



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

N2, ТОМ 15 (2009) 147-155

УДК 624.014.04

(09)-0193-1

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

В.Н. Кущенко

*Кафедра "Металеві конструкції", Донбаська національна академія будівництва і
архітектури, вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.
E-mail: snpcsh@mail.ru*

Отримана 16 квітня 2009; прийнята 17 квітня 2009

Анотація. У статті приведений огляд сучасного стану проблеми - забезпечення безпеки будівельних конструкцій. На підставі аналізу даних літературних джерел розглянуті основні складові методології визначення безпечної експлуатації будівельних конструкцій. Установлено наступні основні принципи забезпечення безпеки будівельних конструкцій: удосконалювання аналітичних методів опису навантажень, впливів і розрахункових математичних моделей конструкцій (принцип уточнення розрахункових схем); вибір конструктивних схем виключаючих можливість лавинообразного руйнування, що виключають можливість лавинообразного, конструктивної системи при руйнуванні одного або декількох елементів (принцип живучості конструктивної системи); вибір раціональних конструктивних форм забезпечуючих гарну якість монтажу і технічної експлуатації (принцип раціональності конструктивної форми); контроль якості матеріалів і будівельно-монтажних робіт (принцип контролю якості); контроль технічного стану в процесі експлуатації (принцип технічного нагляду); штучне зменшення навантажень при наявності ознак небезпечного стану (принцип обмеження навантажень); захист конструкцій від агресивних впливів (принцип захисту конструкцій); посилення і реконструкція споруджень з експлуатаційними ушкодженнями (принцип відновлення).

Ключові слова: методологія, будівельні конструкції, аварії, живучість, безпека.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.Н. Кущенко

*Кафедра "Металлические конструкции", Донбасская национальная академия строительства и
архитектуры, ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.
E-mail: snpcsh@mail.ru*

Получена 16 апреля 2009; принята 17 апреля 2009

Аннотация. В статье приведен обзор современного состояния проблемы - обеспечение безопасности строительных конструкций. На основании анализа данных литературных источников рассмотрены основные составляющие методологии определения безопасной эксплуатации строительных конструкций. Установлены следующие основные принципы обеспечения безопасности строительных конструкций: совершенствование аналитических методов описания нагрузок, воздействий и расчётных математических моделей конструкций (принцип уточнения расчётных схем); выбор конструктивных схем исключающих возможность лавинообразного разрушения конструктивной системы при разрушении одного или нескольких элементов (принцип живучести конструктивной системы); выбор рациональных конструктивных форм обеспечивающих хорошее качество монтажа и технической эксплуатации (принцип рациональности конструктивной формы); контроль качества материалов и строительно-монтажных работ (принцип контроля качества); контроль технического состояния в процессе

эксплуатации (принцип технического надзора); искусственное уменьшение нагрузок при наличии признаков опасного состояния (принцип ограничения нагрузок); защита конструкций от агрессивных воздействий (принцип защиты конструкций); усиление и реконструкция сооружений с эксплуатационными повреждениями (принцип восстановления).

Ключевые слова: методология, строительные конструкции, аварии, живучесть, безопасность.

BASIC PRINCIPLES OF BUILDING STRUCTURES PROTECTION

V.N. Kuschenko

*Department of metal structures, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Derzavin str. 2, 86123, Makeyevka, Ukraine.
E-mail: snpcsh@mail.ru*

Received 16 April 2009; accepted 17 April 2009

Abstract. The article is about the up-to-date state of the problem - building structures protection. Having analyzed the literature data, we have considered the main constituents of the methodology of determining building structures protection. There have been fixed the following main principles of building structures protection: improvement of analytical methods of specifying loads, actions and design mathematical models of structures (the principle of design scheme specification); a choice of structural schemes excluding a possibility of an avalanche-like damage of a structural system under breaking one or some elements (the principle of a structural system survivorship); a choice of rational structural forms providing a good quality of assembly works and technical maintenance (the principle of a structural form rationality); control of materials and civil and erection works (the principle of quality control); operating conditions control in the process of operation (the principle of technical supervision); an artificial decrease of loads if there are observed features of a dangerous state (the principle of load limitation); defense of structures of attacks (the principle of structure protection); enhancement and reconstruction of structures at their damage in operation (the principle of recovery).

Keywords: methodology, building structures, failures, survivability, safety.

Аварии строительных конструкций зданий и сооружений создают угрозы масштабных гуманитарных и экологических катастроф. Проблема предотвращения катастрофических аварий строительных конструкций в настоящее время актуальна и носит фундаментальный характер. Для Украины эта проблема имеет особое значение, в связи со значительным износом строительных конструкций основных фондов промышленности и гражданских объектов.

Целью данной работы является определение основных принципов обеспечения безопасности строительных конструкций. Указанная цель достигается путём анализа современных литературных источников, посвящённых различным аспектам указанной проблемы. Полученные результаты могут быть использованы для разработки инженерных методик — обеспечения безопасности строительных конструкций зданий и сооружений.

В современной методологии обеспечения безопасности строительных конструкций можно выделить три подсистемы методов и методик: 1) подсистема фазы проектирования, обеспечивающая создание моделей строительных объектов с гарантированным уровнем безопасности; 2) подсистема технологической фазы — обеспечивающая соответствие свойств реализованных строительных конструкций представлениям фазы проектирования; 3) подсистема рефлексивной фазы — обеспечивающая оценку качества реализованного сооружения, а так же обеспечивающая безопасное состояние строительных конструкций в процессе эксплуатации.

В современной методологии проектирования строительных конструкций существуют два качественно отличных метода определения безопасной области существования строительных конструкций: 1) метод предельных состояний

(метод частных коэффициентов надёжности) [11, 19]; 2) вероятностный метод (метод теории надёжности) [1, 8, 9, 10, 12, 21-23].

Концепция метода предельных состояний положена в основу строительных норм и правил проектирования строительных конструкций [11, 19]. В соответствии с методом предельных состояний область безопасных состояний конструктивного элемента определяется в виде предельного неравенства состоящего из детерминированных величин обобщённой несущей способности конструктивного элемента с одной стороны и с другой — обобщённого расчётного усилия. Гарантия неразрушимости обеспечивается частными коэффициентами надёжности, которые определяются с учётом стохастической изменчивости параметров нагрузок, прочности и условий работы конструкций. Частные коэффициенты надёжности определяются статистическим методом по известным законам распределения случайных величин параметров прочности и нагрузок, однако, в условия предельных неравенств, эти коэффициенты вводятся как детерминированные величины. С точки зрения методологии принятия технических решений условие неразрушимости метода предельных состояний соответствует минимаксному критерию (ММ), то есть позиции крайней осторожности [6]. При условии конечности множеств рассматриваемых состояний объекта: "...Выбранные таким образом варианты полностью исключают риск. Это означает, что принимающий решение не может столкнуться с худшим результатом, чем тот на который он ориентируется..." [6 с. 22]. Необходимо отметить, что в методологии принятия технических решений "ММ" критерий является основным способом приведения условий неопределённости к детерминированному виду. Однако, в методе предельных состояний риск существует, только на уровне определения минимального значения обобщённой несущей способности и максимального значения обобщённой нагрузки, то есть, при назначении величин частных коэффициентов надёжности и нормативных значений параметров прочности и нагрузок.

Поскольку условия неразрушимости метода предельных состояний в явном виде не содержат вероятности безотказной работы, следовательно, строительные нормы и правила,

определяющие расчёт и проектирование зданий и сооружений, формально возможность аварий вследствие стохастических свойств параметров прочности и нагрузок не рассматривают [11].

Вероятностные методы расчёта строительных конструкций, основаны на методологии математической теории надёжности. Концепция теории надёжности предполагает расчёт строительных конструкций в виде функции безопасности, в которую входят стохастические параметры прочности, нагрузок, накопления повреждений, которая для заданного интервала времени определяет вероятность безотказной работы. Область безопасного использования конструкции определяется путём нормирования вероятности разрушения. В практике нормирования применяются два основных подхода: 1) определения индексов надёжности [8, 12, 10]; 2) определения допустимого уровня риска [8, 14]. Отличие этих двух подходов состоит в том, что в первом случае нормируется вероятность отказа, во втором произведение вероятности отказа на количественную характеристику последствий. Основным недостатком как первого так и второго подходов состоит в отсутствии критерия условия неразрушимости конструкции, что обусловлено гипотезами о стохастических законах распределения параметров прочности и нагрузки. Кроме этого указанные подходы, по существу, ограничиваются условием статистической однородности параметров прочности, хотя бы в пределах отдельных элементов. В действительности, для строительных конструкций с признаками значительного физического износа это условие, как правило, не выполняется.

А.Р. Ржаницын определил следующее условие применимости методов надёжности и предельных состояний при условии статистической однородности и нормальных законах распределения параметра нагрузок и параметра прочности [12]:

$$\gamma \leq \sqrt{\frac{1}{A_Q^2} + \frac{1}{A_R^2}}, \quad (1)$$

где: γ — характеристика безопасности;

A_Q — коэффициент изменчивости параметра нагрузки;

A_R — коэффициент изменчивости параметра прочности.

Если экстремальные значения нагрузок рассматривать как детерминированные величины, условие (1) приводится к следующему виду:

$$A_R = \frac{\mathcal{K}}{R} \geq \sqrt{\frac{1}{\gamma^2}} = 0,34, \quad (2)$$

где: \mathcal{K} — дисперсия параметра прочности конструктивного элемента;

R — математическое ожидание параметра прочности;

$\gamma = 3$ — характеристика безопасности соответствующая вероятности разрушения для нормального закона распределения — 0,00137.

Для стальных конструктивных элементов в большинстве случаев применима вероятностная расчётная модель пластического типа [1], в соответствии с которой прочность элемента в общем случае определяется детерминированной величиной равной математическому ожиданию прочности структурных элементов, как по сечению, так и по длине конструктивного элемента. Вследствие этого, при наличии информации о математическом ожидании предела текучести, коэффициент изменчивости параметра прочности отдельно взятого (реального) конструктивного элемента определяется стохастическими свойствами геометрических характеристик поперечных сечений, а также наличием скрытых дефектов. Если в результате дефектоскопии установлено отсутствие опасных дефектов, в основном коэффициент вариации геометрических характеристик зависит от случайной изменчивости толщины полок и стенок конструктивных элементов, следовательно, применимость нормативных методов расчётов ограничивается следующим значением дисперсии средних толщин по сечению и по длине конструктивного элемента:

$$\mathcal{K} \leq 0,34\bar{\epsilon}, \quad (3)$$

где: $\bar{\epsilon}$ — дисперсия средних значений толщин в контрольных точках сечения по длине элемента;

$\bar{\epsilon}$ — математическое ожидание толщин в контрольных точках сечений по длине элемента.

Исходная изменчивость площади поперечных сечений металлопроката (интервал определённый по "правилу трёх стандартов") составляет в среднем 5%, и имеет тенденцию к возрастанию при увеличении размеров поперечного сечения до 10%, при этих условиях для элементов стальных конструкций при выполнении нормативных требований обеспечена характеристика безопасности порядка $\gamma = 3,7$, что соответствует весьма малой вероятности разрушения ($\sim 3 \cdot 10^{-5}$). Однако в процессе коррозионного или абразивного износа дисперсия геометрических характеристик конструктивных элементов возрастает (см. рис. 1). Вследствие этого для металлических конструкций существуют предельные потери сечений, после которых требуемое значение характеристики безопасности ($\gamma = 3$), не может быть обеспечено никаким увеличением коэффициента запаса (см. точка "К" на рис. 1). В этом случае, проявляется граница применимости метода расчёта по предельным состояниям. Обычно такое явление наблюдается при относительных потерях сечений конструктивных элементов на величину 30-35% и более. Вследствие этого для металлических конструкций существуют предельные потери сечений, после которых требуемое значение характеристики безопасности ($\gamma = 3$), не может быть обеспечено никаким увеличением коэффициента запаса (см. точка "К" на рис. 1). В этом случае, проявляется граница применимости метода расчёта по предельным состояниям. Обычно такое явление наблюдается при относительных потерях сечений конструктивных элементов на величину 30-35% и более. Такие потери сечения для элементов основных несущих конструкций следует рассматривать как критические, а состояние этих элементов не зависимо от результатов проверочного расчёта — "опасным".

Оценка опасности эксплуатации таких конструкций возможна при получении информации и применения функции безопасности конструктивного элемента в форме неопределённости состояния [7]:

$$\ln\left(\frac{V_d}{V_e}\right) + \ln(q_{0y} + q_{0A} + q_{0d} + q_{0B}) \leq \ln e \quad (4)$$

где: $\ln\left(\frac{V_d}{V_e}\right)$ – энтропия Хартли, отражаю-

щая сложность сопротивления конструктивно-го элемента при нагрузочном эффекте;

V_d – дискретный объём конструктивного элемента, прочность которого можно считать полностью коррелированной;

V_e – общий объём материала в конструктивном элементе;

$\ln(q_{0v} + q_{0A} + q_{0d} + q_{0B})$ – энтропия Шеннона интервала неопределённости параметра прочности конструктивного элемента;

$\ln e$ – предельно допустимое значение энтропии негативного состояния конструктивно-го элемента;

q_{0v} – вероятность выхода прочностных характеристик материала ниже уровня установленного при испытаниях одним из неразрушающих методов, обусловленная флуктуациями прочностных свойств конструкционного материала;

q_{0A} – вероятность того, что значения геометрической характеристики сечения элемента окажется ниже величины определённой на основании измерений, обусловленная стохастиче-

ской изменчивостью размеров поперечного сечения конструктивного элемента;

q_{0d} – вероятность превышения учтённой ошибки измерений;

q_{0B} – вероятность ошибки, обусловленной ограниченностью и условным характером полученной информации.

Левая часть предельного неравенства (4) представляет суммарную энтропию негативного состояния по всем источникам неопределённости, которая зависит от степени дискретизации объёма конструктивного элемента и количества информации полученной о свойствах объекта. Правая часть является предельно допустимым значением энтропии негативного состояния, определяемая условием прочности дискретного объёма конструктивного элемента. Риск принятия технического решения по предельному неравенству (4), определяется вероятностью превышения нагрузочным эффектом критического значения обобщённой несущей способности, которая определяется мерой повреждения конструкционного материала ϵ .

В современных нормах для железобетонных конструкций содержатся рекомендации о целесообразности усиления конструктивных

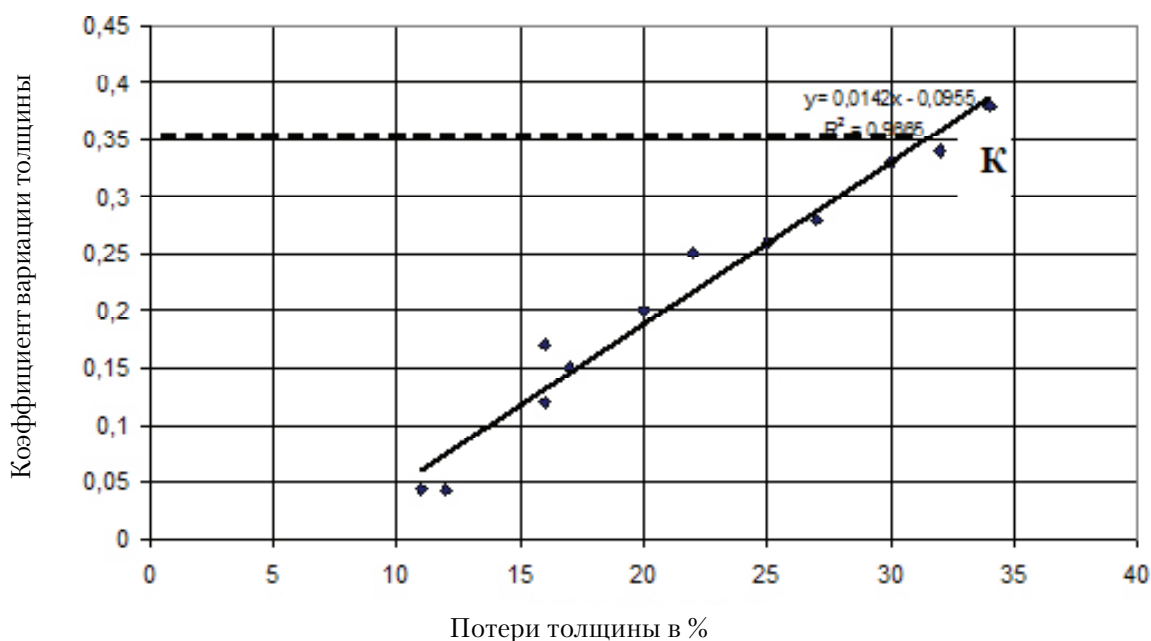


Рис. 1. Зависимость коэффициента вариации толщины сечения от относительных потерь поперечного сечения конструктивного элемента копра в зоне абразивных и коррозионных воздействий.

элементов с потерями несущей способности 50% и более. Дальнейшая эксплуатация сооружений возможна только при условии замены этих конструктивных элементов или усилении по схеме внешнего или внутреннего дублирования. Применительно к тонкостенным металлическим конструкциям аналогичное требование соответствует потерям сечения конструктивным элементом более 30%. При коррозионных потерях сечений конструктивных элементов ферменных конструкций более чем на 40%, происходит повреждение узлов щелевой коррозией, и как следствие, качественные изменения конструктивной схемы сооружения. На рис. 2 показаны узлы ферм станка шахтного копра прослужившего 60 лет, при потерях сечения более 40%. На фотографии видно, что в результате распирающего действия продуктов коррозии в конструктивных зазорах элементы вблизи узла деформированы, а в сварных швах появились трещины. Такой характер коррозионных разрушений конструкций характерен так же для других промышленных сооружений, эксплуатирующихся в средне и сильноагрессивных средах. Например, для пролётных строений транспортёрных галерей при удалении просыпи водой, этот вид повреждения является одной из основных причин частых аварий.

Сопоставление результатов расчёта элементов стальных конструкций выполненных вероятностным методом и по методу предельных состояний, показывают индекс надёжности от

4 до 11 (вероятность отказа $3,2 \times 10^{-5} \dots 10^{-27}$) [8]. Такая вероятность разрушения соответствует незначительному уровню риска, однако при этом отмечается значительный разброс показателя надёжности. В целом можно констатировать соответствие результатов проектирования по нормативным методикам, весьма жёстким требованиям надёжности строительных конструкций [11, 19]. Однако, при этом, для некоторых видов сооружений наблюдаются частые аварии [2, 4, 8, 13, 18].

Теория надёжности рассматривает аварии строительных конструкций, как неизбежное объективное проявление стохастических свойств искусственных систем при взаимодействии с внешней средой и в общем смысле определяет их как "отказы". Отказ, какого либо элемента не обязательно является причиной аварии здания или сооружения, в связи с этим различают "аварийные отказы", с которыми связано понятие "живучести" конструктивной системы [5, 8, 15, 17]. "Анализ аварий промышленных и гражданских сооружений носил лавинообразный характер, если отказ отдельных элементов и подсистем (даже неполный) инициировал возникновение двух или более серьёзных отказов и разрушений. Однако имеются и многочисленные примеры систем, где изолированные отказы отдельных элементов не приводят к аварии, что связано с некоторыми резервными возможностями, присущими структуре системы. Свойство системы сохранять несущую способность при выходе из строя одного



Рис. 2. Коррозионные повреждения узлов ферм станка шахтного копра при потерях сечений более 40%: а) деформации элементов и разрушение сварного шва; б) трещины в сварных швах.

или нескольких элементов естественно называть живучестью..." [8 с. 12]. Одной из первых работ в области анализа живучести статически неопределимых систем является работа С.Н. Стрелецкого [16], согласно которой свойство живучести строительных конструкций обусловлено неравнопрочностью конструктивных элементов, а так же статической неопределимостью. В работе [16] введено понятие числа статической связности, которое равно числу статической неопределимости плюс единица, а так же понятие ключевой связи, после разрушения, которой конструктивная система превращается в механизм. Упруго-пластический анализ при заданной пошаговой истории нагружения позволяет для статически неопределимой системы определить состояние предельного равновесия, то есть оценить величину разрушающей нагрузки при пошаговом нагружении [16]. С точки зрения теории надёжности свойство "живучести" конструктивных систем обусловлено их структурой, а так же стохастической неравнопрочностью отдельных элементов [8, 17]. Для количественной характеристики оценки свойства "живучести" строительных конструкций в работе [8], предложена методика, основанная на методе конечного элемента. Одним из направлений повышения живучести, является применение конструктивных схем построенных по принципу секционирования, так чтобы при отказе одного или нескольких элементов разрушение системы имело местный характер при сохранении геометрической неизменяемости значительной части сооружения [8].

Нормы "системы обеспечения надёжности и безопасности строительных объектов" рассматривают возможность аварий, и разделяют их в зависимости от тяжести последствий и масштабов на две категории, а так же дают следующую классификацию причин [3]: 1) технические ошибки (на стадии: изысканий; проектирования; изготовления; монтажа; эксплуатации; ремонтах); 2) проявление некачественной человеческой воли (организационные ошибки; недостаточная квалификация исполнителей); 4) техногенные и природные катастрофы, не подлежащие обязательному учёту; 5) недостаточные знания о природе и техногенной сфере. Несмотря на то, что некоторые из приведенных причин могут быть отнесены к проявлению сто-

хастических свойств строительных конструкций и нагрузок, можно выделить такие ошибки при проектировании строительных конструкций, которые не следует определять, в полной мере как стохастические. Например, неточное нормативное определение расчётных значений нагрузок, или неправильное определение расчётной схемы сооружения. Такие ошибки помимо стохастических причин, так же являются результатом недостатка информации о действительной работе строительных конструкций. Ошибки при проектировании или возведении сооружений, связаны с проявлением некачественной воли исполнителей и также имеют информационную природу [6]. Подробный анализ причин аварий строительных конструкций приведенный в работе [8], показывает, что на долю аварий, причина которых связана со стохастическими свойствами параметров прочности и нагрузок, приходится в среднем 29%. Таким образом, нельзя утверждать, что понятие теории надёжности "отказ" в полной мере соответствует всем возможным видам аварий строительных конструкций. Впрочем, так же нельзя утверждать, полное совершенство метода предельных состояний. Очевидно, что на современном этапе развития методов расчёта строительных конструкций эти два концептуальных подхода взаимно дополняют друг друга, и, в сущности, не содержат коренных противоречий. Кроме этого в ряд причин аварий строительных конструкций следовало бы добавить неудачные конструктивные формы, которые затрудняют осуществление монтажных соединений, делают невозможным доступ для технического обслуживания, способствуют образованию очагов физического износа или плохо поддаются расчётной идеализации в связи с высокой концентрацией напряжений. Описание различных видов аварий и анализ их причин приведены в следующих литературных источниках [2, 4, 8, 13, 18].

Основное отличие проблематики безопасности строительных конструкций от задач обеспечения надёжности прочих технических систем состоит в том, что для строительных конструкций, возможное разрушение которых в ряде случаев создаёт угрозу для жизни и здоровья людей, отказ всей конструктивной системы рассматривается как недопустимое

событие или событие с минимальным риском [1, 8 22, 23]. "Необходимо отметить важный аспект, отличающий рассмотрение надёжности от рассмотрения безопасности. В первом случае практически не рассматривается само состояние отказа, включая и аварийный отказ. Здесь важен сам факт его достижения или не достижения и вероятность такого состояния. В случае рассмотрения проблемы безопасности предметом самого пристального внимания становится сама авария [8 с. 16]". В работе [8] приведена система понятий и определений связанная с проблемой обеспечения безопасности, в качестве основных объектов обеспечения безопасности названы человек и окружающая среда. Различают два вида требований к безопасности: количественные, в число которых входит риск безопасности, а так же качественные (требования к выбору конструктивной схемы, правила выполнения работ, требования к контролю качества) [8].

Обобщая проведенный анализ литературных источников можно сформулировать следующие основные направления (принципы) обеспечения безопасности строительных конструкций:

- совершенствование аналитических методов описания нагрузок, воздействий и расчётных математических моделей конструкций (принцип уточнения расчётных схем);
- выбор конструктивных схем исключающих возможность лавинообразного разрушения конструктивной системы при разрушении одного или нескольких элементов (принцип живучести конструктивной системы);
- выбор рациональных конструктивных форм обеспечивающих хорошее качество монтажа и технической эксплуатации (принцип рациональности конструктивной формы);
- контроль качества материалов и строительного-монтажных работ (принцип контроля качества);
- контроль технического состояния в процессе эксплуатации (принцип технического надзора);
- искусственное уменьшение нагрузок при наличии признаков опасного состояния (принцип ограничения нагрузок);
- защита конструкций от агрессивных воздействий (принцип защиты конструкций);

- усиление и реконструкция сооружений с эксплуатационными повреждениями (принцип восстановления).

Литература

1. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. — М.: Машиностроение, 1984. — 312 с.
2. Горохов Е.В., Кущенко В.Н., Куличенко П.Е. Анализ причин возникновения аварий на сооружениях шахтной поверхности // Будівлі та споруди.— Київ, 2000.— Вип. 2000-1(21).— С. 3-11.
3. ДБН В.1.2-1-95. Система обеспечения надёжности и безопасности строительных объектов. Положение о расследовании причин аварий (обрушений) зданий, сооружений, их частей и конструктивных элементов / Госкомградостроительство Украины.— К., 1995. — 23 с.
4. Добромислов А.Н. Анализ аварий промышленных зданий и инженерных сооружений // Промышленное строительство.— 1990.— №9.— С. 9-10.
5. Доронин С.В. Развитие проектных расчетов живучести конструктивных форм // Вычислительные технологии.— 2003. — Т.8.— №3. — Ч. 1. — С. 320-322.
6. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений / Пер. с нем. — М.: Мир, 1990. — 208 с.
7. Кущенко В.Н. Диагностическая функция безопасности конструктивного элемента в форме неопределённости // Строительные конструкции, здания и сооружения: Сб. науч. трудов.— Киев, 1998.— Вип. 98-4(12). — С. 55-57.
8. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надёжности и безопасности строительных конструкций. 2-е изд., перераб. и доп. — Киев: Изд-во УкрНИИПроектстальконструкция, 2000. — 216 с.
9. Пичугин С.Ф. Развитие расчёта надёжности - важное направление совершенствования металлоконструкций // Теория и практика металлических конструкций: Сб. науч. трудов.— Киев, 1997.— Т.2. — С. 3-6.
10. Райзер В.Д. Теория надёжности в строительном проектировании. — М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1998. — 302 с.
11. Расчёт строительных конструкций по предельным состояниям / В.А Балдин., И.И. Гольденблат, В.М. Коченов и др. / Под ред. В.М. Келдыша. — М.: Государственное издательство литературы. — 271 с.
12. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. — М.: Стройиздат, 1978. — 239 с.
13. Сахновский М. М., Титов А. М. Уроки аварий стальных конструкций. — К.: Будівельник, 1969. — 200 с.
14. Сеницын А.П. Расчёт конструкций на основе теории риска. — М.: Стройиздат, 1985. — 304 с.

15. Скоробогатов С.М. Принцип информационной энтропии в механике разрушения инженерных сооружений и горных пластов. – Екатеринбург: УрГУПС, 2000. – 420с.
16. Стрелецкий Н.С. Анализ процесса разрушения упруго-пластической системы: Сб.науч. трудов Моск. инж. - строит. ин-та. – М., 1947. – №5: Инженерные конструкции. Под ред. Н.С. Стрелецкого. – С. 3-25.
17. Черкесов Г.Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем. – М.: Знание, 1987. – 116 с.
18. Шкинёв А. Н. Аварии в строительстве. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984. – 320 с.
19. ENV 1991-1:1994/ Basic of Design and Actions on Structures. CEN European Committee for Standardization. – Brussel, 1994. – 85p.
20. ENV 1991-1-1:1994/ Design of Steel Structures. CEN European Committee for Standardization. – Brussel, 1994. – 85 p.
21. Elms D.G. Risk balancing in structural problems, Structural Safety. – Vol.19, No.1. – P. 67-77.
22. General Principles on Reliability for Structures. Revision of ISO 2394. Fifteenth Draft – BRE/chr/ May 1997. – 52p.
23. ISO ST 2394. General Principles on Reliability for Structures. – 1994. – 50p.

Кущенко Володимир Миколайович – професор кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Української асоціації з металевих конструкцій. Наукові інтереси: дослідження дійсної роботи та удосконалення методів розрахунку будівельних конструкцій гірничотехнічних споруд.

Кущенко Владимир Николаевич – професор кафедри "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Украинской ассоциации по металлическим конструкциям. Научные интересы: исследование действительной работы и, совершенствование методов расчёта строительных конструкций горнотехнических сооружений.

Kuschenko Volodymyr Mykolauovich – Professor of "Metal Structures" Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, the DonNACEA. A member of the Ukrainian Association on Metal Structures. Scientific researches: study of a useful work, improvement of the design method for building structures for material mining equipment.