

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ КАРТА ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ, ОСНОВАННОЙ НА ПРИМЕНЕНИИ ИНСТРУМЕНТОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В. В. Тур¹, Ю. С. Дордюк²

¹Д. т. н., профессор, заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов
УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail : profturvic@gmail.com

²К. т. н., заведующий кафедрой экономики и организации строительства
УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail : jul4onka@mail.ru

Реферат

Представлена разработанная количественная оценка, основанная на применении инструментов нечеткой логики, применяемая для оценивания технического состояния по зафиксированным в процессе визуального предварительного обследования внешним признакам, таким как внешний вид бетона, наличие и ширина раскрытия трещин, степень коррозионного повреждения арматуры, относительные прогибы.

На основании принятых параметров предложена оригинальная форма диагностической карты для ввода данных по результатам обследования реальных объектов. Полученные результаты оценки реальных строительных объектов с применением разработанной методики показали достаточно хорошее совпадение с результатами, сформулированными высококвалифицированными специалистами.

Ключевые слова: количественная оценка, нечеткая логика, эксплуатируемые конструкции, предварительное обследование, диагностическая карта, техническое состояние.

DIAGNOSTIC PROTOCOL OF INPUT PARAMETERS FOR ASSESSMENT TECHNICAL CONDITION OF STRUCTURES BASED ON THE USE OF FUZZY LOGIC TOOLS

V. V. Tur, Y. S. Dardziuk

Abstract

A developed quantitative assessment based on the use of fuzzy logic tools is presented, which is used to assess the technical condition according to external features recorded during a visual preliminary examination, such as the appearance of concrete, the presence and width of cracks, the degree of corrosion damage to reinforcement, relative deflections. .

Based on the accepted parameters, an original form of a diagnostic protocol is proposed for entering data based on the results of examining real objects. The re-

sults of the assessment of real construction objects using the developed methodology showed a fairly good agreement with the results formulated by highly qualified specialists.

Keywords: quantitative assessment, fuzzy logic, exploited structures, preliminary survey, diagnostic protocol, technical condition.

Введение

Процедура обследования существующих конструкций является, в общем случае, довольно сложным процессом, содержащим целый ряд неопределенностей различного уровня. Следует отметить, что вопросу проведения обследования, а далее, и оцениванию технического состояния эксплуатируемых конструкций уделяется пристальное внимание как при разработке Еврокодов нового поколения (т.н. Еврокоды G2), так и национальных норм.

Это обусловлено с одной стороны тем обстоятельством, что современное общество декларировало реализацию стратегию устойчивого развития, в рамках которой рассматривается возможность реконструкции и применение по новому назначению старых существующих зданий взамен строительства новых, требующих добычи и переработки сырьевых материалов. С другой стороны, значительная часть конструктивных систем из бетона, возведенных в конце 60-х – начале 70-х годов прошлого столетия, исчерпала проектный срок службы и нуждается в соответствующей оценке, относящейся к перспективам их дальнейшего использования (рисунок 1). Таким образом, как обследование технического состояния, так и оценивание их надежности остается по-прежнему чрезвычайно важной проблемой.



Рисунок 1 – Административное здание до и после реконструкции, расположенное на перекрестке улиц Янки Купалы и Пионерской в г.Бресте

2 Процедура оценивания технического состояния конструкций

В общем случае процесс оценивания технического состояния существующих конструкций принято подразделять на три характерных этапа [1, 2]:

1. Предварительное обследование (т.н. получение «быстрого знания»). На этом этапе, который основывается главным образом на визуальной инспекции и некоторых базовых измерениях (испытаниях) на натурном объекте возможно установить начальное состояние конструкции и выработать дальнейшие действия (например, принять решение о проведении расширенного детального обследования);

2. Детальное обследование требуется в тех случаях, когда результаты, полученные на стадии предварительного обследования, неполные и должны быть дополнены более исчерпывающими данными, включая, например, фактические значения механических свойств материалов, степени износа, уровни повреждений, влияющие на сопротивление элементов конструкции или конструкции в целом. Работы этого этапа сопровождаются, как правило, проведением лабораторных испытаний или испытаний, проводимых непосредственно на площадке, с применением приборов неразрушающего контроля, отбором проб и натурных нагружений.

3. Обработка и интерпретация данных, полученных в ходе обследования, позволяет произвести численную оценку надежности существующей конструкции.

Следует обратить внимание и еще на одно важное обстоятельство. Оценки, выполняемые на этапе визуального обследования, чаще всего являются субъективными и зависят от опыта и уровня квалификации специалиста, производящего инспекцию. Так, не всегда избыточная информация приводит к повышению уровня знания об обследуемом объекте, а может при увеличении затрат приводить к возрастанию неопределенностей. Разумный подход должен скорее ограничивать набор входных данных, выделяя из них наиболее значимые на основе критерия простой доступности (с англ. *criteria simple availability*).

В данном случае нечеткая логика (с англ. *fuzzy logic*) может рассматриваться как эффективный инструмент для обработки числовых данных и неопределенной информации с целью получения лингвистического описания состояния конструкции и прогноза ее дальнейшего поведения. Так, например, для этапа 1 (предварительное обследование) уровень неопределенности довольно высокий: доступная информация часто неполная или полностью отсутствует, косвенные данные, полученные без измерения, являются нечеткими и скорее подпадают под лингвистическую оценку. С этой точки зрения, нечеткая логика при наличии обоснованных функций принадлежности позволяет успешно трансформировать качественную оценку в лингвистические данные. Вместе с тем, как выбранные функции принадлежности, так и описательные правила должны базироваться не только на логических, но и физических взаимосвязях различных коррелируемых параметров, участвующих в оценивании технического состояния конструкции. В качестве таких параметров были выбраны следующие характеристики (параметры) состояния конструкции:

- внешний вид бетона, наличие и ширина раскрытия продольных коррозионных трещин в защитном слое;
- наличие и ширина раскрытия трещин нормального отрыва;

- степень коррозионного повреждения стальной арматуры;
- относительные прогибы.

Одним из наиболее важных элементов предварительного обследования является разработка экспертной системы, позволяющих классифицировать категорию состояния существующей конструкции. В связи с этим, актуальным и важным вопросом является разработка адекватной экспертной системы, применяемой для оценивания технического состояния по зафиксированным в процессе визуального (общего) предварительного обследования внешним признакам.

Как отмечалось выше, одним из основных условий разработки такой системы является сохранение логических связей между принятыми основными базовыми переменными. Нами были проведены исследования, касающиеся установления базовых зависимостей, связывающие параметры силового и коррозионного трещинообразования (ширину раскрытия, расположение, протяженность трещин) существующих конструкций из железобетона со степенью коррозионного повреждения арматуры, уровнем деградации прочности сцепления по контакту бетона и корродирующего арматурного стержня, прогибом конструктивных элементов [3]. Полученные зависимости, связывающие основные базисные переменные и соответствующие диапазоны их граничных значений, легли в основу разработки базы данных, которая состоит из 98 нечетких правил [4].

3 Диагностическая карта для ввода исходных данных

На основании принятых параметров состояния конструкции и установленных диапазонов изменения их соответствующих граничных значений предложена оригинальная форма диагностической карты для ввода исходных данных по результатам обследования реальных объектов (см. таблицу 1).

Таблица 1. – Диагностическая карта для ввода исходных данных по результатам обследования реальных объектов

Этап «Визуальная инспекция»				
Конструкция				
Общее описание конструкции				
Распространение нормальных/наклонных трещин	Показатель – протяженность повреждений линейного размера, в % от длины пролета			
	нет	единичное	многочисленное	массовое
	0	0,5–10	10–40	>40
<i>Результаты обследования</i>				
Положение нормальных/наклонных трещин	Показатель – положение в пролете			
	нет	в средней зоне	затрудняюсь ответить	в приопорной зоне
	0	1	1,5	2
<i>Результаты обследования</i>				
Распространение продольных коррозионных трещин	Показатель – протяженность повреждений линейного размера, в % от длины пролета			
	нет	локальное	частичное	сплошное
	0	0,5–10	10–40	>40
<i>Результаты обследования</i>				

Продолжение таблицы 1

Наличие коррозионных повреждений	Показатель – наличие повреждений			
	нет	затрудняюсь ответить	есть	
	0	0,5	1	
<i>Результаты обследования</i>				
Поверхностные повреждения бетона ¹⁾	Показатель – наличие повреждений			
	нет	затрудняюсь ответить	есть	
	0	0,5	1	
<i>Результаты обследования</i>				
Распространение продольных силовых трещин в сжатой зоне	Показатель – наличие повреждений			
	нет	затрудняюсь ответить	есть	
	0	0,5	1	
<i>Результаты обследования</i>				
Уровень повреждения конструкции				
Этап «Базовые испытания»				
Характеристика конструкции	Показатели			
	Длина конструкции, <i>l</i> , мм			
	Высота конструкции, <i>h</i> , мм			
	Толщина защитного слоя бетона, <i>c</i> , мм			
	Диаметр арматурного стержня, \varnothing , мм			
БЕТОН				
Отношение толщины защитного слоя бетона к диаметру арматурного стержня, <i>c/∅</i>	Показатель – отношение <i>c/∅</i>			
	малое	среднее	большое	
	<1	1–3	>3	
<i>Результаты обследования</i>				
Образование трещин нормального отрыва	Показатель – ширина раскрытия трещины нормального отрыва			
	малая	допустимая	превышенная	чрезмерная
	не более 0,05 мм	от 0,05 до 0,4 мм	от 0,4 до 1 мм	более 1 мм
<i>Результаты обследования</i>				
Образование продольных коррозионных трещин	Показатель – ширина раскрытия трещины продольной коррозионной			
	малая	ограниченная	чрезмерная	
	не более 0,05 мм	от 0,05 до 1 мм	более 1 мм	
<i>Результаты обследования</i>				
АРМАТУРА				
Степень коррозионного повреждения	Показатель – потеря массы арматурного стержня			
	малая	средняя	большая	
	до 1 %	от 1 до 3 %	более 3%	
<i>Результаты обследования</i>				
ДЕФОРМАЦИИ, ПЕРЕМЕЩЕНИЯ				
Прогибы, перемещения	Показатель – относительный прогиб			
	малый	допустимый	превышенный	чрезмерный
	не более 1/900	от 1/900 до 1/250	от 1/250 до 1/50	более 1/50
<i>Результаты обследования</i>				

Окончание таблицы 1

Уровень повреждения конструкции			
Наличие проектной документации ²⁾	нет	частичное	есть
	0	от 0 до 1	1
Класс повреждения конструкции			
Примечания: 1. Поверхностные повреждения бетона характеризуются изменением цвета и замасливанием поверхности бетона; появлением натечных образований (высолов, сталактитов и т.п.); шелушением, разрыхлением или выкрашиванием бетона, выколами, сколами или истиранием поверхности бетона; кавернами, раковинами, пустотами, инородными включениями в бетоне; повреждениями, вызванными морозной деструкцией, температурными воздействиями и др. 2. Параметр наличие проектной документации включает анализ объема предоставленной проектной, исполнительной и эксплуатационной документации, изучение условий эксплуатации и др.			

Результаты оценки существующего здания с несущими сборными железобетонными элементами и кладочными стенами представлены в качестве примера реализации предлагаемой методики количественной оценки.

Описание конструкций. Основным несущим элементом является сборная железобетонная балка со следующими геометрическими параметрами: высота 450 мм, ширина ребра 120 мм, ширина полки 200 мм и длина пролета 6 м. Продольная рабочая арматура 2Ø22 В400, толщина защитного слоя бетона 22 мм (отношение $c/\varnothing=1$). Сборные ребристые плиты имеют размеры в плане 1,5х6 м и высоту сечения 300 мм. Продольная рабочая арматура Ø16 В400, толщина защитного слоя бетона 32 мм (отношение $c/\varnothing=2$).

Оценочные значения, полученные в результате визуальной инспекции и базовых испытаний при анализе балок покрытия, перечислены в диагностической карте (таблица 2).

Таблица 2. – Пример записи исходных данных при анализе балок покрытия

Этап «Визуальная инспекция»					
Конструкция	Балки покрытия				
Общее описание конструкции	Конструкция пролетом 6 м, высота сечения 450 мм, ширина ребра 120 мм. Рабочая арматура 2Ø22 А-III, толщина защитного слоя бетона 22 мм				
Распространение нормальных/наклонных трещин	Показатель – протяженность повреждений линейного размера, в % от длины пролета				
	нет	единичное	многочисленное	массовое	
	0	0,5–10	10–40	>40	
<i>Результаты обследования</i>			35%		
Положение нормальных/наклонных трещин	Показатель – положение в пролете				
	нет	в средней зоне	затрудняюсь ответить	в приопорной зоне	в средней и приопорной зоне
	0	1	1,5	2	3
<i>Результаты обследования</i>					×

Продолжение таблицы 2

Распространение продольных коррозионных трещин	Показатель – протяженность повреждений линейного размера, в % от длины пролета			
	нет	локальное	частичное	сплошное
	0	0,5–10	10–40	>40
<i>Результаты обследования</i>	×			
Наличие коррозионных повреждений	Показатель – наличие повреждений			
	нет	затрудняюсь ответить	есть	
	0	0,5	1	
<i>Результаты обследования</i>			×	
Поверхностные повреждения бетона	Показатель – наличие повреждений			
	нет	затрудняюсь ответить	есть	
	0	0,5	1	
<i>Результаты обследования</i>			×	
Распространение продольных силовых трещин в сжатой зоне	Показатель – наличие повреждений			
	нет	затрудняюсь ответить	есть	
	0	0,5	1	
<i>Результаты обследования</i>	×			
Уровень повреждения конструкции		1 (критический)		
Этап «Базовые испытания»				
Характеристика конструкции		Показатели		
		Длина конструкции, l , мм		6000
		Высота конструкции, h , мм		450
		Толщина защитного слоя бетона, c , мм		22
		Диаметр арматурного стержня, \varnothing , мм		22
БЕТОН				
Отношение толщины защитного слоя бетона к диаметру арматурного стержня, c/\varnothing	Показатель – отношение c/\varnothing			
	малое	среднее	большое	
	<1	1–3	>3	
<i>Результаты обследования</i>		1		
Образование трещин нормального отрыва	Показатель – ширина раскрытия трещины нормального отрыва			
	малая	допустимая	превышенная	чрезмерная
	не более 0,05 мм	от 0,05 до 0,4 мм	от 0,4 до 1 мм	более 1 мм
<i>Результаты обследования</i>			0,8 мм	
Образование продольных коррозионных трещин	Показатель – ширина раскрытия трещины продольной коррозионной			
	малая	ограниченная	чрезмерная	
	не более 0,05 мм	от 0,05 до 1 мм	более 1 мм	
<i>Результаты обследования</i>	0			
АРМАТУРА				
Степень коррозионного повреждения	Показатель – потеря массы арматурного стержня			
	малая	средняя	большая	
	до 1 %	от 1 до 3 %	более 3%	
<i>Результаты обследования</i>	0			

Окончание таблицы 1

ДЕФОРМАЦИИ, ПЕРЕМЕЩЕНИЯ				
Прогибы, перемещения	Показатель – относительный прогиб			
	малый	допустимый	превышенный	чрезмерный
	не более 1/900	от 1/900 до 1/250	от 1/250 до 1/50	более 1/50
Результаты обследования			1/120	
Уровень повреждения конструкции		1 (критический)		
Наличие проектной документации	нет		частичное	есть
	0		от 0 до 1	1
	x			
Класс повреждения конструкции		3 (неработоспособное состояние)		

В таблице 3 представлены результаты оценки исследуемого здания с использованием предложенного алгоритма, реализованного с помощью *Fuzzy Logic MatLab Toolbox*.

Таблица 3. – Сравнение результатов

Конструктивный элемент	Результаты, полученные с использование системы экспертных оценок	Результаты, приведенные в отчетах об обследовании
Балки покрытия	неработоспособное состояние	неработоспособное состояние
Плиты покрытия	неработоспособное состояние	неработоспособное состояние

4 Заключение

Таким образом, как видно из таблицы 3, полученные результаты соответствуют оценке, сформулированной высококвалифицированными экспертами.

Список цитированных источников

1. Надежность строительных конструкций. Общие принципы = Надзейнасць будаўнічых канструкцый. Агульныя прынцыпы : СТБ ISO 2394-2007 (ISO 2394:1998, IDT). – Введ. 01.07.08. – Минск : Госстандарт, 2008. – 72 с.
2. Основы проектирования конструкций. Оценка существующих конструкций = Асновы праектавання канструкцый. Ацэнка існуючых канструкцый : СТБ ISO 13822-2017 (ISO 13822:2001, IDT). – Введ. 01.10.17. – Минск : Госстандарт, 2017. – 48 с.
3. Tur, V. V. Influence of the reinforcing bar corrosion level on the flexural crack's width in the existing structure / V. V. Tur, Y. S. Yalavaya // *Modern Engineering*. – 2019. – Vol. 1. – P. 1–9.
4. Tur, V. V. Assessment of existing reinforced concrete structures with usage of the fuzzy logic – based expert system / V. V. Tur, Y. S. Yalavaya // *Строительство и реконструкция*. – 2019. – № 5 (85). – С. 74–84.

Reference

1. Nadejnost stroitelnih konstrukcii. Obschie principi = Nadzeinasc budaŭnichih kanstrukcii. Agulniya principi : STB ISO 2394-2007 (ISO 2394:1998, IDT). – Vved. 01.07.08. – Minsk : Gosstandart, 2008. – 72 s.

2. *Osnovy proektirovaniya konstrukcii. Ocenka suschestvuyuschih konstrukcii = Asnovy praektavannya kanstrukcii. Acenka isnuyuchih kanstrukcii : STB ISO 13822-2017 (ISO 13822:2001, IDT). – Vved. 01.10.17. – Minsk : Gosstandart, 2017. – 48 s.*

3. Tur, V. V. Influence of the reinforcing bar corrosion level on the flexural crack's width in the existing structure / V. V. Tur, Y. S. Yalavaya // *Modern Engineering*. – 2019. – Vol. 1. – P. 1–9.

4. Tur, V. V. Assessment of existing reinforced concrete structures with usage of the fuzzy logic – based expert system / V. V. Tur, Y. S. Yalavaya // *Stroitelstvo i rekonstrukciya*. – 2019. – № 5 (85). – S. 74–84.

УДК 691:75

ВЛИЯНИЕ ГОРЯЧЕГО ЦИНКОВАНИЯ НА ХРУПКОЕ РАЗРУШЕНИЕ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА «UST»

А.Э. Юницкий¹, Ф.А. Верёвка², С.А. Городник³, Р.А. Малахов⁴

¹ *Генеральный конструктор ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь*

² *Магистр технических наук, ассистент кафедры «Строительные конструкции имени Тимофея Максимовича Пецоляда», инженер-проектировщик ЗАО «Струнные Технологии», Минск, Беларусь, verevka.fedor@mail.ru*

³ *Главный инженер ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь*

⁴ *Начальник отдела «Конструкции железобетонные» ЗАО «Струнные технологии» Минск, Беларусь*

Реферат

Одним из наиболее распространенных и эффективных способов защиты металлических конструкций от коррозии является горячее цинкование, однако в ряде научных работ отмечается, что технологический процесс данного вида антикоррозионной защиты способен негативно влиять на прочностные характеристики металлического изделия.

В статье выполнен обзор литературных источников, отмечающих возможные причины возникновения ряда повреждений внутренней структуры стальных элементов в результате горячего цинкования. Выполнен анализ рекомендаций нормативных документов по выполнению антикоррозионной защиты горячим цинкованием. Приведены примеры и выявлены наиболее вероятные причины хрупкого разрушения стальных элементов в результате горячей оцинковки. Даны рекомендации по возможному предотвращению негативных последствий, связанных с горячим цинкованием, как на этапе изготовления металлоконструкций, так и на этапе производства работ.

Ключевые слова: хрупкое разрушение, горячее цинкование, концентрация напряжений, остаточные напряжения, сварочные напряжения.