Формичи, Ж.-А. Калгаро при участии Дж. Хординга. М.: МГСУ, 2011. 340 с.
20. Краснощеков Ю.В., Заполева М.Ю. Основы проектирования конструкций зданий и сооружений. М.: Инфра-Инженерия, 2018. 296 с.

Поступила 25.07.2018, принята к публикации 21.12.2018.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

## REFERENCES

1. Underwater bridge inspection. Publication No FHWA-NH1-10-027. Prepared by Collins Engineers, Inc. 123 North Wacker Drive, Suite 300 Chicago, Illinois 60606. 2010. 224 p.

2. Savchinskiy B.V. Nekotorye aspekty nadezhnosti zhelezobetonnykh proletrykh stroeniy avtodorozhnykh mostov [Some aspects of reliability of reinforced concrete span structures of road bridges]. *Mosty i tonneli: teoriya, issledovaniya, praktika*, 2012, Pp. 163-166. (in Russian)

3. Medvedev K.V., Yatsko F.V. Prochnost', nadezhnost' i dolgovechnost' zhelezobetonnykh elementov avtodorozhnykh mostov [Strength, reliability and durability of reinforced concrete elements of road bridges]. *Mosty i tonneli: teoriya, issledovaniya, praktika*, 2013, no. 4, Pp. 52-59. (in Russian)

4. Shestovitskiy D.A. Prognosirovanie sroka sluzhby zhelezobetonnykh mostov [Forecasting of the service life of reinforced concrete bridges]. *Mosty i tonneli: teoriya, issledovaniya, praktika*, 2013, no. 4, Pp. 120-129. (in Russian)

5. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Shein A.A., Gratsinskiy V.G., Vdovin K.M. Osobennosti podvodnogo obsledovaniya transportnykh sooruzheniy. 2. Charakternyye povrezhdeniya opor mostovykh sooruzheniy [Features of underwater inspection of transport facilities. 2. The characteristic damage to the supports of bridge structures]. *Internet-zhurnal «Naukovedenie»*, 2013, no. 6. (in Russian)

6. Nikolenko M.A., Minasov A.G., Savinova E.I. Novye metody proektirovaniya zhelezobetonnykh proletrykh stroeniy [New methods of the reinforced concrete superstructures design]. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2017, no 2(45). (in Russian)

7. Ulitskiy B.E. *Prostranstvennyye raschety mostov (s ispol'zovaniem EZVM)* [Spatial calculations of bridges (using an electronic digital computer)]. Moscow. Transport, 1967. 406 p. (in Russian)

8. Shtil'man E.I., Berezetskiy V.I. *Proletnyye stroeniya mostov iz pustotnykh plit* [Span structures of bridges from hollow slabs]. Moscow. Transport, 1972. 81 p. (in Russian)

9. Kozhushko V.P. O razvitiy prostranstvennykh metodov rascheta proletrykh stroeniy avtodorozhnykh mostov [On the development of spatial methods for calculating the span structures of road vehicles]. *Nauka ta progres transport*, 2008, no. 21, Pp. 128-129. (in Russian)

10. Raizer V.D. K problem zhivuchesti zdaniy i sooruzheniy [To the problem of the survivability of buildings and structures]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2012, no 5, Pp. 77-78. (in Russian)

11. Perel'muter A.V. *Izbrannyye problem nadezhnosti i bezopasnosti stroitel'nykh konstruktsiy* [Selected problems of reliability and safety of building structures]. Moscow. Publisher ASV, 2007. 256 p. (in Russian)

12. Starossek U., Wolff M. Design of collapse-resistant structures [Design of structures resistant to destruction]. JCSS and IABSE workshop on Robustness of structures, building research establishment, Garston, Watford, UK. 2005.

13. Abrams D.P. Engineering approaches based on the investigation to reduce losses, in Central America]. Conference on Apr 4, 2002 at Notre-Dame University. 2002.

14. Klyueva N.V., Bukhtiyarova A.S., Kolchunov S.I. Issledovanie zhivuchesti zhelezobetonnykh ramno-sterzhnevyykh prostranstvennykh konstruktsiy v zapredel'nykh sostoyaniyakh [Investigation of the survivability of reinforced concrete frame-rod spatial structures in out-of-bound states]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2012, no 2, Pp. 55-59. (in Russian)

15. Krasnoshchekov Yu.V. Raschet karkasnogo zdaniya na progressiruyushchee obrushenie pri avariynom otkaze kolonny [Calculation of the frame building for a progressive collapse in the event of an emergency failure of the column]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2017, no 1, Pp. 54-58. (in Russian)

16. Raizer V.D. *Teoriya nadezhnosti sooruzheniy* [Theory of the structures reliability]. Moscow. Publisher ASV. 2010. 384 p. (in Russian)

17. Nazarov Yu.P., Gorodetskiy A.S., Simbirkin V.N. K problem obespecheniya zhivuchesti stroitel'nykh konstruktsiy pri avariynykh vozdeystviyakh [To the problem of ensuring the survivability of building structures under emergency influences]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2009, no 4, pp. 5-9. (in Russian)

18. Tikhonov I.N., Kozelkov M.M. Raschet i konstruirovaniye zhelezobetonnykh monolitnykh perekrytiy zdaniy s uchetom zashchity ot progressiruyushchego obrusheniya [Calculation and construction of reinforced concrete monolithic ceilings, taking into account protection against progressive collapse]. *Beton i zhelezobeton*, 2009, no 3, Pp. 2-8.

19. Guidance for designers to Eurocode 1: Impacts on structures. Standards EN 1991-1-1 and 1-3-1-7; trans. with English. / H. Gulvanesyan, P. Formici, J.-A. Kalgaro with the participation of J.Hording. Moscow: MGSU, 2011. - 340 p.

20. Krasnoshchekov Yu.V., Zapoleva M.Yu. *Osnovy proektirovaniya konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy* [Fundamentals of building structures design]. Moscow. Infra-Inzheneriya, 2018. 296 c. (in Russian)

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

*Краснощеков Юрий Васильевич – д-р техн. наук, доц., кафедра «Строительные конструкции», «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», ORCID 0000-0002-6695-1648 (644080), г. Омск, пр. Мира, д. 5, e-mail: uv1942@mail.ru).*

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

*Krasnoshchekov Y.V. – Doctor of Technical Science, Associate Professor of the Building Construction Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), ORCID 0000-0002-6695-1648 (644080), 5, Mira Ave., e-mail: uv1942@mail.ru).*