

## Изменение несущей способности конструкций производственных зданий при повреждении и деградации поперечного сечения

Т.А. Крахмальный

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени  
М. И. Платова, г. Новочеркасск*

**Аннотация:** Длительная эксплуатация здания и не своевременный ремонт приводят к появлению повреждений в несущих конструкциях, таких как разрушение антикоррозийной защиты, поверхностной коррозии, слоистой и глубокой коррозии металла. В железобетонных колоннах частыми повреждениями бывают трещины вдоль рабочей арматуры, сколы бетона по углам с обнажением арматурных стержней, отслоение защитного слоя бетона, коррозия рабочей арматуры. При этом возникает вопрос о влиянии выявленных повреждений на техническое состояние конструкции. Обследование производственных зданий и сооружений проводится с целью определения технического состояния строительных конструкций и получения количественных показателей качества и несущей способности элементов здания и всего здания в целом. В статье приводятся результаты расчета потери потенциальной несущей способности металлической колонны и балки, а также рассмотрен процесс деградации железобетонного поперечного сечения и потеря несущей способности колонны при развитии коррозии арматурных стержней. Статья будет актуальна для специалистов и экспертов в области экспертизы промышленной безопасности и обследовании зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** металлические колонны, металлические балки покрытия, потеря несущей способности, поверхностная коррозия металла колонны, глубокая коррозия металла колонны, техническое состояние балок покрытия, коррозия балок покрытия, деградация сечения железобетонной колонны, сколы бетона, обнажение и коррозия арматурных стержней, техническое состояние колонны при повреждении.

В настоящее время нормативной основой для контроля технического состояния зданий и сооружений и осуществления проектных работ по реконструкции, капитальному ремонту и демонтажу является ГОСТ 31937-2024 «Правила обследования и мониторинга технического состояния». Приложения «В» и «Г» к ГОСТу-31937-2024 приводят влияние дефектов и повреждений на техническое состояние железобетонных и металлических конструкций, но требуется обоснование технического состояния результатами расчетов.

Рассмотрим одно из частых повреждений металлических колонн производственных зданий [1, 2] – повреждение «Уменьшение поперечного сечения элементов за счет вырезыв, смятий и коррозии». Согласно

приложению «Г» ГОСТа, данное повреждение является аварийным для металлических конструкций, причем в нем не указаны возможности назначения других категорий: работоспособной или ограниченно-работоспособной и, соответственно, не указаны границы перехода от одной категории в другую. Из курса «Сопротивления материалов» известна формула оценки несущей способности сжатого элемента (колонны) в зависимости от площади сечения:

$$N_{adm} \leq A \cdot \sigma_{adm} \quad (1)$$

где  $N_{adm}$  – предельно допустимое значение несущей способности;  $A$  – площадь поперечного сечения,  $\sigma_{adm}$  – максимально допустимое нормальное напряжение.

Из формулы (1) очевидно, что при уменьшении площади сечения металлической колонны в результате процесса коррозии, снижается и потенциальная несущая способность. Проведенные расчеты несущей способности колонн, выполненных из прокатных двутавров по ГОСТ 57837-2017 «Двутавры стальные горячекатанные с параллельными гранями полок» показали зависимость уменьшения площади сечения и несущей способности при поверхностной коррозии глубиной 0,5 мм и 1,0 мм и глубокой коррозии от 1,0 мм до 3 мм (таблица 1). В таблице:  $h$  – высота сечения,  $b$  – ширина полки,  $s$  – толщина стенки,  $t$  – толщина полки,  $A$  – площадь поперечного сечения.

Полученные результаты сравним со значениями поврежденности, приведенными А.Н. Добромысловым [3, 4]. Поврежденность конструкции до 5% соответствует исправному техническому состоянию, от 5 до 15% – работоспособному техническому состоянию, от 15 до 25% – ограниченно-работоспособному состоянию, от 25 до 35% – неработоспособному состоянию и поврежденность свыше 35% – аварийному состоянию.

Из таблицы (1) получаем: для металлических колонн из прокатных двутавров малого поперечного сечения (менее 30K10) коррозия глубиной 0,5 мм допустима, техническое состояние работоспособное, коррозия глубиной 0,5-1,5 мм приводит к ограниченно работоспособному состоянию, более 1,5 мм приводит к недопустимому и аварийному состоянию. Для колонн, выполненных из больших двутавров (сечением более 30K10), коррозия глубиной до 1,5 мм допустима и не нарушает исправного состояния, от 1,5 мм до 3,0 мм приводит к работоспособному состоянию, от 3 до 5 мм существенно влияет на несущую способность колонны, а свыше 5 мм приводит к ее аварийному состоянию.

Таблица 1 – Расчет потери несущей способности колонновых двутавров при коррозии в 0,5 - 5мм.

№	Размеры сечения					Потеря площади сечения при толщине коррозии %					
	h, мм	b, мм	s, мм	t, мм	A, см	0,5	1	2	3	4	5
15K1	147	149	6	8,5	34,17	12,85	25,70	51,39	77,09	100	-
20K1	196	199	6,5	10	52,69	11,15	22,30	44,60	66,90	89,20	-
25K1	246	249	8	12	79,72	9,23	18,46	36,93	55,39	73,86	92,32
30K1	198	299	9	14	110,8	8,01	16,01	32,02	48,03	64,04	80,05
30K10	328	359	18	29	259,6	3,96	7,92	15,84	23,76	31,68	39,60
30K20	422	387	47	76	717,92	1,60	3,20	6,40	9,60	12,80	16,00
35K1	342	348	10	15	139,03	7,39	14,79	29,58	44,36	59,15	73,94
35K10	396	364	26,5	42	391,87	2,80	5,60	11,20	16,80	22,41	28,01
35K20	520	409	65	104	1056,95	1,20	2,40	4,82	7,23	9,64	12,04
40K1	394	398	11	18	186,81	6,31	12,62	25,24	37,87	50,49	63,11
40K10	484	374	39	63	615,01	1,94	3,88	7,76	11,64	15,52	19,40
40K19	668	435	69	155	1696,33	0,85	1,70	3,40	5,10	6,80	8,50

Для металлических подкрановых балок наиболее распространенным повреждение является поверхностная коррозия, слоистая коррозия поток и стенок балки, сквозная коррозия ребер жесткости [5]. При этом для изгибаемых элементов напряжения определяются по следующей формуле:

$$|\sigma|_{\max} = \frac{|M_{\max}|}{W_x} \leq \sigma_{\text{adm}} \quad (2)$$

где  $W_x$  – осевой момент сопротивления, который зависит от размеров поперечного сечения и также будет меняться при развитии коррозии.

Расчеты снижения осевого момента сопротивления в результате коррозии металлических элементов приведены в таблице 2.

Анализ результатов показал, что для всех двутавровых балок, кроме самого крупного, незначительная коррозия в 0,5 мм приводит к потере несущей способности до 15%, что соответствует работоспособному состоянию, для балок двутаврового сечения 70Б4 потеря несущей способности не превышает 5% и состояние остается исправным. При коррозии в изгибаемых элементах до 1,0 мм техническое состояние больших сечений от 35Б1 до 70Б4 является работоспособным, а потеря несущей способности составляет до 15%, для малых сечений от 10Б1 до 35Б1 потеря несущей способности составляет от 15 до 25 %, что соответствует ограниченно работоспособному состоянию.

Таблица 2 – Расчет потери несущей способности балочных двутавров в результате коррозии

№	Размеры сечения						Уменьшение осевого момента сопротивления в зависимости от коррозии											
	h,	b,	s,	t,	A,	W <sub>x</sub>	0,5 мм		1 мм		2 мм		3 мм		4 мм			
	мм	мм	мм	мм	см	см <sup>3</sup>	W <sub>x</sub>	%	W <sub>x</sub>	%	W <sub>x</sub>	%	W <sub>x</sub>	%	W <sub>x</sub>	%		
10Б1	100	55	4,1	5,7	10,32	34,2	27,8	18,66	22,7	33,45	8,6	74,99		100		100		
12Б1	118	64	3,8	5,1	11,03	43,8	34,7	20,76	25,6	41,56	7,9	81,94		100		100		
14Б1	137	73	3,8	5,6	13,39	63,3	51,1	19,26	38,9	38,56	15,2	75,97		100		100		
16Б1	157	82	4	5,9	16,18	87,8	71,7	18,38	55,6	36,70	23,7	73,07		100		100		
18Б1	177	91	4,3	6,5	19,58	120,1	100,0	16,70	79,9	33,44	44,4	63,07	8,0	93,30		100		
20Б1	200	100	5,5	8	27,16	184,4	159,5	13,53	134,5	27,06	84,5	54,17	38,0	79,38		100		
25Б1	248	124	5	8	32,68	285,3	246,0	13,77	206,8	27,53	128,1	55,12	59,8	79,04		100		
30Б1	298	149	5,5	8	40,8	424	366,8	13,50	309,4	27,03	194,4	54,16	87,6	79,34		100		
35Б1	346	174	6	9	52,68	641,3	567,2	11,56	489,2	23,72	332,9	48,09	178,2	72,22		100		
40Б1	396	199	7	11	71,16	1011	910,0	10,00	809,2	19,97	607,3	39,93	405,1	59,94	229,7	77,28		
45Б1	446	199	8	12	84,3	1287	1168	9,27	1050	18,42	814,3	36,72	578,5	55,05	345,5	73,15		
50Б1	492	199	8,8	12	92,38	1498	1363	9,01	1227	18,05	956,2	36,15	688,1	54,05	415,9	72,23		
55Б1	543	220	9,5	13,5	113,36	2051	1884	8,12	1718	16,23	1385	32,46	1052	48,70	719	64,94		
60Б1	596	199	10	15	120,45	2306	2132	7,54	1958	15,07	1611	30,12	1264	45,17	917,7	60,20		
70Б1	691	260	12	15,5	164,74	3645	3391	6,96	3138	13,90	2632	27,78	2126	41,66	1620	55,54		
70Б4	710	262	17	25	248,14	5625	5375	4,44	5124	8,91	4622	17,83	4120	26,75	3619	35,66		

Коррозия изгибаемых элементов в 2 мм существенно влияет на несущую способность и для сечений от 10Б1 до 55Б1 потеря несущей

способности превышает 35%, что соответствует аварийному состоянию, для крупных сечений более 55Б1 состояние является неработоспособным. Повреждение коррозией металлических строительных конструкций, подверженных изгибу на глубину более 3 мм снижает несущую способность на 26-100%, что приводит к неработоспособному или аварийному состоянию.

В сборных железобетонных колоннах производственных зданий наиболее распространенными повреждениями являются сколы по углам и граням, замачивание основания и коррозия рабочей арматуры, отслоение защитного слоя бетона и обнажение арматурного каркаса [6, 7]. Рассмотрим железобетонные колонны производственных зданий согласно серии 1.020.1-4 «Конструкции рамного каркаса межвидового применения для многоэтажных общественных зданий, производственных и вспомогательных зданий промышленных предприятий». Сечение колонн выполнено квадратным с размерами 400х400 мм, класс бетона применяется В22,5, В30 и В40. Армирование выполнено четырьмя или восемью стержнями, диаметры стержней от 16 до 32 мм, толщина защитного слоя 50 мм (рисунок 1).

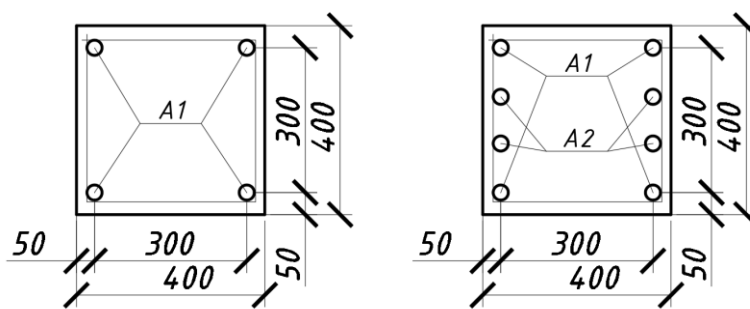


Рисунок 1 – Размеры сечения колонн по серии 1.020.1-4

Из курса «Железобетонные конструкции» и других нормативных источников [8] известна формула для определения несущей способности колонны:

$$N = R_s \times A_s + R_b \times (A_b - A_s) \quad (3)$$

где  $R_s$  – предел прочности арматуры на сжатие;  $A_s$  – площадь поперечного сечения арматурных стержней;  $R_b$  – предел прочности бетона на сжатие;  $A_b$  – площадь поперечного сечения бетона. Для бетона В22,5 принимаем предел прочности  $R_b = 13$  МПа, для арматуры принимаем  $R_s = 400$  МПа (согласно серии 1.020.1-4 арматура Ат-IVC).

Рассмотрим процесс деградации поперечного сечения [9]: вначале рассчитаем несущую способность неповрежденного сечения, потом несущую способность после скола по углу на толщину защитного слоя (размером 50x50 мм), потом коррозию одного стержня от 1 до 3 мм, затем скол по второму углу и коррозию второго стержня при продолжающейся коррозии первого, затем отслоение защитного слоя бетона по одной грани и прогрессирующую коррозию с одной стороны, потом сколы бетона по второй стороне и коррозию всех четырех стержней.

Результаты расчета показали (таблица 3), что одиночный скол по углу колонны не существенно влияет на несущую способность, потеря составляет 1-1,5 % от общей несущей способности. Коррозия одного стержня арматуры до 3 мм в результате скола и его обнажения тоже не существенно влияет на несущую способность. Потеря несущей способности составляет 2,5-3,0%, категория технического состояния колонны остается исправной.

Таблица 3 – Потеря несущей способности железобетонной колонны при деградации сечения

Событие	Сечение при Н=40 см.		Сечение арматуры (мм)				As (мм²)	Несущая способность		Техническое состояние
	В, (см)	Ab, (см)	1-й стерж	2-й стерж	3-й стерж	4-й стерж		N (кН)	Потеря (%)	
			Ø мм	Ø мм	Ø мм	Ø мм				
Полная	40	1600	16	16	16	16	803,84	2391	0	Исправное
Скол 1	40	1575	16	16	16	16	803,84	2356	1,36	
кор.1 мм	40	1575	15	16	16	16	779,50	2349	1,79	
кор.2 мм	40	1575	14	16	16	16	756,74	2340	2,19	
кор.3 мм	40	1575	13	16	16	16	735,55	2331	2,56	
Скол 2	40	1550	13	16	16	16	735,55	2299	3,96	
Кор. 4+1	40	1550	12	15	16	16	691,59	2281	4,78	
Кор. 5+2	40	1550	11	14	16	16	650,77	2265	5,53	Работоспособное
Кор. 6+3	40	1550	10	13	16	16	613,09	2250	6,24	

Отслоение	35	1400	10	13	16	16	613,09	2055	14,95	
Кор. 7+4	35	1400	9	12	16	16	578,55	2041	17,04	Ограничен но работоспо собное
Кор. 8+5	35	1400	8	11	16	16	547,15	2028	17,77	
Скол 3	35	1375	8	11	16	16	547,15	1996	19,48	
Кор. 9+6+1	35	1375	7	10	15	16	494,55	1975	20,85	
Кор. 10+7+2	35	1375	6	9	14	16	446,67	1956	22,06	
Кор. 11+8+3	35	1375	5	8	13	16	403,49	1938	23,15	Неработос пособное
Скол 4	35	1350	5	8	13	16	403,49	1906	25,03	
Кор. 12+9+4+1	35	1350	4	7	12	15	340,69	1881	26,77	
Кор. 13+10+5+2	35	1350	3	6	11	14	284,17	1858	28,33	
Кор. 14+11+6+3	35	1350	2	5	10	13	233,93	1838	29,76	Аварийное
Отслоение 2	30	1150	2	5	10	13	233,93	1578	44,23	
Кор. 15+12+7+3	30	1150	1	4	9	12	189,97	1561	52,63	

При появлении второго скола площадь рабочего сечения колонны уменьшается, но потеря несущей способности не превышает 4% и техническое состояние колонны остается тоже исправной. Техническое состояние изменяется на работоспособное при коррозии двух стержней и потери несущей способности колонны от 4 до 6,5 %. Значительное снижение несущей способности колонны происходит при отслоении защитного слоя бетона по одной грани колонны. Несущая способность снижается до 15%, что соответствует нижнему пределу несущей способности. Дальнейшее развитие коррозии двух стержней приводит к ограниченно работоспособному состоянию колонны и потери несущей способности от 15 до 25%.

Из расчетов делаем вывод, что наличие трех сколов и существенная коррозия двух арматурных стержней с поверхностной коррозией третьего приводит к потере несущей способности от 20 до 25 % и переводит колонну в ограниченно работоспособное состояние. Для аварийного состояния характерно наличие сколов по всем углам сечения, существенная коррозия арматурных стержней, наличие отслоений защитного слоя бетона.

Аналогичный расчет для колонн с квадратным поперечным сечением 400x400 мм и армированием четырьмя стержнями диаметром 28 мм показал схожие цифры с отклонением  $\pm 0,5\%$ . Следовательно, данные результаты



расчета можно принять для всех железобетонных колонн квадратного сечения.

Рассмотрим несущую способность двухветвевой железобетонной колонны КД II-1 по серии КЭ-01-52 «Сборные железобетонные двухветвевые колонны одноэтажных производственных зданий». Сечение колонны выполнено размером 1000х400 мм из двух ветвей размерами 200х400 мм, расстояние между ветвями 600 мм, армирование каждой ветви выполнено четырьмя стержнями диаметром 16 мм (рисунок 2, слева). Марка бетона М300 (класс В22,5). При этом необходимо учитывать, что каждая из ветвей работает отдельно, так как подкрановая ветвь воспринимает нагрузку от мостового крана, а вторая ветвь воспринимает нагрузку от ограждающих конструкций (или от второго крана, если колонна центральная).

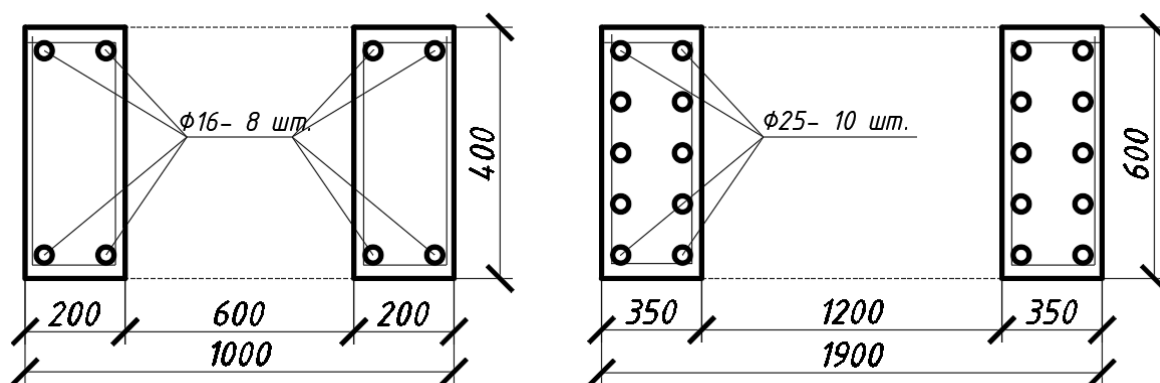


Рисунок 2 – Сечение колонн КД II-1 и КД II-36 по серии КЭ-01-52

Таблица 4 – Потеря несущей способности одной ветви железобетонной колонны при деградации сечения

Событие	Сечение ветви при Н=40 см.		Сечение арматуры					Несущая способность		Техническое состояние
	В, см	Ab, см <sup>2</sup>	1-й стер. Ø мм	2-й стер. Ø мм	3-й стер. Ø мм	4-й стер. Ø мм	As (мм <sup>2</sup> )	N (кН)	Потеря (%)	
Полная	20	800	16	16	16	16	803,84	1351	0	Исправное
Скол 1 50х50 мм	20	775	16	16	16	16	803,84	1319	2,41	Работоспособное
Кор. 1 мм	20	775	15	16	16	16	779,51	1309	3,13	
Кор. 2 мм	20	775	14	16	16	16	756,74	1300	3,80	
Кор. 3 мм	20	775	13	16	16	16	735,55	1291	4,43	Ограниченно
Скол 2 50х50 мм	20	750	13	16	16	16	735,55	1259	6,84	



Кор. 4+1	20	750	12	15	16	16	691,59	1241	8,13	работоспособное
Кор. 5+2	20	750	11	14	16	16	650,77	1225	9,34	
Кор. 6+3	20	750	10	13	16	16	613,09	1210	10,46	
Отслоение 50x100 мм	15	600	10	13	16	16	613,09	1015	23,04	Не работоспособное
Кор. 7+4	15	600	9	12	16	16	578,55	1001	25,91	
Кор. 8+5	15	600	8	11	16	16	547,15	988	26,84	Аварийное
Скол 3	15	575	8	11	16	16	547,15	956	29,25	
Кор. 9+6+1	15	575	7	10	15	16	494,55	935	30,81	
Кор. 10+7+2	15	575	6	9	14	16	446,67	916	32,22	
Кор. 11+8+3	15	575	5	8	13	16	403,49	898	33,50	
Скол 4	15	550	5	8	13	16	403,49	866	35,91	
Кор. 12+9+6+1	15	550	4	7	12	15	340,69	841	37,77	
Кор. 13+10+7+2	15	550	3	6	11	14	284,17	818	39,44	
Кор. 13+10+7+2	15	550	2	5	10	13	233,93	798	40,93	
Отслоение 2	10	350	2	5	10	13	233,93	538	60,17	

Результаты расчета (таблица 4) показали схожие результаты. Для двухветвевых колонн допустимы мелкие сколы с обнажением рабочей арматуры, несущая способность колонны при этом уменьшается до 2,5%, допустима коррозия одного из стержней колонны до 3 мм, техническое состояние колонны остается работоспособным, а потеря несущей способности не превышает 5%. Наличие двух сколов и коррозия арматурных стержней переводит колонну в работоспособное состояние, так как потеря несущей способности составляет от 5 до 15%. Повреждение защитного слоя бетона и его отслоение приводит к ограниченно работоспособному состоянию конструкции и потере несущей способности ветви колонны в диапазоне от 15 - 25%, а развитие коррозии приводит к недопустимому или аварийному состоянию колонны.

Для двухветвевой железобетонной колонны марки КД II-36 по серии КЭ-01-52 сечение выполнено размером 1900x600 мм из двух ветвей, каждая из которых 350x600 мм и армирована десятью стержнями диаметром 25 мм (рисунок 2, справа) полученные результаты совпадают с результатами, приведенными в предыдущих таблицах для железобетонных конструкций, отклонение значений потери несущей способности не превышает 0,5%.

Отметим, что в данном случае приведены упрощенные расчеты. При определении несущей способности учитывалась только потенциальная несущая способность поперечных сечений. Не были учтены коэффициенты условий работы бетона и арматуры, гибкость колонны, возможные эксцентриситеты приложения нагрузки.

Данные расчеты показывают, что сколы бетона по углам сборных железобетонных колонн (даже с обнажением арматурных стержней) не влияют на техническое состояние конструкций и не представляют опасности для эксплуатации производственных зданий. Опасность представляет отслоение защитного слоя бетона, обнажение и коррозия рабочей арматуры железобетонной колонны. Для металлических колонн поверхностная коррозия до 1 мм также не представляет опасность и техническое состояние при этом остается работоспособным, опасность представляет слоистая коррозия более 3 мм. Результаты расчетов подтверждаются исследованиями иностранных [10] и отечественных ученых [11 и 12]. Исследования автора позволяют составить критерии оценки технического состояния поврежденных строительных конструкций при визуальном обследовании в зависимости от параметров выявленных повреждений.

### Литература

1. Крахмальний Т.А., Евтушенко С.И. Дефекты и повреждения металлических колонн производственных зданий // Строительство и архитектура. 2021. Т. 9. № 2. С. 11-15.
2. Федотов С.Д., Улыбин А.В., Шабров Н.Н. О методике определения коррозионного износа стальных конструкций // Инженерно-строительный журнал, №1, 2013 г. С.12-20. doi: 10.5862/MCE.36.2
3. Добромыслов А. Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений: справочное пособие. Москва: МГСУ Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. - 301 с. ISBN 978-5-93093-437-3.

4. Добромыслов, А. Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам: справочное пособие: справочник // 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ), 2008. – 72 с. : ISBN 978-5-93093-297-2.
  5. Крахмальный Т.А., Евтушенко С.И. Дефекты и повреждения металлических подкрановых балок производственных зданий // Строительство и архитектура. 2021. Т. 9. № 3. С. 11-15.
  6. Крахмальный Т.А., Маилян Л.Р. Повреждения строительных конструкций производственных зданий с железобетонным каркасом // Инженерный вестник Дона, 2025 №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2025/10245.
  7. Stewart, M.G. Reliability safety assessment of corroding reinforced concrete structures based on visual inspection information (2010) ACI Structural Journal, 107 (6). pp. 671-679.
  8. Аксёнов В.Н., Маилян Д.Р. Работа железобетонных колонн из высокопрочного бетона // Бетон и железобетон.– 2008.– № 6. – С. 5-8.
  9. Пузанов А.В., Улыбин А.В. Методы обследования коррозионного состояния арматуры железобетонных конструкций // Инженерно-строительный журнал, №7, 2011 г. С.18-24.
  10. Yong Hao, Zheng Ee, Kee Ee. Evaluation of Concrete Structures by Advanced Nondestructive Test Methods - Impact Echo Test, Impulse Response Test and Radar Survey // International Symposium "NDT-CE". Berlin, 2003.URL: ndt.net/article/ndtce03/papers/v100/v100.htm.
  11. Шарафутдинов Л.А., Маннапов Р.М. К оценке прочности изгибаемых железобетонных элементов с дефектами и повреждениями // Инженерный вестник Дона, 2025 №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2025/9995.
-

12. Перунов А.С. Егоров Д.А. Обзор распространенных дефектов монолитных железобетонных конструкций при строительстве многоэтажных зданий // Инженерный вестник Дона, 2025, №3.  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2025/9927](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2025/9927).

### References

1. Krahmal'nyj T.A., Evtushenko S.I. Stroitel'stvo i arhitektura. 2021. Vol. 9. № 2. pp. 11-15.
2. Fedotov S.D., Ulybin A.V., Shabrov N.N. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal, №1, 2013. pp.12-20. doi: 10.5862/MCE.36.2
3. Dobromyslov A. N. Diagnostika povrezhdeniy zdaniy i inzhenernykh sooruzheniy: spravocnoye posobiye [Diagnostics of Building and Engineering Structures Damage: Reference Guide]. Moskva: MGSU Izd-vo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2008. 301 p. ISBN 978-5-93093-437-3
4. Dobromyslov A. N. Otsenka nadezhnosti zdaniy i sooruzheniy po vneshnim priznakam (spravocnoe posobie, 2-e izd., pererab. i dop.) [Assessment of the reliability of buildings and structures based on external signs]. Moskva: Izd-vo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2008. 72 p. ISBN 978-5-93093-297-2.
5. Krahmal'nyj T.A., Evtushenko S.I. Stroitel'stvo i arhitektura. 2021. Vol. 9. № 3. pp. 11-15.
6. Krahmalniy T. A., Mailyan L.R. Inzhenernyj vestnik Dona, 2025, №7. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2025/10245](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2025/10245).
7. Stewart, M.G. Reliability safety assessment of corroding reinforced concrete structures based on visual inspection information (2010) ACI Structural Journal, 107 (6). pp. 671-679.
8. Aksënov V.N., Mailyan D.R. Beton i zhelezobeton. 2008. № 6. pp. 5-8.
9. Puzanov A.V., Ulybin A.V. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal, №7, 2011. pp.18-24.



10. Yong Hao, Zheng Ee, Kee Ee. International Symposium "NDT-CE". Berlin, 2003. URL: [ndt.net/article/ndtce03/papers/v100/v100.htm](http://ndt.net/article/ndtce03/papers/v100/v100.htm).

11. Sharafutdinov L.A., Mannapov R.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2025, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2025/9995](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2025/9995).

12. Perunov A.S. Yegorov D.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2025, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2025/9927](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2025/9927).

**Дата поступления: 11.11.2025**

**Дата публикации: 25.12.2025**