

## Количественная оценка технического состояния железобетонных конструкций с коррозионными и силовыми повреждениями

Количественная оценка технического состояния железобетонных конструкций с коррозионными и силовыми повреждениями основана на применении инструментов нечеткой логики и позволяет перейти к числовым оценкам степени повреждения строительных конструкций по результатам предварительного (общего) обследования. Для выполнения оценивания технического состояния конструкции рекомендуется заполнять диагностическую карту для ввода исходных данных. Диагностическая карта (таблица 1) состоит из двух основных этапов «Визуальная инспекция» и «Базовые испытания», по результатам оценивания которых определяется уровень повреждения. Полученные уровни повреждения с учетом наличия или отсутствия проектной документации определяют класс повреждения конструкции.

Пример записи исходных данных представлен в таблице 2.

**Таблица 1 – Диагностическая карта**

<b>Этап «Визуальная инспекция»</b>											
<b>Конструкция</b>											
Общее описание конструкции											
Распространение нормальных/наклонных трещин	Показатель – протяженность повреждений линейного размера, в % от длины пролета <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><b>нет</b></td> <td><b>единичное</b></td> <td><b>многочисленное</b></td> <td><b>массовое</b></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0,5–10</td> <td>10–40</td> <td>&gt;40</td> </tr> </table>	<b>нет</b>	<b>единичное</b>	<b>многочисленное</b>	<b>массовое</b>	0	0,5–10	10–40	>40		
<b>нет</b>	<b>единичное</b>	<b>многочисленное</b>	<b>массовое</b>								
0	0,5–10	10–40	>40								
<i>Результаты обследования</i>											
Положение нормальных/наклонных трещин	Показатель – положение в пролете <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><b>нет</b></td> <td><b>в средней зоне</b></td> <td><b>затрудняюсь ответить</b></td> <td><b>в припорной зоне</b></td> <td><b>в средней и припорной зоне</b></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1,5</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> </table>	<b>нет</b>	<b>в средней зоне</b>	<b>затрудняюсь ответить</b>	<b>в припорной зоне</b>	<b>в средней и припорной зоне</b>	0	1	1,5	2	3
<b>нет</b>	<b>в средней зоне</b>	<b>затрудняюсь ответить</b>	<b>в припорной зоне</b>	<b>в средней и припорной зоне</b>							
0	1	1,5	2	3							
<i>Результаты обследования</i>											
Распространение продольных коррозионных трещин	Показатель – протяженность повреждений линейного размера, в % от длины пролета <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><b>нет</b></td> <td><b>локальное</b></td> <td><b>частичное</b></td> <td><b>сплошное</b></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0,5–10</td> <td>10–40</td> <td>&gt;40</td> </tr> </table>	<b>нет</b>	<b>локальное</b>	<b>частичное</b>	<b>сплошное</b>	0	0,5–10	10–40	>40		
<b>нет</b>	<b>локальное</b>	<b>частичное</b>	<b>сплошное</b>								
0	0,5–10	10–40	>40								
<i>Результаты обследования</i>											
Наличие коррозионных повреждений	Показатель – наличие повреждений <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><b>нет</b></td> <td><b>затрудняюсь ответить</b></td> <td><b>есть</b></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0,5</td> <td>1</td> </tr> </table>	<b>нет</b>	<b>затрудняюсь ответить</b>	<b>есть</b>	0	0,5	1				
<b>нет</b>	<b>затрудняюсь ответить</b>	<b>есть</b>									
0	0,5	1									
<i>Результаты обследования</i>											
Поверхностные повреждения бетона <sup>(1)</sup>	Показатель – наличие повреждений <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><b>нет</b></td> <td><b>затрудняюсь ответить</b></td> <td><b>есть</b></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0,5</td> <td>1</td> </tr> </table>	<b>нет</b>	<b>затрудняюсь ответить</b>	<b>есть</b>	0	0,5	1				
<b>нет</b>	<b>затрудняюсь ответить</b>	<b>есть</b>									
0	0,5	1									
<i>Результаты обследования</i>											
Распространение продольных силовых трещин в бетоне сжатой зоны элемента	Показатель – наличие повреждений <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><b>нет</b></td> <td><b>затрудняюсь ответить</b></td> <td><b>локальное</b></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0,5</td> <td>1</td> </tr> </table>	<b>нет</b>	<b>затрудняюсь ответить</b>	<b>локальное</b>	0	0,5	1				
<b>нет</b>	<b>затрудняюсь ответить</b>	<b>локальное</b>									
0	0,5	1									
<i>Результаты обследования</i>											
<b>Уровень повреждения конструкции</b>											
<b>Этап «Базовые испытания»</b>											
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, $\frac{c}{\varnothing}$	Показатель – отношение $\frac{c}{\varnothing}$			
	<b>малое</b>	<b>среднее</b>	<b>большое</b>	
	<1	1–3	>3	
<i>Результаты обследования</i>				
Образование трещин нормального отрыва	Показатель – ширина раскрытия трещины нормального отрыва			
	<b>малая</b>	<b>допустимая</b>	<b>превышенная</b>	<b>чрезмерная</b>
	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			
	<b>малая</b>	<b>ограниченная</b>	<b>чрезмерная</b>	
	не более 0,05 мм	от 0,05 до 1 мм	более 1 мм	
<i>Результаты обследования</i>				
<b>АРМАТУРА</b>				
Степень коррозионного повреждения	Показатель – потеря массы арматурного стержня			
	<b>малая</b>	<b>средняя</b>	<b>большая</b>	
	до 1 %	от 1 до 3 %	более 3%	
<i>Результаты обследования</i>				
<b>ДЕФОРМАЦИИ, ПЕРЕМЕЩЕНИЯ</b>				
Прогибы, перемещения	Показатель – относительный прогиб			
	<b>малый</b>	<b>допустимый</b>	<b>превышенный</b>	<b>чрезмерный</b>
	не более 1/900	от 1/900 до 1/250	от 1/250 до 1/50	более 1/50
<i>Результаты обследования</i>				
<b>Уровень повреждения конструкции</b>				
Наличие проектной документации <sup>(2)</sup>	<b>нет</b>	<b>частичное</b>	<b>есть</b>	
	0	от 0 до 1	1	
<b>Класс повреждения конструкции</b>				
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.				

**Таблица 2 – Диагностическая карта с примером записи исходных данных**

<b>Этап «Визуальная инспекция»</b>					
<b>Конструкция</b>	<b>Балки покрытия</b>				
Общее описание конструкции	Сборная железобетонная конструкция пролетом 6 м, высота сечения 450 мм, ширина ребра 120 мм, ширина полки 200 мм, высота полки 120 мм. Рабочая арматура 2Ø22 A-III, поперечная арматура Ø6 A-I шаг 100 мм				
Распространение нормальных/наклонных трещин	Показатель – протяженность повреждений линейного размера, в % от длины пролета				
	<b>нет</b>	<b>единичное</b>	<b>многочисленное</b>	<b>массовое</b>	
	0	0,5–10	10–40	>40	
<i>Результаты обследования</i>					
Положение нормальных/наклонных трещин	Показатель – положение в пролете				
	<b>нет</b>	<b>в средней зоне</b>	<b>затрудняюсь ответить</b>	<b>в приопорной зоне</b>	<b>в средней и приопорной зоне</b>
	0	1	1,5	2	3
<i>Результаты обследования</i>					
Распространение продольных коррозионных трещин	Показатель – протяженность повреждений линейного размера, в % от длины пролета				
	<b>нет</b>	<b>локальное</b>	<b>частичное</b>	<b>сплошное</b>	
	0	0,5–10	10–40	>40	
<i>Результаты обследования</i>					
Наличие коррозионных повреждений	Показатель – наличие повреждений				
	<b>нет</b>	<b>затрудняюсь ответить</b>		<b>есть</b>	
	0	0,5		1	
<i>Результаты обследования</i>					
<b>Результаты обследования</b>					
<b>х</b>					

Поверхностные повреждения бетона <sup>(1)</sup>	Показатель – наличие повреждений			
	<b>нет</b>	<b>затрудняюсь ответить</b>	<b>есть</b>	
	0	0,5	1	
<i>Результаты обследования</i>			<b>x</b>	
Распространение продольных силовых трещин в бетоне сжатой зоны элемента	Показатель – наличие повреждений			
	<b>нет</b>	<b>затрудняюсь ответить</b>	<b>локальное</b>	
	0	0,5	1	
<i>Результаты обследования</i>	<b>x</b>			
<b>Уровень повреждения конструкции</b>	<b>1 (критический)</b>			
<b>Этап «Базовые испытания»</b>				
Характеристика конструкции	Показатели			
	Длина конструкции, <i>l</i> , мм		6000	
	Высота конструкции, <i>h</i> , мм		450	
	Толщина защитного слоя бетона, <i>c</i> , мм		22	
	Диаметр арматурного стержня, $\varnothing$ , мм		22	
<b>БЕТОН</b>				
Отношение толщины защитного слоя бетона к диаметру арматурного стержня, $\frac{c}{\varnothing}$	Показатель – отношение $\frac{c}{\varnothing}$			
	<b>малое</b>	<b>среднее</b>	<b>большое</b>	
	<1	1–3	>3	
<i>Результаты обследования</i>		<b>1</b>		
Образование трещин нормального отрыва	Показатель – ширина раскрытия трещины нормального отрыва			
	<b>малая</b>	<b>допустимая</b>	<b>превышенная</b>	<b>чрезмерная</b>
	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>			<b>0,8</b>	
Образование продольных коррозионных трещин	Показатель – ширина раскрытия трещины продольной коррозионной			
	<b>малая</b>	<b>ограниченная</b>	<b>чрезмерная</b>	
	не более 0,05 мм	от 0,05 до 1 мм	более 1 мм	
<i>Результаты обследования</i>	<b>0</b>			
<b>АРМАТУРА</b>				
Степень коррозионного повреждения	Показатель – потеря массы арматурного стержня			
	<b>малая</b>	<b>средняя</b>	<b>большая</b>	
	до 1 %	от 1 до 3 %	более 3%	
<i>Результаты обследования</i>	<b>0</b>			
<b>ДЕФОРМАЦИИ, ПЕРЕМЕЩЕНИЯ</b>				
Прогибы, перемещения	Показатель – относительный прогиб			
	<b>малый</b>	<b>допустимый</b>	<b>превышенный</b>	<b>чрезмерный</b>
	не более 1/900	от 1/900 до 1/250	от 1/250 до 1/50	более 1/50
<i>Результаты обследования</i>			<b>1/120 (0.00833)</b>	
<b>Уровень повреждения конструкции</b>	<b>1 (критический)</b>			
Наличие проектной документации	<b>нет</b>	<b>частичное</b>	<b>есть</b>	
	0	от 0 до 1	1	
	<b>x</b>			
<b>Класс повреждения конструкции</b>	<b>3 (неработоспособное состояние)</b>			
Примечание – Числа и символы, выделенные жирным курсивом, необходимо вносить как исходные данные для расчета степени повреждения конструкции				

## Реализация экспертной системы в программной среде **MATLAB**

Расчет степени повреждения строительных конструкций по результатам обследования реализуется в программной среде **MATLAB** с использованием пакета расширения *Fuzzy Logic Toolbox*.

Для работы с программой необходимо выполнить следующие действия:

1. Загрузить файлы «Визуальная инспекция», «Базовые испытания», «Класс повреждения».

2. Открыть программную среду *MATLAB* и для вызова редактора системы нечеткого вывода в окне команд набрать имя *fuzzy* (на экране появится графический интерфейс редактора FIS).

3. Выполнить команду меню File>Import>From disk и выбрать загруженный файл для соответствующего этапа.

4. В появившемся окне открыть программу просмотра правил, выполнив команду View>Rules.

5. Ввести в поле ввода Input заполненные данные из диагностической карты соответствующего этапа (например, в представленном примере (см. таблицу 2) для этапа «Визуальная инспекция» исходные данные [35 3 0 1 1 0]; для этапа «Базовые испытания» – [1 0.8 0 0 0.00833]; для этапа «Класс повреждения конструкции» – [1 1 0]).

6. Результат вывода отобразится в правой верхней части окна.

### Описание полученных результатов

Уровень повреждения конструкции, получаемый по результатам оценивания технического состояния на этапах «Визуальная инспекция» и «Базовые испытания», характеризуется следующими параметрами, приведенными в таблице 3. Класс повреждения конструкции, получаемый по результатам всех этапов инспектирования (обследования), и соответствующие требования к ремонтным работам описаны в таблице 4.

**Таблица 3 – Уровни повреждения конструкции**

Уровень повреждения	Наименование	Характеристика
1	Критический	Уровень повреждения, при котором дальнейшая эксплуатация конструктивного элемента является небезопасной и может повлечь полное обрушение конструкции. Требует немедленного устранения.
2	Значительный	Уровень повреждения, характеризующийся многочисленными дефектами, при котором существенно ухудшаются эксплуатационные характеристики конструкции, надежность и долговечность. Требует устранения.
3	Малозначительный	Уровень повреждения, характеризующийся единичными дефектами, которые существенно не влияют на эксплуатационные характеристики конструкции.

**Таблица 4 – Классы повреждения конструкции**

Класс повреждения	Техническое состояние	Требования к ремонтным работам
1	Работоспособное	Повреждения и дефекты устраняются в процессе технического обслуживания и текущего ремонта в соответствии с рекомендациями, представленными в техническом заключении.

		Ограничений по эксплуатации нет.
2	Ограниченно работоспособное	Требуется детальное обследование. Повреждения и дефекты оказывают некоторое влияние на несущую способность конструкции, но опасность внезапного обрушения отсутствует. Необходим ремонт и усиление конструкции в соответствии с рекомендациями по восстановлению, описанными в техническом заключении. Эксплуатация конструкции допускается при строгом соблюдении всех эксплуатационных требований.
3	Неработоспособное	Требуется детальное обследование. Повреждения и дефекты свидетельствуют о значительной степени поврежденности конструкции. Необходимо срочное усиление или замена конструкции (уточняется при детальном обследовании). Необходимо ограждение опасной зоны, ограничение нагрузок, устройство временных креплений (при необходимости). Решение о запрете эксплуатации опасной зоны или здания в целом принимается в ходе обследования аттестованным специалистом.

Разработчики:  
Дордюк Юлия Сергеевна  
*кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой экономики и организации строительства*

Телефон: + 375 (29) 791 30 11

E-mail: [jul4onka@mail.ru](mailto:jul4onka@mail.ru)

Тур Виктор Владимирович  
*доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов*

Телефоны: + 375 (162) 32 17 57; + 375 (162) 32 17 88 (факс)

E-mail: [innovation@bstu.by](mailto:innovation@bstu.by)