

УДК 69.059.4.003

В. Н. ЛЕВЧЕНКО, Д. В. ЛЕВЧЕНКО, Н. А. НЕВГЕНЬ, А. А. ХРАМОГИН
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**УЧЕТ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ И
НАДЕЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И
СООРУЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Аннотация. Экономическая оценка надёжности строительных конструкций – сложная комплексная задача. Она должна решаться с учетом затрат, направленных на обеспечение требуемых показателей качества в процессе проектирования, возведения и эксплуатации зданий и сооружений. В статье приводятся пути получения равнонадежных конструкций при их проектировании: как производится технологическое обеспечение надежности конструкций и чем обеспечивается надежность в процессе эксплуатации конструкций. Приведены необходимые теоретические предпосылки и практические рекомендации, на основании которых могут быть сделаны важные шаги по пути коренного улучшения качества строительства при одновременном уменьшении его стоимости.

Ключевые слова: надежность, эффективность, долговечность, вероятностная оценка, ремонтпригодность.

Основной экономический эффект надежности строительных конструкций определяется на стадии проектирования. Здесь прежде всего должен быть установлен необходимый уровень надежности в зависимости от функционального назначения объекта и требуемого срока его службы. Применительно к этому уровню выбираются материалы несущих и ограждающих конструкций.

Затем задача сводится к проектированию равнонадежной конструкции с требуемым уровнем надежности, что достигается:

- выбором рациональных конструктивных решений и методов расчета;
- выбором рациональной производственной базы и включением в проект технологически обоснованных статистических характеристик качества.

Здесь рассматриваются лишь проектные и производственно-технические факторы, непосредственно влияющие на уровень надежности конструкций, считая при этом, что другие факторы учитываются при прочих равных условиях.

Повышение уровня теоретической надежности, снижение расчетного коэффициента надежности и, следовательно, уменьшение затрат на возведение зданий и сооружений может быть достигнуто за счет:

- максимального (с учетом возможностей производственной базы) укрупнения элементов сборных конструкций и соответственного уменьшения числа их сопряжений;
- создания конструктивных схем, обеспечивающих резервирование надежности, т. е. таких схем, при которых отказ одного или даже нескольких элементов не означал бы отказа всей конструкции;
- применения пространных конструкций;
- максимального использования стандартных и унифицированных элементов, которые, как правило, изготавливаются по более совершенной технологии и имеют высокий уровень надежности;
- применения элементов железобетонных конструкций с учетом их контрольной (конструктивной) прочности;
- расположения однотипных элементов сборных конструкций, имеющих разные характеристики начальной безотказности, в расчетных участках конструктивно-монтажных цепей таким образом, чтобы обеспечить приблизительно равный уровень надежности во всех звеньях конструкции;

- проектирование узлов сопряжений с характеристиками надежности, близкими к соответствующим характеристикам элементов;
- применения монолитных конструкций. Заметим, что несмотря на то, что эти конструкции в силу однородности материала, элементов и узлов должны быть более надежными, они обладают одним существенным недостатком: при их возведении труднее управлять качеством, так как невозможно обеспечить равнонадежность конструкции путем рационального размещения в ней элементов с разными уровнями надежности и учесть их конструкционную прочность;
- проектирования долговечности и ремонтпригодности. При этом длительность межремонтных периодов определяется путем подсчета долговечности защитных покрытий и изменчивости прочности материала во времени;
- обеспечения технологичности конструкций и рабочих чертежей.

Это требование обуславливается созданием конструкций, приспособленных для рациональной организации изготовительных, строительного-монтажных и ремонтных работ с учетом пооперационного предупредительного контроля качества.

Непрерывным условием уменьшения расчетного коэффициента надежности при заданном уровне надежности конструкции является получение надлежащих гарантий в том, что действительные характеристики качества (надежности) возведенной в натуре конструкции будут соответствовать расчетной модели. Эта задача решается путем организации активного производственного контроля качества и стабилизации технологических процессов, что связано с некоторыми материальными затратами.

В железобетонных конструкциях имеются еще и дополнительные резервы экономии:

1. Повышение коэффициента однородности бетона и уменьшение коэффициента перегрузки от собственного веса, что позволяет уменьшить расчетные сечения.

2. Оценка физико-механических характеристик качества элементов железобетонных конструкций по их контрольной прочности. Сущность метода заключается в том, что на основе сплошного контроля готовой продукции неразрушающими методами определяются фактические значения физико-механических характеристик качества в различных сечениях элементов.

Как известно, по принятой методике расчета железобетонных конструкций проектом устанавливается один класс бетона для всего элемента, а величина сечения обычно принимается постоянной по длине. Естественно, что прочность, необходимая в расчетном сечении, оказывается излишней для других сечений. В силу особенностей технологии производства железобетонных конструкций имеет место изменчивость характеристик прочности в пределах элемента. Задача состоит в том, чтобы учесть вероятность совпадения действительных характеристик прочности в некоторых сечениях с расчетными усилиями, действующими в тех же сечениях.

Н. А. Крыловым [4] предложена методика вероятностной оценки этих совпадений, позволяющая уменьшить расчетный класс бетона или, что то же, расчетный коэффициент надежности и получить существенный экономический эффект.

Так, например, для сопоставления действительных характеристик прочности бетона однопролетной железобетонной балки (рис. 1) с сопротивлениями, допускаемыми по расчету для различных её сечений, строится специальная контрольная эпюра $R_{вх}$. Ординаты этой огибающей эпюры определены по результатам расчета бетона на сжимающие усилия от действующих моментов, а также сжимающие или перерезывающие усилия от поперечных сил при условии восприятия арматурой действующих усилий и обеспечения надежного ее сцепления с бетоном. Расчеты выполнены с учетом изменения величин изгибающих моментов и перерезывающих сил по длине балки (эпюры M и Q).

При сплошном контроле прочности бетона в изделиях для каждого контролируемого сечения должно быть соблюдено условие:

$$R_{визм.} < R_{вх}, \quad (1)$$

где $R_{визм.}$ – действительная (измеренная) прочность бетона в контролируемом сечении элемента;
 $R_{вх}$ – расчетное сопротивление бетона в том же сечении.

3. Применение селективного отбора при сплошном контроле физико-механических и геометрических характеристик качества. Такой отбор позволяет дифференцировать однотипные элементы сборных конструкций по характеристикам надежности и рационально размещать их в конструкции.

На рис. 2 представлены схема каркаса многоэтажного здания (а) и график требуемого теоретического уровня надежности в зависимости от места расположения элементов (колонн) в конструкции (б). Разобьем здание по высоте на три участка с допустимыми равными уровнями надежности

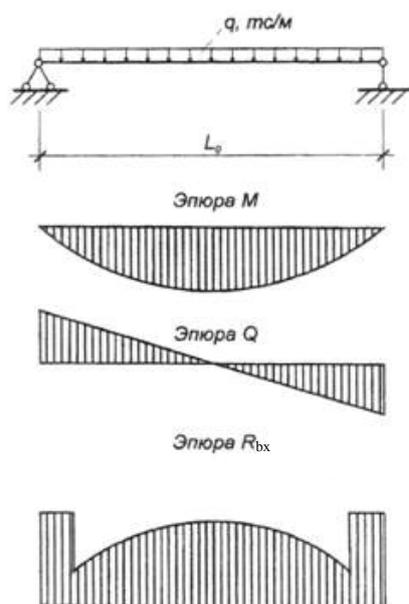


Рисунок 1 – Расчетные и контрольные эпюры для однопролетной железобетонной балки.

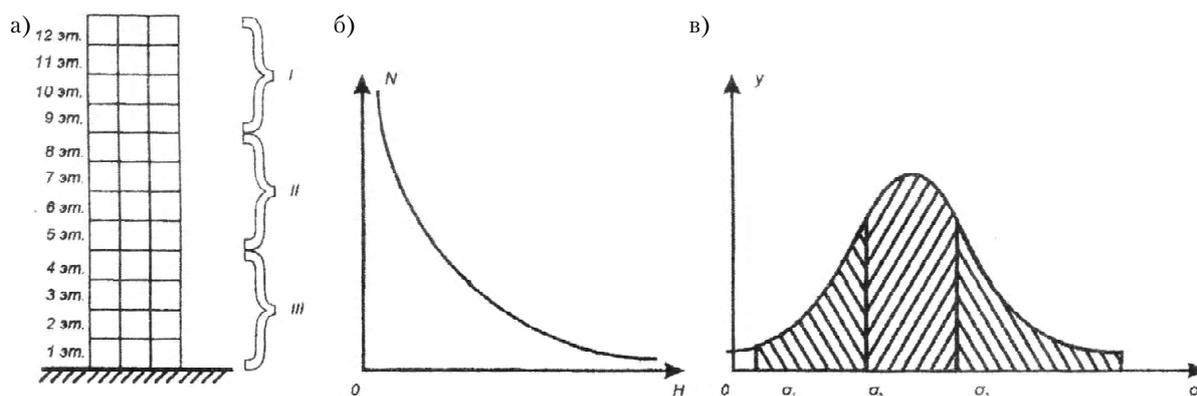


Рисунок 2 – Обеспечение равнонадежности конструкций: а) схема каркаса; б) график изменения надежности конструкции по высоте здания; в – изменчивость характеристик прочности партии элементов сборных колонн: I – первый участок надежности (12–9 этажи); II – второй участок надежности (8–5 этажи); III – третий участок надежности (4–1 этажи); Н – надежность конструкции; N – число ярусов (этажей) колонны; σ_b – прочность элементов; y – количество элементов данной прочности (частота распределения).

элементов. Очевидно, что для нижнего, третьего участка потребуются элементы с наиболее высоким уровнем надежности, а для верхнего – с наименьшим. По результатам сплошного контроля качества изготовления партии элементов сборных колонн построим кривую распределения характеристик их прочности (в).

Площадь, расположенная под кривой нормального распределения, также разобьем на три участка, отличающихся минимальной, средней и максимальной прочностью элементов.

Руководствуясь графиком, представленным на рис. 2в, произведем селективный отбор, т. е. разбраковку партии по характеристикам прочности от σ_1 до σ_2 , от σ_2 до σ_3 и больше σ_3 . Теперь ясно, что для первых четырех этажей (III участок) пойдут звенья колонн с характеристиками прочности больше σ_3 , для 5–8 этажей (II участок) – с характеристиками от σ_2 до σ_3 и для 9–12 этажей (I участок) – от σ_1 до σ_2 . Соответственно должна быть дифференцирована и точность монтажных работ. В отдельных случаях по высоте здания может меняться и метод монтажа, обеспечивающий в нижних ярусах максимальную точность сопряжений, т.е. минимальные эксцентриситеты, а в верхних (где труднее добиться высокой точности) – должно быть подтверждено проверочным расчетом надежности конструкций и экономическими соображениями.

4. Улучшение качества строительства, сведение к минимуму доли дефектной продукции и удлинение межремонтного периода.

5. Осуществление рекомендаций службы надежности по совершенствованию проектных решений и технологических процессов производства, направленных на повышение уровня надежности и, следовательно, на улучшение технико-экономических показателей строительства.

Задача службы эксплуатации строительных конструкций в конечном счете сводится к поддержанию заданного уровня их надежности в течение всего срока службы. С повышением уровня надежности возрастают капитальные затраты, связанные с их возведением, а затраты на эксплуатацию соответственно уменьшаются. Во временных сооружениях, рассчитанных на короткий срок службы, затраты на эксплуатацию могут оказаться близкими к нулю. В зданиях высокого класса, рассчитанных на длительный период эксплуатации, эти расходы составляют существенную часть общей стоимости строительства. Экономическая эффективность затрат на проведение профилактических осмотров и ремонтов может быть оценена путем сопоставления этих затрат с первоначальной стоимостью строительства.

Как известно, периодичность профилактических ремонтов зависит от интенсивности постепенного износа элементов и узлов конструкции. Интенсивность износа в свою очередь зависит от качества материалов, совершенства конструктивных решений, степени воздействия внешней среды и условий эксплуатации конструкции. Последние определяются уровнем ее ремонтпригодности и организацией эксплуатационной службы. В отдельных случаях (например, при работе в агрессивных средах) высокий уровень ремонтпригодности и надежная эксплуатация позволят свести к минимуму расчетный коэффициент условий работы.

Объем работ, стоимость выполнения плановых текущих ремонтов и их количество за весь период эксплуатации должны определяться на стадии проектирования объекта. Эти соотношения могут быть определены по формуле

$$C'_3 = C''_{3n}, \quad (2)$$

где C'_3 – сумма затрат на проведение профилактических ремонтов;
 C''_{3n} – средняя стоимость одного профилактического ремонта;
 n – количество профилактических ремонтов на весь срок службы конструкции.

Таким образом, служба эксплуатации, организуемая применительно к функциональным особенностям здания или сооружения и степени его ремонтпригодности, является регулятором долговечности конструкции. Расходы на ее содержание (жилищно-эксплуатационные конторы, ремонтно-строительные цехи предприятий, инженерная служба общественных зданий и т. п.) компенсируются экономией, достигаемой за счет увеличения срока службы объекта.

ВЫВОДЫ

Решение проблемы надежности несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений позволит получить значительный технико-экономический эффект в области капитального строительства. Этот эффект может быть достигнут как за счет уменьшения расчетного коэффициента надежности при гарантированном качестве элементов и узлов строительных конструкций, так и за счет увеличения срока их службы.

Непрерывным условием решения проблемы надежности является четкое взаимодействие процессов проектирования, возведения и эксплуатации строительных конструкций. Особо важное значение здесь имеет проектирование характеристик надежности с учетом технического уровня производственной базы и организация производства, обеспечивающая безусловное соответствие действительных показателей качества проектным величинам.

Решение рассматриваемой проблемы в области проектирования сводится к проверке надежности элементов и конструкций, которая может служить одним из технических и экономических критериев рациональности решения задачи на этой стадии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанов, В. И. Экономика повышения долговечности и коррозионной стойкости строительных конструкций [Текст] / В. И. Агаджанов. – М. : Стройиздат, 1988. – 173 с.
2. Барашиков, А. Я. Оценка технического состояния строительных конструкций, зданий и сооружений [Текст] / А. Я. Барашиков, А. Н. Малышев. – К. : [б. и.], 1998. – 231 с. – ISBN 5-8238-0586-1.

3. Колотилкин, Б. М. Проблемы долговечности и надежности зданий [Текст] / Б. М. Колотилкин. – М. : Знание, 1969. – 46 с.
4. Радиотехнические методы контроля качества железобетона [Текст] / Н. А. Крылов, В. А. Калашников, А. М. Полищук. – М. : Стройиздат, 1966. – 121 с.
5. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций, промышленных зданий и сооружений при их реконструкции восстановлении [Текст] / Харьковский проектный и научно-исследовательский институт (Промстройниипроект) Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1990. – 176 с.
6. Руководство по определению экономической эффективности повышения качества и долговечности строительных конструкций [Текст] / НИИЖБ Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1981. – 55 с.

Получено 05.04.2017

**В. М. ЛЕВЧЕНКО, Д. В. ЛЕВЧЕНКО, М. О. НЕВГЕНЬ, О. А. ХРАМОГІН
УРАХУВАННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ І
НАДІЙНІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД В
ПРОЦЕСІ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»**

Анотація. Економічна оцінка надійності будівельних конструкцій – складне комплексне завдання. Воно повинне вирішуватися з урахуванням витрат, спрямованих на забезпечення потрібних показників якості в процесі проектування, зведення та експлуатації будівель і споруд. У статті наводяться шляхи одержання рівнонадійних конструкцій при їх проектуванні: як відбувається технологічне забезпечення надійності конструкцій і яким чином забезпечується надійність у процесі експлуатації конструкцій. Наведені необхідні теоретичні передумови та практичні рекомендації, на підставі яких можуть бути зроблені важливі кроки на шляху до корінного покращення якості будівництва при одночасному зменшенні його вартості.

Ключові слова: надійність, ефективність, довговічність, ймовірна оцінка, ремонтпридатність.

**VICTOR LEVCHENKO, DMITRY LEVCHENKO, NIKOLAI NEVGEN,
ALEKSANDR KHRAMOGIN
CONSIDERATION OF FACTORS, AFFECTING DURABILITY AND RELIABILITY
OF BUILDING CONSTRUCTIONS AND STRUCTURES IN THE PROCESS OF
THEIR OPERATION
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture**

Abstract. Economic assessment of engineering constructions durability complex task. It should be solved taking into account expenses to provide the required quality while designing, constructing and operating a building. The methods of designing of equally reliable structures, of technical providing of reliability and of ensuring reliability while operating are described in the article. It has been given the necessary theoretical feedbacks and practical advice which can improve the construction quality and reduce its price at the same time.

Key words: reliability, efficiency, probability analysis, operational life, maintainability.

Левченко Виктор Николаевич – кандидат технических наук, профессор, проректор по научно-педагогической и воспитательной работе ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Левченко Дмитрий Викторович – кандидат технических наук, доцент. Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Невгень Николай Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Храмогин Александр Андреевич – магистр ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Левченко Віктор Миколайович – кандидат технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної і виховної роботи ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Левченко Дмитро Вікторович – кандидат технічних наук, доцент. Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Невгень Микола Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Храмогін Олександр Андрійович – магістр ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Levchenko Victor – Ph. D. (Eng.), Professor, Vice-rector in education and pedagogic activities, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

Levchenko Dmitry – Ph. D. (Eng.), Associated Professor. Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

Nevgen Nikolai – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

Khramogin Aleksandr – the master, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.