

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЫЗЫВАЮЩИХ НЕОБХОДИМОСТЬ УСИЛЕНИЯ ЖЕЗЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

СИМАКОВ О. А.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Аннотация. Разработка проектов как нового строительства, так и проектов реконструкции существующих зданий и сооружений требуют учета рисков связанных с производством работ и последующей эксплуатацией. Оценка факторов, приведших к необходимости проведения ремонтно-восстановительных работ строительных конструкций, позволит обратить на них необходимое внимание и учесть эти факторы при проектировании и проведении работ. В статье приведены численные данные, а также результаты анализа причин, приведших к необходимости восстановления/усиления железобетонных строительных конструкций существующих зданий и сооружений, новых, на стадии строительства, и находящихся в эксплуатации (анализ проведен по данным на 576 реальных объектов, требующих проведения ремонта и усиления строительных конструкций). Проведена статистическая обработка по конкретным типам и группам объектов, сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: восстановление несущей способности, ошибки проектирования, ремонт бетона.

ANALYSIS OF FACTORS CAUSING THE NEED FOR STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS

SIMAKOV O. A.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Abstracts. The current realities of the development of projects of new construction and reconstruction of existing buildings and structures are also require taking into account the risks associated with the production of works and subsequent operation. Evaluation of the factors that lead to the need for repair and restoration of building structures, will allow them to pay the necessary attention and take into account these factors in the design and conduct of work. The article presents numerical data, as well as the results of the analysis of the reasons that led to the need to restore/strengthen the reinforced concrete structures of existing buildings and structures, new, under construction, and in operation (the analysis is carried out according to 576 real objects that require repair and strengthening of building structures). Statistical processing on specific types and groups of objects is carried out, the corresponding conclusions are drawn.

Keywords: restoration of bearing capacity, design errors, repair of concrete.

В настоящее время активно развиваются технологии по восстановлению и усилению железобетонных конструкций существующих зданий и сооружений. Понимание причин приведших к необходимости данных ремонтно-восстановительных мероприятий позволит повысить технико-экономические показатели существующих методов усиления железобетонных конструкций, а также увеличить межремонтный интервал и срок эксплуатации данных конструкций [1-6].

Для определения факторов, вызывающих необходимость усиления железобетонных конструкций, был проведен анализ 576 реальных объектов, данные по которым были получены в ходе запросов на усиление/восстановление конструкций со стороны эксплуатирующих и строительных организаций, а также из открытых конкурсных документов (использовались данные только при наличии в них результатов обследований существующих конструкций с четкими однозначными выводами и рекомендациями).

В ходе настоящего исследования все рассматриваемые объекты были разделены на следующие группы по функциональному назначению:

- здания жилые, общественные и производственные;
- специальные здания и сооружения;
- мосты;
- малоэтажные жилые здания.

Для каждой из групп проводился анализ причин, вследствие которых требуется проведение ремонтно-восстановительных мероприятий.

В результате анализа имеющихся данных были выделены основные причины проведения усиления строительных конструкций [7-11]:

- ошибки проектирования (не верная расчетная схема, схема нагружения, исходные проектные данные, не учет отверстий под коммуникации);
 - ошибки производства работ (заниженный класс бетона, отсутствие ухода за бетоном во время твердения, ошибки армирования);
 - повышение проектных нагрузок;
 - разрушение конструкции в результате эксплуатации (коррозия арматуры и разрушение бетона в ходе эксплуатации конструкции);
 - иные внесистемные причины (не проектные механические воздействия, аварии).

Помимо анализа причин необходимости усиления, проводился анализ по году введения здания (сооружения) в эксплуатацию. Если проводилась реконструкция, год ввода в эксплуатацию принимался по завершении реконструкции. Фактические значения приведены по сроку эксплуатации с момента ввода сооружения.

Жилые здания и сооружения отличаются от остальных сооружений нормальным уровнем ответственности, широким распространением и массовым строительством. В качестве проектных и строительных организаций выступают многочисленные организации с различным опытом проектирования и строительства аналогичных объектов. Общее количество зданий данного типа, по которым проводился анализ, - 331.

Общие данные по данной группе приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Причины необходимости усиления/восстановления
жилых зданий и сооружений

Причина необходимости усиления/восстановления	Количество зданий по годам				Общее количество
	более 20 лет	10-20 лет	5-10 лет	менее 5 лет	
ошибки проектирования			12	25	37
ошибки производства работ		7	35	57	99
повышение проектных нагрузок	27	23	17	30	97
разрушение конструкции в результате эксплуатации	35	38	18	2	93
иные внесистемные причины	1		3	1	5
Общее количество	63	68	85	115	331

Графически распределение причин, приведших к снижению эксплуатационных свойств зданий и сооружений данного вида приведено на рис.1. То же с распределением по сроку эксплуатации приведено на рис. 2

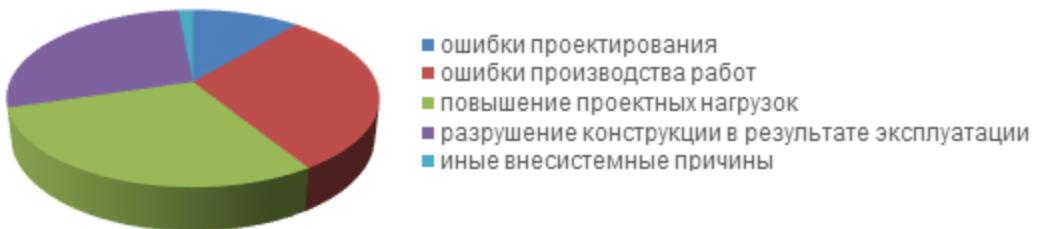


Рисунок 1- Распределение причин необходимости усиления/восстановления строительных конструкций жилых, общественных и производственных зданий и сооружений

По данным диаграммам видно, что основными причинами, приведшими к необходимости повышения несущей способности железобетонных несущих конструкций у данного типа зданий, являются ошибки производства работ и повышение проектных нагрузок (по 30%). Ошибки на строительной площадке являются, как правило, результатом низкого качества производства работ. В основном это несоответствие класса бетона проектному, нарушение технологий при бетонировании, отсутствие ухода за бетоном в период твердения и ошибки при армировании (положение арматуры не соответствует нормам и проекту, сечение арматуры и шаг превышает проектное значение, некачественная сварка арматурных стержней). Данные ошибки выявляются при строительстве (технадзором) и в первые годы эксплуатации (визуальные проявления дефектов). Повышение проектных нагрузок характерно для существующих зданий при изменении функциональных назначений помещений (как правило, установка тяжелого оборудования, встраивание антресолей и перепланировках). Количество зданий, в которых необходимо усиление существующих конструкций примерно одинаково распределяется по годам, за исключением новых объектов, в которых достаточно часто собственники выполняют новые проемы в несущих стенах, монтируют антресоли, а также устанавливают различное тяжелое оборудование (характерно для общественных зданий). Процент зданий и сооружений, получивших повреждения в ходе эксплуатации, составляет 28% от общего числа требующих усиления зданий. Фактически разрушение в ходе эксплуатации можно отнести к ошибкам проектирования и производствам работ, последствия которых выявились спустя продолжительное время. Как правило, в этой группе здания, железобетонные конструкции которых получили повреждения в результате климатических и техногенных воздействий, а также ввиду некачественной или разрушенной гидроизоляции, которая приводит к коррозии арматуры и разрушению бетона. Ошибки проектирования составляют 11% от общего числа причин (24% от общего числа зданий периода эксплуатации менее 5 лет) и выявляются в основном при производстве строительных работ (как правило, в конструктивных решениях не учтены отверстия под коммуникации, также зафиксированы случаи явных ошибок при расчетах), и в первые годы эксплуатации конструкций в ходе визуальных обследований. Иные внесистемные причины составляют 1% и представлены последствиями пожаров и аварийными воздействиями на конструкции.

Специальные сооружения представлены в основном сооружениями повышенного уровня ответственности, уникальными и технически сложными. Для данного класса характерна высокая инженерная проработка конструктивных решений в силу разработки проектов опытными коллективами и прохождения специальных экспертных исследований. Тем не менее, были зафиксированы случаи не точных исходных данных, приведших к разрушению конструкции и необходимости усиления (общий процент ошибок составляет менее 5%). Общие данные по данной группе приведены в табл. 2. Также, зафиксированные ошибки производства строительных работ – не соответствие класса бетона проектному, а также сварка арматурных стержней, не соответствующая ГОСТ. Повышение проектных нагрузок для данных сооружений не характерно (7% от общего числа причин) и внесистемные причины (аварии) (12%). Вместе с тем, достаточно высок процент конструкций, требующих восстановления по результатам неправильной эксплуатации (64%). Такой высокий процент объясняется

в первую очередь сложным напряженно-деформированным состоянием конструкций и специфическими воздействиями агрессивных сред, уменьшающих межремонтный интервал.

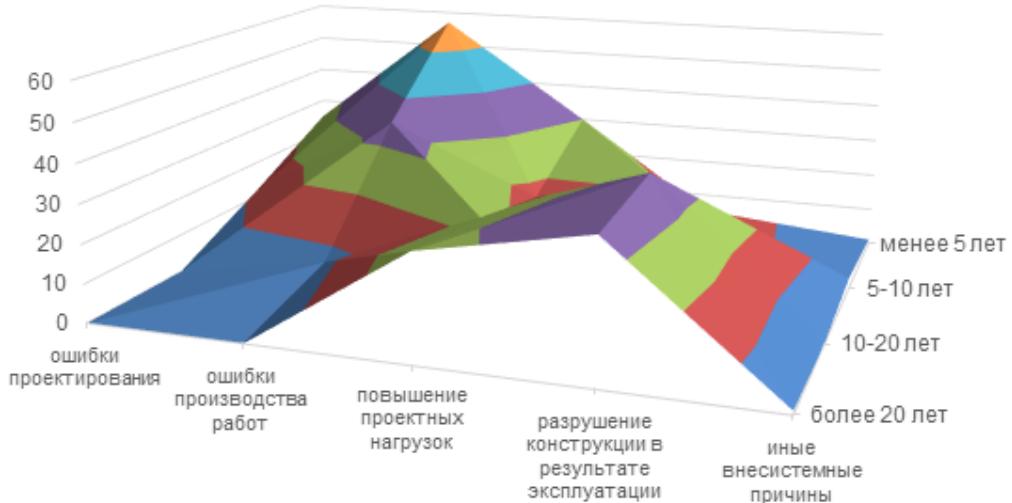


Рисунок 2 - Распределение причин необходимости усиления/восстановления строительных конструкций жилых, общественных и производственных зданий и сооружений по годам

Таблица 2 – Причины необходимости усиления/восстановления специальных сооружений

Причина необходимости усиления/восстановления	Количество зданий по годам				Общее количество
	более 20 лет	10-20 лет	5-10 лет	менее 5 лет	
ошибки проектирования				2	2
ошибки производства работ			3	2	5
повышение проектных нагрузок		2		1	3
разрушение конструкции в результате эксплуатации	8	6	10	3	27
иные внесистемные причины		2	3		5
Общее количество	8	10	16	8	42

Графически распределение причин, приведших к снижению эксплуатационных свойств зданий и сооружений данного вида приведено на рис.3.

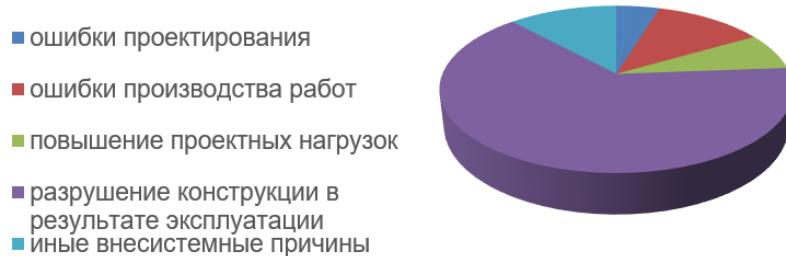


Рисунок 3- Распределение причин необходимости усиления/восстановления строительных конструкций специальных зданий и сооружений

Тоже с распределением по сроку эксплуатации приведено на рис. 4

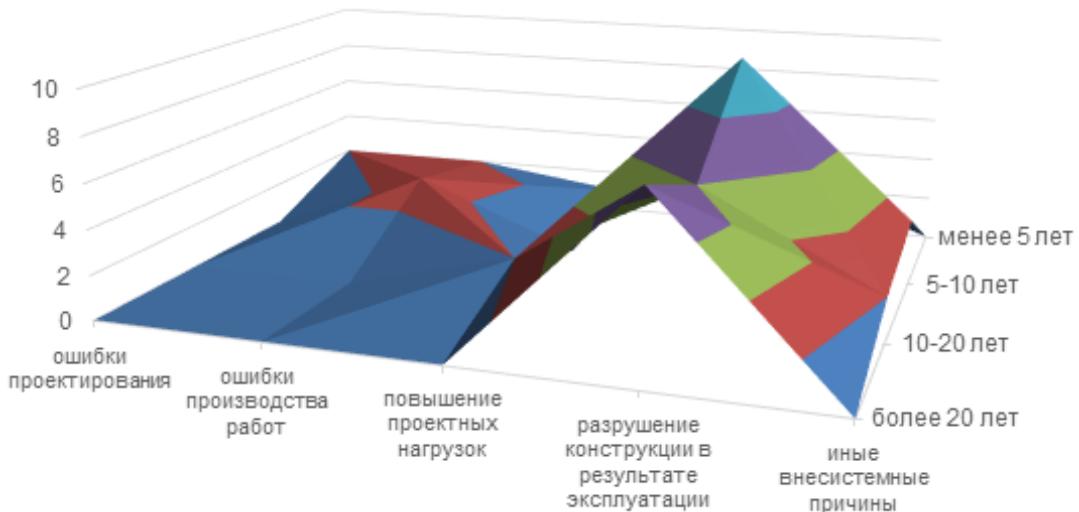


Рисунок 4- Распределение причин необходимости усиления/восстановления строительных конструкций специальных зданий и сооружений по годам

В группу мостовые сооружения включены мосты на автомобильных и железных дорогах, а также пешеходные мостовые переходы. Данные сооружения отличает высокий уровень проработанности, как правило основные несущие элементы являются сборными. В этой связи очень низкий процент ошибок проектирования и производства работ (3% и 7% соответственно). Также низок процент внесистемных причин (для данной группы это аварии – повреждение пролетных строений и опор). Вместе с тем высок процент причин связанных с повышением нагрузок и разрушением конструкций в ходе эксплуатации – по 40%. Повышение нагрузок связано с увеличение категории дорог, на которых располагаются мостовые сооружения. Типовое разрушение конструкций мостов в ходе эксплуатации – коррозия растянутой арматуры и разрушение бетона нижней грани пролетных строений, вызванное нарушением гидроизоляции полотна дороги [12-15].

Общие данные по данной группе приведены в табл. 3. Графически распределение причин, приведших к снижению эксплуатационных свойств мостовых сооружений приведено на рис.5 и с учетом распределения по годам на рис. 6.

Таблица 3-Причины необходимости усиления/восстановления мостовых сооружений

Причина необходимости усиления/восстановления	Количество зданий по годам				Общее количество
	более 20 лет	10-20 лет	5-10 лет	менее 5 лет	
ошибки проектирования				3	3
ошибки производства работ				8	8
повышение проектных нагрузок	21	14	7	2	44
разрушение конструкции в результате эксплуатации	29	18	3		50
иные внесистемные причины		2	1		3
Общее количество	50	34	11	13	108

Малоэтажные жилые здания отличаются от остальных зданий и сооружений низким уровнем инженерной проработки проектных решений (для ряда объектов было зафиксировано отсутствие проектной документации на железобетонные конструкции, работы по которым выполнялись на основании опыта строителей), а также, как правило, низким уровнем выполнения строительных работ, в том числе гидроизоляционных (в результате чего развиваются

процессы коррозии и требуется усиление конструкций [16]). В этой связи основные причины – ошибки проектирования (37%) и ошибки производства работ (52%). Низкое качество проектных и строительных работ объясняются в первую очередь низким уровнем контроля со стороны заказчиков (как правило контроль фактически отсутствует, т.к. заказчиками являются физические лица без необходимых знаний). В основном все ошибки проявляются в первые годы эксплуатации в виде заметных трещин и деформаций конструкций.

Общие данные по данной группе приведены в табл. 4. Графически распределение причин, приведших к снижению эксплуатационных свойств мостовых сооружений приведено на рис.7 и с учетом распределения по годам на рис. 8.



Рисунок 5- Распределение причин необходимости усиления/восстановления строительных конструкций мостовых сооружений

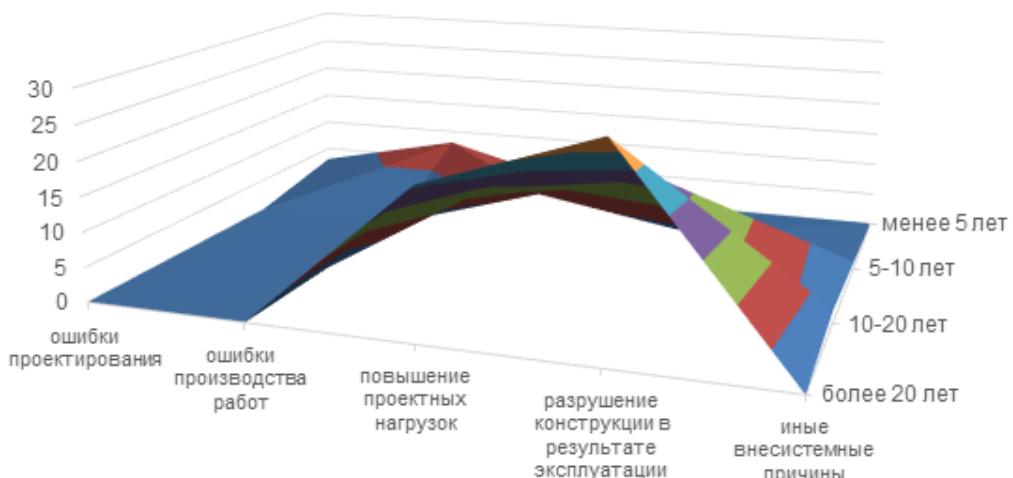


Рисунок 6- Распределение причин необходимости усиления/восстановления строительных конструкций мостовых сооружений по годам

Таблица 4- Причины необходимости усиления/восстановления малоэтажных зданий

Причина необходимости усиления/восстановления	Количество зданий по годам				Общее количество
	более 20 лет	10-20 лет	5-10 лет	менее 5 лет	
ошибки проектирования			8	27	35
ошибки производства работ			19	30	49
повышение проектных нагрузок		2	5	1	8
разрушение конструкции в результате эксплуатации					0
иные внесистемные причины			2	1	3
Общее количество	0	2	34	59	95



Рисунок 7- Распределение причин необходимости усиления/восстановления строительных конструкций малоэтажных зданий

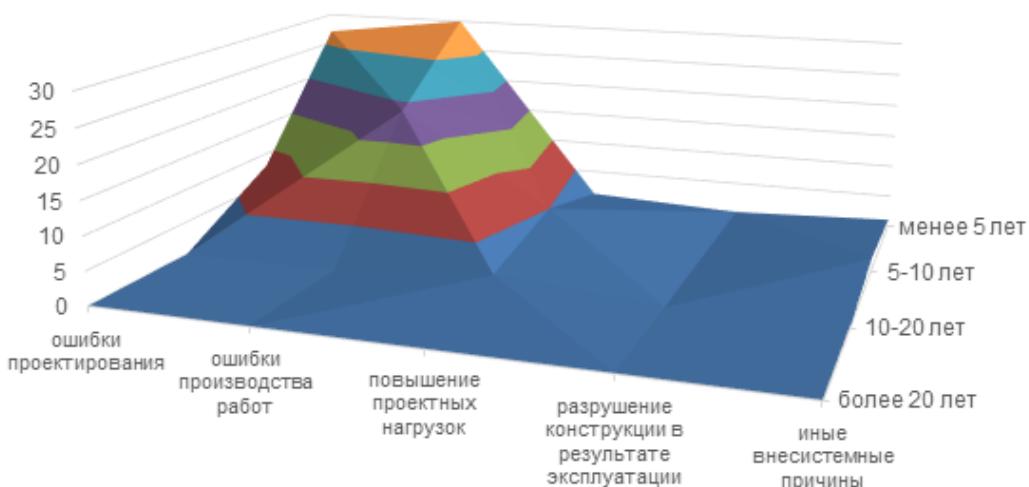


Рисунок 8-Распределение причин необходимости усиления/восстановления строительных конструкций малоэтажных зданий

Выводы

По результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. Для зданий и сооружений с низким уровнем контроля проектных решений и технологии выполнения строительных работ, что характерно для массового и частного (малоэтажного) строительства, основными причинами проведения ремонтно-восстановительных работ несущих конструкций является ошибки, допущенные в ходе проектирования и производства работ. Данные ошибки проявляются в основном в ходе производства работ и в течение первых пяти лет эксплуатации.
2. Ошибки при разработке проектной документации, а также нарушение технологии производства работ не характерны для специальных сооружений, имеющих повышенный уровень ответственности, а также мостовых сооружений (как правило, представляющие собой сборные конструкции), проекты на которые по сути являются типовыми.
3. Повышение расчетных нагрузок связано с изменением функционального назначения помещений, размещением специального оборудования, переоборудованием зданий и сооружений или повышением класса дорог (для мостов). Объем данных причин составляет до 40% и не может быть уменьшен ввиду того, что повышение начальных расчетных нагрузок приведет к значительному снижению экономических показателей объектов строительства.
4. Высокий процент причин необходимости восстановления и усиления конструкций, связанный с разрушением конструкций в ходе эксплуатации, характерен для типового строительства, специальных и мостовых сооружений. В первом случае и для мостовых сооруже-

ний это объясняется неудовлетворительной эксплуатацией конструкций, как правило, своевременно не восстанавливается гидроизоляция, что в дальнейшем приводит к коррозии арматуры и разрушению бетона. Для специальных сооружений характерны сложное напряженно-деформированное состояние конструкций, а также специфические воздействия, что в конечном счете снижает межремонтный интервал для ряда конструкций.

5. Данное исследование не включало анализ ошибок, связанных с проектированием и устройством фундаментов сооружений. Вместе с тем, данные конструктивные элементы являются ключевыми для распределения усилий и общих деформаций зданий и сооружений. Кроме этого, в последнее время увеличивается процент зданий и сооружений, при строительстве которых применяются инновационные материалы, не имеющие ни необходимой нормативной базы, ни опыта применения. По данным позициям необходимо отдельное исследование и соответствующий набор объектов исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений», МЧС России. ФЦ науки и высоких технологий «ВНИИ ГОЧС», г. Москва, 2003 г.
2. «Проблемы мониторинга зданий и сооружений» // Мониторинг. Наука и безопасность. 2011. №2.
3. Золотозубов Д.Г., Мухин К.О. Проблемы усиления и реконструкции бутовых фундаментов при переустройстве подвалов жилых зданий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2015. № 2. С. 75-91.
4. Орлович Р., Мантегацца Д., Найчук А., Деркач В. Современные способы ремонта и усиления каменных конструкций // Архитектура, дизайн и строительство. 2010. №1 (44). С. 86-87.
5. Гаврилов Н.Т., Прогнозирование технико-эксплуатационного состояния зданий и сооружений. М.: Макцентр, 2002. 203 с.
6. Кобзарев В.Ф., Никитин А.С., Романенко М.В., Рысов В.П., Самодуров В.Н., Саун В.Н., Татаренко В.Н., Техническая эксплуатация и технология ремонта зданий и сооружений / ВИТУ. – СПб., 2003.-251с.
7. Тамразян А.Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 7. С. 51-54.
8. Тамразян А.Г., Орлова М.А. К остаточной несущей способности железобетонных балок с трещинами // Жилищное строительство. 2015. № 6. С. 32-34.
9. Тамразян А.Г. К задачам мониторинга риска зданий и сооружений // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. № 3 (170). С. 19-21.
10. Тамразян А.Г. Динамическая устойчивость сжатого железобетонного элемента как вязкоупругого стержня // Вестник МГСУ. 2011. № 1-2. С. 193-196.
11. Тамразян А.Г., Филимонова Е.А. О влиянии снижения жесткости железобетонных плит перекрытий на несущую способность при длительном действии нагрузки // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 7. С. 30-32.
12. Овчинников И.Г., Кочетков А.В., Макаров В.Н., Овсянников С.В. Новые материалы и изделия в мостостроении. М., 2008. 80 с. (Автомобильные дороги и мосты: Обзорн. информ./ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР»; Вып. 1).
13. Майстренко И.Ю., Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Кокодеев А.В., Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 1 // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2017. №4. <https://t-s.today/issues/vol4-no4.html>
14. Kim Y.J., Green M.F. and Fallis G.J. “Repair of Bridge Girder Damaged by Impact Loads with Prestressed CFRP Sheets” // Journal of Bridge Engineering. 2008. №13(1). Pp 15-23.
15. Kim T.J., Wight R.G. and Green M.F. “Flexural Strengthening of RC Beams with Prestressed CFRP Sheets: Development of Nonmetallic Anchor System” // Journal of Composites for Construction. 2008. No 12(1). Pp. 35-52.
16. Ashhad Imam, Fatai Anifowose, Abul Kalam Azad. Residual Strength of Corroded Reinforced Concrete Beams Using an Adaptive Model Based on ANN // International Journal of Concrete Structures and Material. 2015. Volume 9. Issue 2. Pp. 159–172.

REFERENCES

1. «Metodika otsenki i sertifikatsii inzhenernoy bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy», MCHS Rossii. FTS nauki i vysokikh tekhnologiy «VNII GOCHS» [“Methodology for the assessment and certification of engineering safety of

buildings and structures", EMERCOM of Russia. FC of Science and High Technologies "VNII GOCHS"], Moscow, 2003.

2. «Problemy monitoringa zdaniy i sooruzheniy» ["Problems of monitoring buildings and structures"]. *Monitoring. Nauka i bezopasnost'*. 2011. No 2.

3. Zolotozubov D.G., Mukhin K.O. Problemy usileniya i rekonstruktsii butovykh fundamentov pri perestroystve podvalov zhilykh zdaniy [Problems of strengthening and reconstruction of rubble foundations in the reorganization of basements of residential buildings]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2015. No 2. Pp. 75-91.

4. Orlovich R., Mantegatstsya D., Naychuk A., Derkach V. Sovremennyye sposoby remonta i usileniya kamennykh konstruktsiy [Modern methods of repair and strengthening of stone structures]. *Arkhitektura, dizayn i stroitel'stvo*. 2010. No 1 (44). Pp. 86-87.

5. Gavrilov N.T., Prognozirovaniye tekhniko-ekspluatatsionnogo sostoyaniya zdaniy i sooruzheniy [Forecasting the technical and operational state of buildings and structures]. Moscow: Maktsentr, 2002. 203 p.

6. Kobzarev V.F., Nikitin A.S., Romanenko M.V., Rysev V.P., Samodurov V.N., Saun V.N., Tatarenko V.N., Tekhnicheskaya ekspluatatsiya i tekhnologiya remonta zdaniy i sooruzheniy [Technical operation and technology of building repair and facilities]. Saint Peterburg: VITU, 2003. 251 p.

7. Tamrazyan A.G. Beton i zhelezobeton: problemy i perspektivy [Concrete and reinforced concrete: problems and prospects]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2014. No 7. Pp. 51-54.

8. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. K ostatochnoy nesushchey sposobnosti zhelezobetonnykh balok s treshchinami [Residual bearing capacity of reinforced concrete beams with cracks]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2015. No 6. Pp. 32-34.

9. Tamrazyan A.G. K zadacham monitoringa risika zdaniy i sooruzheniy [Towards the tasks of monitoring the risk of buildings and structures]. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*. 2013. No 3 (170). Pp. 19-21.

10. Tamrazyan A.G. Dinamicheskaya ustoychivost' szhatogo zhelezobetonnogo elementa kak vyazkouprugogo sterzhnya [Dynamic stability of a compressed reinforced concrete element as a viscoelastic rod]. *Vestnik MGSU*. 2011. No 1-2. Pp. 193-196.

11. Tamrazyan A.G., Filimonova Ye.A. O vliyanii snizheniya zhestkosti zhelezobetonnykh plit perekrytiy na nesushchuyu sposobnost' pri dlitel'nom deystvii nagruzki [On the effect of reducing the stiffness of reinforced concrete floor slabs on the carrying capacity during long-term load action]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2012. No 7. Pp. 30-32.

12. Ovchinnikov I.G., Kochetkov A.V., Makarov V.N., Ovsyannikov S.V. Novyye materialy i izdeliya v mostostroyenii [New materials and products in bridge construction]. Moscow, 2008. 80 p.

13. Maystrenko I.YU., Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Kokodeyev A.V., Avari i razrusheniya mostovykh sooruzheniy, analiz ikh prichin. Chast' 1 [Accidents and destruction of bridges, analysis of their causes. Part 1] *Internet-magazine "Transportnyye sooruzheniya"*. 2017. No 4. <https://t-s.today/issues/vol4-no4.html>

14. Kim Y.J., Green M.F. and Fallis G.J. "Repair of Bridge Girder Damaged by Impact Loads with Prestressed CFRP Sheets" ["Repair of Bridge Girder Damaged by Impact Loads with Prestressed CFRP Sheets"]. *Journal of Bridge Engineering*. 2008. No 13(1). Pp 15-23.

15. Kim T.J., Wight R.G. and Green M.F. "Flexural Strengthening of RC Beams with Prestressed CFRP Sheets: Development of Nonmetallic Anchor System". *Journal of Composites for Construction*. 2008. No 12(1). Pp. 35-52.

16. Ashhad Imam, Fatai Anifowose, Abul Kalam Azad. Residual Strength of Corroded Reinforced Concrete Beams Using an Adaptive Model Based on ANN. *International Journal of Concrete Structures and Material*. 2015. Volume 9. Issue 2. Pp. 159–172.

Информация об авторах:

Симаков Олег Александрович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия,
Кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций,
E-mail: simakovo@mgsu.ru

Information about authors:

Simakov Oleg A.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
assistant prof. of the department of reinforced concrete and masonry structures,
E-mail: simakovo@mgsu.ru