

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИИ

В статье приведены основные положения разработанного технического регламента «Оценка конструкционного риска аварии строительного объекта». Материалы статьи основаны на результатах анализа аварий, теоретических изысканий, экспертных обследований.

Цель работы – привлечь внимание научной и строительной общественности к проблеме конструкционной безопасности зданий и сооружений в связи преобразованиями нормативной базы после принятия Федеральных законов №184-ФЗ «О техническом регулировании» и №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Для технического регулирования предложено использовать комплексные показатели качества объекта в виде конструкционной безопасности и остаточного ресурса безаварийной эксплуатации. На их основе создана принципиально новая технология технического регулирования безопасности. Технология гарантирует приемлемые риски аварии объекта на всех этапах инвестиционно-строительного проекта.

Анализом уроков аварий установлено, что если уровень конструкционной безопасности строительного объекта признан низким, то в случае аварии степень его обрушения будет высокой, а ущерб катастрофическим. Если же объектный риск аварии находится в области приемлемых значений, то объект защищен от аварии, то есть безопасен. Вопрос состоит только в том, каков временной ресурс его безопасности.

Размер остаточного ресурса (срока безаварийной эксплуатации) объекта зависит от величины риска аварии, который накопился при его строительстве. При этом риск аварии объекта зависит и от количества ошибок, допущенных при его проектировании и возведении.

В статье обращено внимание на важный факт: излишний запас прочности конструкций объекта не компенсирует человеческие ошибки. Кроме того в нормах проектирования отсутствуют коэффициенты надежности, учитывающие человеческий фактор. В связи с этим предлагается предусмотреть независимый контроль риска аварии, ввести страхование объекта на случай аварии, а также организовать обучение экспертов-контролеров риска.

Технология контроля включает в себя оценку риска аварии, заложенного в проект (проектного риска), а также риска, обусловленного дефектами возведения. Приведены девять аспектов проектирования, которые подвергаются оценке, и правила назначения показателей надежности смонтированных конструкций и основания.

Ключевые слова: конструкционная безопасность; риск аварии; здания и сооружения; техническое регулирование; ресурс.

Baiburin A. Kh., Melchakov A. P.

TECHNICAL REGULATION OF SECURITY OF BUILDINGS AND FACILITIES ON THE BASIS OF RISK ASSESSMENT OF ACCIDENT

The main provisions of the technical regulation «Risk assessment of structural accident of building object» were described in the article. The article submissions are based on the accident analysis, theoretical research, expert surveys.

The purpose of work is to attract the attention of the scientific community to the construction and structural safety problem of buildings due to regulatory framework reforms following the adoption of the Federal law №184-FL “On technical regulation” and №384-FL “Technical Regulations on safety of buildings and structures.”

It was proposed to use integrated indicators of an object’s quality in the form of structural safety and the residual resource of safe operation for the technical regulations. On this basis, fundamentally new technical regulation of safety technology was created. The technology ensures acceptable object’s risks of crash at all stages of the investment and construction of the project.

Crashes lessons analysis found that if the level of structural safety of building object found low, then in case of an accident the extent of its collapsing will be high and the damage will be catastrophic. If the object is the risk of an accident in the area of acceptable values, then the object is protected from an accident. The question is only in what time resource to its security.

The size of the residual resource (the period of safe operation) of the object depends on the magnitude of the accident risk that has accumulated during its construction. The risk of accident of the object depends on the number of errors made in its design and construction.

The article drew attention to an important fact: excess margin of safety of object’s constructions does not compensate for human error. In addition there are no safety factors that take into account the human factor in the design norms. In this connection, the independent control of accident risk, the insurance objects in case of accident were proposed in the article. As well as the organization of training expert inspectors of risk were recommended to do.

Control technology includes an assessment of the accident’s risk, as part of the project (design risk), and the risk due to the construction defects. The results of nine design aspects that were evaluated and the rules of appointment of indicators of reliability of mounted structures and grounds were described in the article.

Keywords: *structural safety, risk of crash, buildings and constructions, technical regulations, resource.*

Введение. Понятие «риск аварии» в сфере строительства появилось с принятием ФЗ-184 «О техническом регулировании». В чем заключается техническое регулирование безопасности, казалось бы, понятно. Например, для безопасности автомобиля регулируют такие базовые свойства, как тормозной путь, давление в шинах, прочность ремней безопасности, время срабатывания подушек и т.д. Комплексным свойством безопасности являются результаты краш-теста автомобиля с манекенами.

Какие же базовые свойства нужно контролировать для строительных конструкций, чтобы обеспечить их безопасность? При проектировании, возведении и эксплуатации зданий мы должны обеспечить надежность всех конструкций [1]. В строительстве под надежностью понимается способность конструкций противостоять разрушению (прочность); сохранять форму (жесткость); возвращаться в первоначальное положение при снятии внешних воздействий (устойчивость). Проводят и натурные испытания на сейсмостойкость, огнестойкость, взрывоустойчивость и пр. (своеобразные краш-тесты конструкций, зданий и сооружений).

Для целей технического регулирования удобнее использовать комплексные свойства объекта. Такими комплексными показателями качества являются конструкционная безопасность и остаточный ресурс безаварийной эксплуатации [2, 3]. Именно они гарантируют безопасность и качество строительного объекта. На их основе и необходимо создать технологию технического регулирования безопасности, гарантирующую приемлемые риски аварии объекта на всех этапах инвестиционно-строительного проекта [4]. Речь идет о принципиально новой технологии контроля упомянутых свойств. Хотя еще в 1986 году академик В.А. Легасов в докладе на внеочередной, «чернобыльской» сессии МАГАТЭ изложил концепцию регулирования безопасности путем контроля риска.

Для разработки концепции контроля конструкционной безопасности желательно использовать уроки случившихся строительных аварий [5]. По большому счету, таких уроков два.

Урок первый. Если уровень конструкционной безопасности строительного объекта признан низким, то в случае аварии степень его обрушения будет высокой, а ущерб катастрофическим. Чтобы этого не произошло надо провести сертификационные испытания (исследования) для подтверждения соответствия объекта требованиям конструкционной безопасности. Результаты испытаний, а также величина фактического риска аварии объекта, вместе с безопасным ресурсом, в обязательном порядке были включены в «Паспорт объекта». Если эксперт установил, что

уровень конструкционной безопасности объекта недостаточный, саморегулируемые организации или государство обязаны решить финансовую проблему мероприятий по снижению риска аварии объекта.

Урок второй. Около 80% случаев подтверждают типовой сценарий строительной аварии [2, 5] – это пересечение (во времени и в пространстве) как минимум двух негативных событий. Одно из них состоит в проявлении внешнего события, провоцирующего аварию объекта (обычно это событие природного или техногенного характера: стихийное бедствие, пожар, взрыв и пр.). Другое – в том, что из-за допущенных при строительстве ошибок риск аварии объекта перешел в область неприемлемых значений. Но если объект находится в области приемлемых значений риска, он защищен от аварии, то есть безопасен. Вопрос состоит только в том, каков временной ресурс его безопасности.

Безопасный ресурс. Размер остаточного ресурса (срока безаварийной эксплуатации) объекта зависит от величины риска аварии, который накопился при его строительстве. Зависит он и от того, сколько времени потрачено на строительство объекта, имели ли место приостановки и консервации. Очевидно, что риск аварии объекта зависит и от количества ошибок, допущенных при его возведении. При этом важно понимать, что излишний запас прочности конструкций объекта не компенсирует человеческие ошибки. Если проектировщик не предусмотрел связь жесткости, то шарнирно закрепленные конструкции превратятся в подвижный механизм и потеряют устойчивость, каким бы большим запасом прочности они не обладали.

Если риск аварии объекта вышел из области допустимых значений, то его безопасный ресурс равен нулю, и нужно приступать к его капремонту. Организованный по законодательству РФ капремонт, к сожалению, не гарантирует в полной мере снижения риска аварии объекта, так как не все несущие конструкции попадают в перечень работ по капремонту. По сути, критериями качества капремонта должны стать риск аварии и связанный с ним безопасный ресурс.

Что делать? Необходимо снижать показатель аварийности в строительстве. Например, предусмотреть независимый контроль риска аварии, или ввести страхование объекта на случай аварии. Нужно чтобы в строительных вузах появились кафедры страхования, где студенты будут изучать право и теорию риска, и, самое главное, научатся применять эти знания на практике.

Посильную помощь в организации контроля призваны оказать изданные в ЮУрГУ учебные пособия и свод правил (регламент), в которых приведен метод расчета риска аварии объекта,

обоснован стандарт на его величину. Нужно организовать обучение экспертов-контролеров риска. Начинать нужно с изучения терминологии.

Применяемая терминология.

Безопасность конструкционная – свойство качества зданий и сооружений, характеризующее их защищенность от аварийного обрушения. Обобщенно безопасность – это отсутствие недопустимого риска.

Риск аварии – число, показывающее во сколько раз фактическая вероятность аварии объекта выше теоретической вероятности аварии, обусловленной нормами проектирования строительных объектов.

Авария – полная потеря работоспособности строительного объекта по причине разрушения и/или потери устойчивости его конструкций.

Критический риск аварии – риск аварии, при котором эксплуатируемое здание (сооружение) начинает переход в аварийное состояние.

Безопасный ресурс объекта – время эксплуатации здания (сооружения) до достижения им критического значения риска аварии.

Мониторинг конструкционной безопасности – процедура, включающая в себя оценку и прогноз риска аварии здания (сооружения).

Сертификат соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям конструкционной безопасности.

Контроль проектного риска аварии. Независимый эксперт, осуществляющий контроль риска, должен быть аттестован специализированной организацией. Технология контроля включает в себя оценку риска аварии, заложенного в проект (проектного риска). Для этого следует воспользоваться специальной математической моделью и проанализировать основные этапы проекта. Таких этапов девять: организация проектирования; исходные данные для проектирования; нагрузки и воздействия на объект; расчет конструкций несущего каркаса объекта;

проектирование фундамента; проектирование несущего каркаса; проектирование связевых конструкций; выбор материалов; решение узловых соединений.

Примерный перечень опасностей, выявленный после консультаций с разными специалистами проектных организаций, приведен в табл. 1.

Мониторинг конструкционной безопасности строящихся объектов.

Мониторинг при новом строительстве осуществляется поэтапно с выдачей результата для построенных «промежуточных» зданий объекта. Для вертикально ориентированных зданий и сооружений «промежуточным» зданием является возведенная часть *m*-этажного объекта, содержащая нулевой цикл (0-этаж) и 1, 2, ..., *m* его этажей. Для горизонтально ориентированных сооружений за «промежуточные» здания принимаются пролеты объекта или их части между осадочными (температурными) швами.

На подготовительной стадии мониторинга по стандарту на риск аварии объекта формируется нормативная база конструкционной безопасности его «промежуточных» зданий. Она представляется в виде карты максимально-допустимых значений риска аварии для «промежуточных» зданий. Методика формирования нормативной базы приведена в выпущенных пособиях и монографиях [6].

Порядок проведения мониторинга «промежуточного» здания определяет «дерево» его несущего каркаса в виде иерархической последовательности групп однотипных конструкций. «Дерево» содержит сведения о группах, и может быть использовано в качестве формата для показателей надежности наиболее и наименее дефектных конструкций в группах.

Мониторинг «промежуточного» здания включает в себя диагностику физического состояния возведенных групп однотипных конструкций. По ее результатам составляется ведомость. В нее от каждой группы включаются две конструкции:

Таблица 1

Примерный перечень опасностей ошибок проекта

Номер и описание опасностей
Отсутствие лицензии на проектирование уникальных объектов.
Характеристики грунтов основания не соответствуют действительному состоянию основания. При проведении инженерно-геологических изысканий не выявлены и не учтены зависимости деформирования грунта под нагрузкой, нет оценки гидрогеологической ситуации на участке.
Нет обоснования распределения снеговой нагрузки на покрытие. Не учтена пульсационная составляющая ветровой нагрузки. Не выполнен расчет на температурные воздействия.
Расчетная схема несущего каркаса объекта не соответствует его действительной работе под нагрузкой. При вводе исходных данных допущены ошибки в размерностях, величине нагрузок, жесткостях. Не выполнен динамический расчет здания. В расчетах не учтена физическая и геометрическая нелинейность. Не рассмотрена потеря местной устойчивости в элементах несущего каркаса. Не исследована стойкость несущего каркаса здания прогрессирующему обрушению.

Размеры фундамента и положение масс на плане объекта не обеспечивает равномерности осадок. При расчете фундаментной плиты не учтена ползучесть бетона. Влияние на осадки фундамента разноэтажных частей здания не учтено, осадки рассчитаны неверно. Гидрологическая обстановка на участке неблагоприятная, решения по водорегулированию в проекте нет. В проекте не указаны параметры уплотнения насыпного грунта.
Пространственная устойчивость несущего каркаса не обеспечена. Конструкции, обеспечивающие его устойчивость, запроектированы с дефектами.
Связевые конструкции не обеспечивают жесткость каркаса. Кинематический анализ расчетной схемы не выполнен. Несущий каркас представляет систему близкую к мгновенно-изменяемым системам (механизмам).
Расход материалов на покрытие превышает статистический уровень. Не обоснован выбор конструкционного материала для несущих конструкций, его долговечность.
Узлы элементов каркаса сконструированы так, что при эксплуатации объекта их визуальное обследование невозможно.

одна из них – наиболее дефектная в группе, другая – наименее дефектная, с подробным описанием по внешним признакам их физического состояния. Это нужно для статистического моделирования вероятности дефектов в данной группе.

Ранг соответствия конструкции требованиям проекта и ее надежность назначаются ведущим экспертом после тщательного анализа приведенной в ведомости информации о физическом состоянии конструкции (табл. 2). В особых случаях принятое решение о ранге соответствия конструкции следует подтвердить расчетами и/или испытаниями

Для расчета фактически достигнутого риска аварии «промежуточного» здания в каждой группе конструкций определяется средний уровень надежности однотипных конструкций несущего каркаса «промежуточного» здания. Полученная величина риска аварии сравнивается с требуемым по условию конструкционной безопасности «промежуточного» здания значением риска. Если риск в «зеленой зоне» приемлемых значений, можно приступать к возведению следующего этажа или захватки.

Для завершеного строительством объекта методом статистических испытаний разыгрываются случайные значения надежности, установленные экспертом для каждой группы конструкций, включая основание, и строится карта надежности групп несущих конструкций и гистограмма, по которой вычисляется значение фактического риска аварии (рис. 1).

Неотъемлемой частью мониторинга «промежуточного» здания является регулирование величины риска в случае, если доказано, что фактический риск аварии превысил максимально-допустимое значение. Главным принципом регулирования риска аварии является расследование причин недостаточной конструкционной безопасности исследуемого «промежуточного» здания объекта и построение на основе этого расследования оптимальной тактики и стратегии ре-

Таблица 2

Правило назначения показателя надежности конструкций

Степень соответствия конструкции требованиям проекта (в форме экспертного высказывания)	Ранг соответствия	Надежность конструкции
Соответствие требованиям проекта <i>практически полное</i>	1.1	0,994
	1.2	0,987
	1.3	0,981
Отклонения от требований проекта <i>незначительные</i>	2.1	0,969
	2.2	0,939
	2.3	0,910
Отклонения от требований проекта <i>значительные</i>	3.1	0,882
	3.2	0,828
	3.3	0,777
Соответствие требованиям проекта <i>низкое</i>	4.1	0,730
	4.2	0,686
	4.3	0,644
Соответствия требованиям проекта <i>практически нет</i>	5.1	0,604
	5.2	0,568
	5.3	0,533
Соответствие <i>предельно-низкое</i>	6.0	0,500
Конструкция содержит <i>опасный дефект</i>	7.1	0,470
	7.2	0,441
	7.3	0,414
Конструкция содержит <i>несколько опасных дефектов</i>	8.1	0,389
	8.2	0,365
	8.3	0,343
Конструкция содержит <i>угрожающие аварией дефекты</i>	9.1	0,322
	9.2	0,303
	9.3	0,284

монтно-восстановительных работ по снижению риска аварии.

Безопасный ресурс построенного объекта.

Ресурс – это время (в годах) эксплуатации объекта до достижения им риска аварии величиной

32. При величине риска более 32 безопасный ресурс объекта исчерпан. Объект начинает переход в аварийное состояние (рис. 2).

Конструкционная безопасность объекта – та же надёжность, при определении которой в обязательном порядке учитываются человеческие ошибки. Надёжность может быть выражена через степень бездефектности проекта и СМР. По существу, дефект – это обобщенное и обезличенное понятие грубой ошибки. Дефекты, снижающие прочность и устойчивость несущих конструкций здания трактуются по ГОСТ 15467 как критические дефекты. Доминирующие факторы опасно-

сти – это дефекты, связанные с организационными и техническими упущениями, отступлениями от заданных технологий изготовления и монтажа несущих конструкций.

Безаварийный ресурс объекта может быть увеличен. Аксиомой для повышения ресурса строительного объекта является утверждение: **ликвидация критических дефектов снижает величину риска аварии зданий и сооружений. При этом срок их службы (ресурс) возрастает.** Следовательно, основной способ снижения риска аварии – ликвидация критических дефектов в реально существующих конструкциях. Если

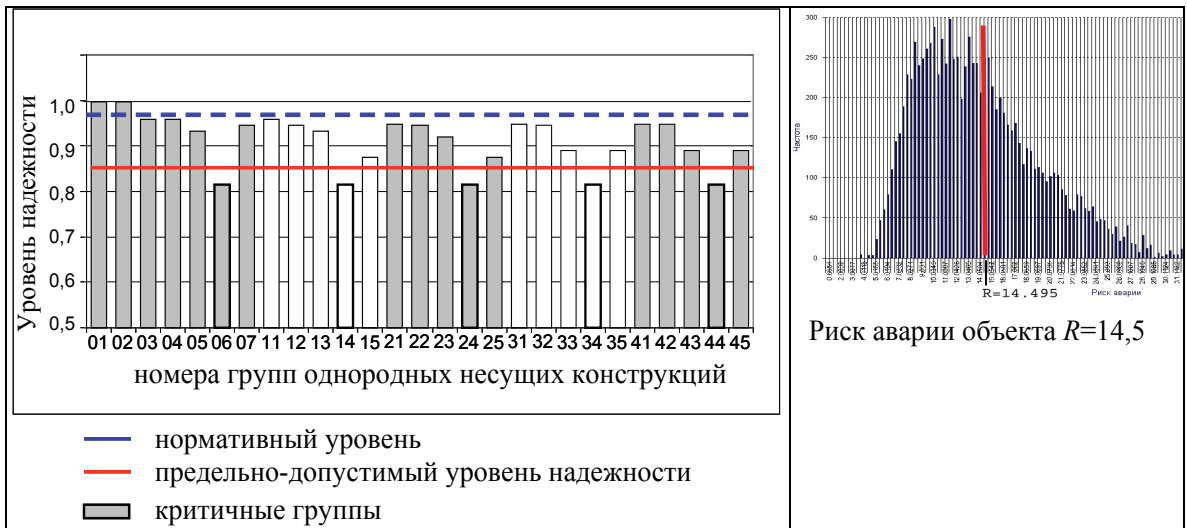


Рис. 1. Карта надежности групп конструкций и гистограмма риска аварии объекта

ликвидировать дефекты в конструкции не удается по техническим причинам или по экономическим соображениям, то необходимо применить дублер-конструкцию или усиление. В этом случае речь уже идет не о снижении риска аварии, а об его поглощении дублер-конструкцией или элементами усиления. При этом любое техническое решение по снижению или поглощению

риска аварии конкретного объекта должно в обязательном порядке пройти две стадии: расчетную и проектную. После чего решение должно быть подтверждено независимой экспертизой. Для оснований существуют свои способы снижения риска аварии. Например, инъекционное упрочнение грунтов, подведение вдавливаемых свай и др.

При снижении риска важно, чтобы кривая роста риска не покидала область приемлемых рисков (см. рис. 2). Пока кривая в этой области (коридоре), у строящегося объекта требуемый уровень конструкционной безопасности гарантировано обеспечен. В ее обеспечении особое место занимает диаграмма деградации объекта (рис. 3). Она играет роль «дорожной карты», поскольку указывает путь, по которому должен пройти объект от проектирования до ликвидации.

По окончании строительства и до достижения объектом первого порогового значения риска аварии ($R=15$), трещины в конструкциях несущего каркаса, как правило, отсутствуют. Объект на этом участке следует относить к категории новых зданий (сооружений). На участке, где риск изменяется от 15-ти до 32-х, трещины в его конструкциях возможны, но только, если они волосные и

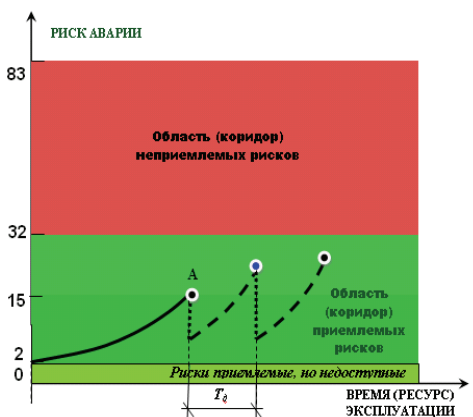


Рис. 2. Карта риска объекта и коридоры значений риска

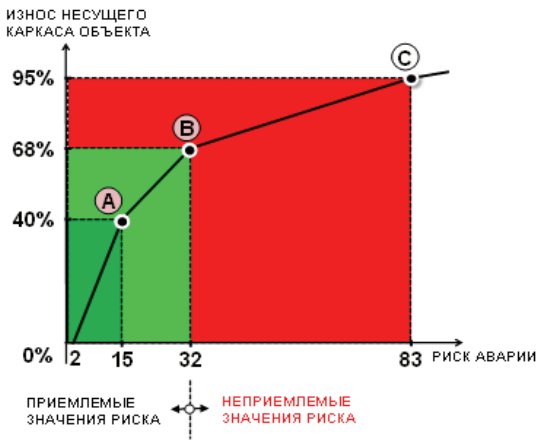


Рис. 3. Карта риска – «дорожная карта» безопасности объекта

хаотично ориентированы. Физическое состояние объекта на этом участке можно трактовать как безопасное, а риск аварии 32 принять за критический риск, так как после превышении такого риска способность объекта сопротивляться непроектным воздействиям практически исчерпывается. Если объект оставить без ремонта, то риск его аварии продолжит расти и достигнет последнего порогового значения, равного 83. При таком риске сопротивление нагрузкам у объекта теоретически исчерпывается. Дальнейшее повышение риска аварии переводит объект в ветхо-аварийное состояние. В этом состоянии равновесие объекта становится неустойчивым, и даже слабые воздействия на объект могут привести к его обрушению (состояние типа «дата аварии открыта»).

Заключение. Обеспечить базовые свойства качества и безопасности зданий и сооружений позволяет разработанный технический регламент «Оценка конструкционного риска аварии строительного объекта», основные положения которого изложены в настоящей статье. Применением понятия «риск аварии» и, что особенно важно, количественным определением этого риска, появится четкий предмет технического регулирования, заработает цепочка «контроль риска – сертификация – страхование», произойдут позитивные сдвиги в обеспечении качества и безопасности строительной продукции. Тем самым основные цели государственного технического регулирования и строительных саморегулируемых организаций будут достигнуты. В противном случае стране уготована участь не только «свалки» западных строительных технологий, но интеллектуальное отставание в очень важной отрасли знаний – науке о безопасности (управлении риском).

Литература

1. Безопасность России. Безопасность строительного комплекса / рук. авт. кол-ва Н.А.Махутов, О.И.Лобов, К.И.Еремин. – М.: МГОФ «Знание», 2012. – 798 с.
2. Мельчаков А.П., Никонов Н.Н., Рудин В.Н. Город – место надежных и безопасных сооружений // Градостроительство. – 2011. – № 5(15). – С.104–113; № 6(16). – С. 80–88.
3. Тамразян А.Г., Булгаков С.Н., Рахман И.А., Степанов А.Ю. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 304 с.
4. Безопасность эксплуатируемых зданий и сооружений: монография / под ред. В.И. Теличенко, К.И. Еремина. – М.: ВЕЛД, 2011. – 428 с.
5. Байбурун А.Х., Головнев С.Г. Качество и безопасность строительных технологий: монография. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 453 с.
6. Конструкционная безопасность строительного объекта: оценка и обеспечение: учебное пособие / А.П. Мельчаков, Д.А. Байбурун, Е.А. Казакова – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 136 с.

References

1. Makhutov N.A., Lobov O.I., Eremin K.I. Bezopasnost' Rossii. Bezopasnost' stroitel'nogo kompleksa [Russian safety. Construction industry safety]. Moscow, MGOF «Znanie» Publ., 2012. 798 p.
2. Mel'chakov A.P., Nikonov N.N., Rudin V.N. City – the place of reliable and safe constructions [Gorod – mesto nadezhnykh i bezopasnykh sooruzheniy]. Gradostroitel'stvo [Town paning], 2011, no. 5 (15), pp. 104–113; no. 6 (16), pp. 80–88.
3. Tamrazyan A.G., Bulgakov S.N., Rakhman I.A., Stepanov A.Yu. Snizhenie ris-kov v

stroitel'stve pri chrezvychaynykh situatsiyakh prirodno i tekhnogenno-go kharaktera [Construction risks reducing in natural and tech-nogenic emergencies]. Moscow, ASV Publ., 2012. 304 p.

4. Bezopasnost' ekspluatiruemykh zdaniy i sooruzheniy: monografiya [Safety of operated buildings and constructions: monography], ed. by Telichenko V.I., Eremin K.I. Moscow, VELD Publ., 2011. 428 p.

5. Bayburin A.Kh., Golovnev S.G. Kachestvo i bezopasnost' stroitel'nykh tekhnologiy: monografiya [Quality and safety of construction technology: monography]. Chelyabinsk, South Ural State University Publ., 2006. 453 p.

6. Melchakov A.P., Bayburin D.A., Kazakova E.A. Konstrukcionnaya bezopasnost' stroitel'nogo obyekta: ocenka i obespechenie: uchebnoe posobie [Structural safety of construction object: evaluation and ensuring: guide], Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2013. 136 p.

Байбурин А. Х.

доктор технических наук, доцент, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. E-mail: abayburin@mail.ru.

Мельчаков А. П.

доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. E-mail: profmelchakov@gmail.com.

Vaiburin A. Kh.

doctor of technical science, docent, South Ural State University, Chelyabinsk. E-mail: abayburin@mail.ru.

Melchakov A. P.

doctor of technical science, professor, South Ural State University, Chelyabinsk. E-mail: profmelchakov@gmail.com.

Поступила в редакцию 06.12.2016