

# Строительные конструкции, здания и сооружения Structural units, buildings, structures

Научная статья

УДК 624.012.45.004.19

DOI: 10.14529/build230201

## ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ, ЖЕСТКОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

**М.В. Кудрявцев**<sup>1</sup>, *k.m.v.29.12.96@yandex.ru*

**А.С. Шевчук**<sup>2</sup>, *shevchuk3003@gmail.com*

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия*

**Аннотация.** Для ускорения производственных процессов при монолитном строительстве в качестве некоторых несущих элементов более целесообразно применять сборные железобетонные конструкции. В качестве альтернативы монолитным балконам можно предложить установку балконных плит заводского изготовления с арматурными выпусками. Такой тип сборных железобетонных балконов ускоряет процесс производства монолитных работ, снижает затраты на опалубочные работы и является качественным сертифицированным несущим элементом. При внедрении в массовое производство сборных элементов необходимо выполнить экспериментальные исследования прочности, жесткости и трещиностойкости по отечественным нормативным документам. По результатам испытаний можно сделать заключение о пригодности к эксплуатации конструкции и внести корректировки по модернизации элемента.

**Ключевые слова:** прочность, жесткость, трещиностойкость, сборный элемент, железобетон, лабораторные испытания

**Для цитирования.** Кудрявцев М.В., Шевчук А.С. Оценка прочности, жесткости и трещиностойкости сборных железобетонных конструкций по результатам лабораторных испытаний // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2023. Т. 23, № 2. С. 5–14. DOI: 10.14529/build230201

Original article

DOI: 10.14529/build230201

## ASSESSMENT OF STRENGTH, STIFFNESS, AND CRACK RESISTANCE OF PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE STRUCTURES ACCORDING TO THE RESULTS OF LABORATORY TESTS

**M.V. Kudryavtsev**<sup>1</sup>, *k.m.v.29.12.96@yandex.ru*

**A.S. Shevchuk**<sup>2</sup>, *shevchuk3003@gmail.com*

<sup>1</sup> *National Research Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), Moscow, Russia*

<sup>2</sup> *Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia*

**Abstract.** To accelerate production for monolithic construction, it is more appropriate to use prefabricated reinforced concrete structures for certain load-bearing elements. Prefabricated balcony slabs with rebar can be offered as an alternative to monolithic balconies. This type of balcony speeds up the process of monolithic construction, reduces the cost of shuttering work, and is a quality certified load-bearing element. Strength, stiffness and cracking resistance must be tested according to domestic regulatory documents when introducing prefabricated elements into mass production.

The results of these tests allow us to draw conclusions on the serviceability of the structure and make adjustments for modernization.

**Keywords:** strength, stiffness, crack resistance, precast element, reinforced concrete, laboratory test

**For citation.** Kudryavtsev M.V., Shevchuk A.S. Assessment of strength, stiffness, and crack resistance of prefabricated reinforced concrete structures according to the results of laboratory tests. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2023;23(2):5–14. (in Russ.). DOI: 10.14529/build230201

## Введение

Предметом исследований является новый тип конструкции сборного железобетонного балкона, применяемый в монолитном строительстве и изготовленный в заводских условиях. Рассматриваемая конструкция балконной плиты имеет арматурные выпуски на длину анкеровки для последующего бетонирования в монолитную плиту перекрытия. На основе результатов проведённых испытаний был запущен проект с применением конструкций балконов при строительстве ЖК «Депо» в городе Екатеринбург (рис. 1)

Данная технология снижает число технологических процессов на строительном участке [1]. Снижение затрат при монолитном строительстве обусловлено отсутствием ряда технологических процессов: возведения дополнительной опалубки сложной формы, выпирающей за границы плиты перекрытия; сборки вязанных/сварных каркасов для армирования балконных плит; устройства терморазрывов из эффективного утеплителя и других [2, 3]. Отмечается повышенное качество продукции за счёт заводского изготовления, на котором производится контроль качества применяемых материалов и конечной продукции в целом [4].

При строительстве зданий с проектным решением в виде сборных железобетонных балконов создаётся унификация элементов [5]. При поставке в массовое производство необходимо провести контрольные испытания изделий статическим нагружением до исчерпания несущей способности [6]. Испытания следует выполнять в целях комплексной проверки соответствия изделий требуемым показателям по прочности, жесткости и трещиностойкости, предусмотренным в проектной

документации на эти изделия, а также действующим нормам проектирования [7–14].

## 1. Экспериментальные исследования прочности, жесткости и деформативности сборного железобетонного фрагмента

### 1.1. Опытные образцы

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены две серии опытных балконных плит с разными схемами приложения статической нагрузки. Балконная плита представляет собой железобетонный блок прямоугольного размера в плане, армированный сварными сетками в сжатой и растянутой зоне. Передача усилий осуществляется путем анкеровки рабочей продольной сжатой и растянутой арматуры, проходящей сквозь фрагмент балкона в ответную часть монолитной железобетонной плиты. С целью минимизации тепловых потерь применяются термовкладыши, установленные по границе контакта балкона с плитой перекрытия. Железобетонные перемычки между термовкладышами дополнительно армируются хомутами из арматуры А240.

Перед бетонированием образцов-фрагментов были установлены датчики деформаций (тензорезисторы на основе тонких плёнок ТМЛ с базой 5 мм) в характерных точках. В заводских условиях была произведена укладка бетонной смеси для всех образцов-фрагментов в серии, а также изготавливались контрольные образцы бетона из той же пробы бетонной смеси.

После набора прочности бетона фрагментов балконов бетонировалась ответная часть с арматурными выпусками, моделирующая фрагмент монолитного железобетонного перекрытия. Элемент бал-



Рис. 1. Ход строительства ЖК «Депо» с применением сборных балконов

кона и схема расположения тензорезисторов в балочной плите представлена на рис. 2–5.

1.2. Методика проведения испытаний

Нагружение образцов-фрагментов выполнялось с постоянной заданной скоростью увеличения нагрузки этапами по 10 % от контрольной нагрузки, с выдержками нагрузки на каждом этапе в течение 10 минут.

Визуальный осмотр образца проводился на каждом этапе «до» и «после» выдержки, контролируемые параметры (нагрузка (кН), перемещение штока испытательной машины (мм), деформации по тензорезисторам (%), перемещения образца в контрольных точках (мм)) регистрировались непрерывно с частотой не менее 1 Гц до разрушения образца.

Нагружение образцов серии № 1 и серии № 2 осуществлялось в соответствии со схемами, приведенными на рис. 6. Схема установки контрольно-измерительных приборов (КИП) приведена на рис. 7.



Рис. 2. Общий вид фрагмента плиты со сборным балконом

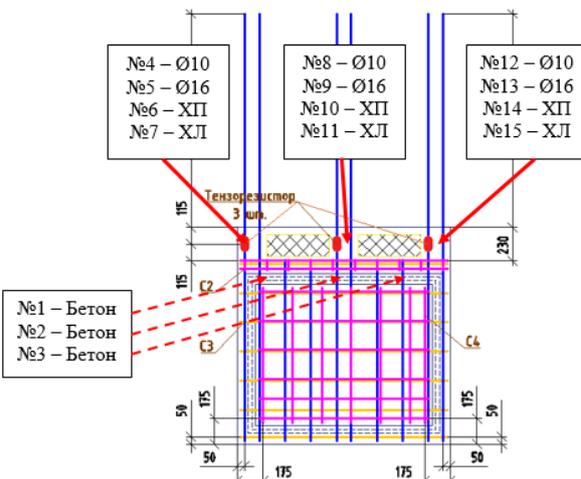


Рис. 3. Схема расположения тензорезисторов на арматурном каркасе



Рис. 4. Схема установки тензорезисторов № 4, 5, 8, 9, 12, 13



Рис. 5. Схема установки тензорезисторов № 6, 7, 10, 11, 14, 15

1.3. Результаты испытаний

По результатам испытаний материалов были определены следующие характеристики:

- фактическая прочность бетона плиты и фрагмента монолитного участка перекрытия [15, 16];
- начальный модуль упругости бетона [17];
- предел текучести и предел прочности рабочей арматуры [18, 19].

Данные параметры необходимы для определения фактического напряженно-деформированного состояния элемента конструкции. Определив значения деформаций в локальных участках и модуль упругости материала, определяем по закону Гука напряжения (МПа), далее сравнивая фактические напряжения с предельными [20].

По показателям КИП установлены следующие параметры при проведении испытаний:

- прогиб консоли;
- перемещения в контрольных точках;
- величина раскрытия трещин.

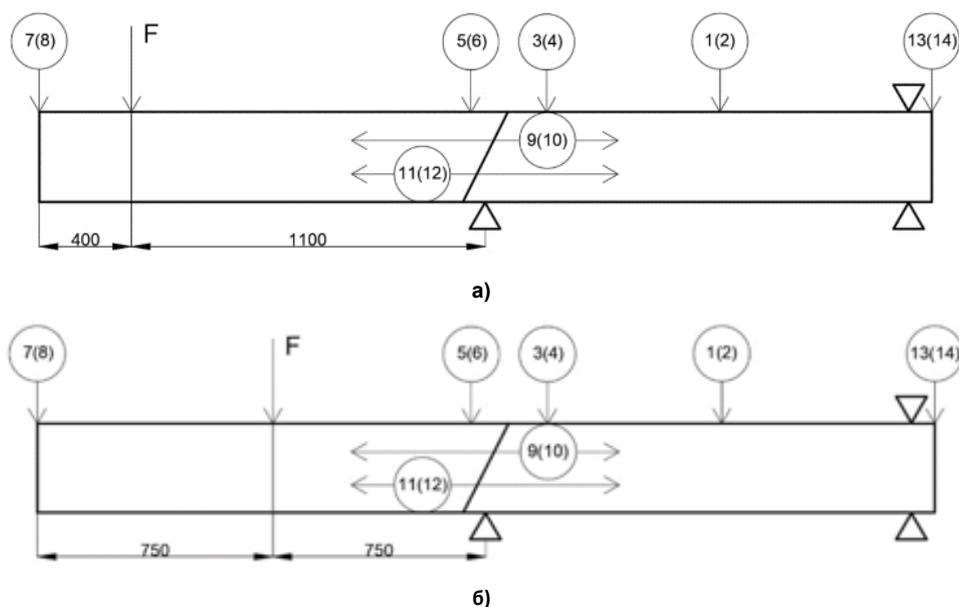


Рис. 6. Схемы нагружения фрагментов: а – схема № 1, б – схема № 2



Рис. 7. Схема расположения контрольно-измерительных приборов

В ходе проведения испытаний фиксировалась нагрузка трещинообразования, позволяющая оценить пригодность изделий по трещиностойкости путём сравнения её значения с установленным в проектной документации или стандарте на проектирование. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

По показателям КИП (рис. 8–11) были построены диаграммы «Нагрузка, кН – Перемещение, мм», по которым можно оценить общую жесткость образца. На рис. 12–13 показано трещинообразование плит на последних этапах нагружения. Разрушение серии № 1 и № 2 происходило по сжатой зоне монолитного фрагмента плиты перекрытия.

## 2. Оценка результатов испытаний

### 2.1. Оценка прочности

Оценка результатов испытаний проводится на основании сопоставления фактической разру-

шающей нагрузки с контрольной разрушающей нагрузкой.

За разрушающее значение нагрузки принималось значение, соответствующее раздроблению бетона сжатой зоны в ответной части.

В соответствии с п. 10.1.4 ГОСТ 8829-2018 для выполнения требований по прочности необходимо соблюдение условия

$$\frac{P_{test}}{P_{cont}} \geq \alpha_1, \quad (1)$$

где  $P_{test}$  – значение фактической разрушающей нагрузки, кН;  $P_{cont}$  – проектное значение контрольной нагрузки, умноженное на коэффициент  $C = 1,6$  [6, табл. Б. 1], кН;  $\alpha_1 \geq 1$  – при разрушении от раздробления бетона по табл. 3 ГОСТ 8829-2018 [6].

В табл. 2 приведены результаты оценки выполнения требования (1) по прочности.

Таблица 1

## Результаты экспериментальных исследований

Наименование показателя		Ед. изм	Серия № 1				Серия № 2			
			Образец № 1		Образец № 2		Образец № 1		Образец № 2	
			Балконная плита В40	Ответная часть В25	Балконная плита В40	Ответная часть В25	Балконная плита В40	Ответная часть В25	Балконная плита В40	Ответная часть В25
Бетон и арматура	Прочность на сжатие, $R$	МПа	80,2	49,1	80,8	49,7	–	50,4	83,8	48,1
	Призмная прочность, $R_{пр}$	МПа	71,7	43,1	82,8	46,3	–	43,7	76,7	38,8
	Прочность на растяжение при изгибе, $R_{fb}$	МПа	5,39	4,88	5,07	4,75	–	4,58	4,67	4,21
	Модуль упругости при сжатии по ГОСТ 24452-80, $E_{\sigma}$	МПа	–	–	23032	–	–	–	23944	18028
	Предел текучести // временное сопротивление арматуры Ø16 мм, $\sigma_T // \sigma_B$	МПа	648,8 // 735,1							
	Предел текучести // временное сопротивление арматуры Ø10 мм, $\sigma_T // \sigma_B$	МПа	625,1 // 744,7							
Нагрузка	Контрольная нагрузка по прочности (момент в узле) по программе испытаний	–	5,76 кН (6,3 кН·м)		5,76 кН (6,3 кН·м)		8,44 кН (6,3 кН·м)		8,44 кН (6,3 кН·м)	
	Нагрузка трещинообразования (момент в узле), в % от контрольной	–	12,67 кН (13,9 кН·м) 220 %		5,18 кН (5,7 кН·м) 90 %		18,44 кН (13,8 кН·м) 218 %		7,60 кН (5,70 кН·м) 90 %	
	Разрушающая нагрузка (момент в узле), в % от контрольной	–	90,00 кН (99,0 кН·м) 1563 %		92,40 кН (101,6 кН·м) 1604 %		122,94 кН (92,2 кН·м) 1457 %		141,2 кН (105,9 кН·м) 1673 %	
Прогиб	Прогиб балконной плиты при контрольной нагрузке, мм	–	1,6		1,5		2,2		1,6	
	Прогиб балконной плиты при нагрузке трещинообразования, мм	–	3,5		1,4		5,2		1,4	
	Максимальное зарегистрированное значение прогиба	–	27,5 мм при 60,0 кН		50,9 мм при 85,8 кН		53,7 мм при 108,4 кН		44,5 мм при 118,4 кН	
Деформация	Максимальные деформации и напряжения в арматуре Ø16 мм при контрольной нагрузке	–	–		$34 \cdot 10^{-6}$ е.о.д. 6,8 МПа		–		$18,3 \cdot 10^{-6}$ е.о.д. 3,7 МПа	

Наименование показателя		Серия 1		Серия 2		
		Образец № 1	Образец № 2	Образец № 1	Образец № 2	
Деформация	Максимальные деформации и напряжения в арматуре Ø10 мм при контрольной нагрузке	—	—	—350·10 <sup>-6</sup> е.о.д. -70,3 МПа	—	—202·10 <sup>-6</sup> е.о.д. -40,3 МПа
	Максимальные деформации и напряжения в хомутах при контрольной нагрузке	—	—	—177·10 <sup>-6</sup> е.о.д. -35,4 МПа	—	—365·10 <sup>-6</sup> е.о.д. -71,2 МПа
	Максимальные деформации и напряжения в бетоне (сжатая зона ответной части) при контрольной нагрузке	—	—	—96·10 <sup>-6</sup> е.о.д. -1,7 МПа	—	—88·10 <sup>-6</sup> е.о.д. -1,6 МПа
Характер разрушения		Хрупкое разрушение по бетону ответной части в сжатой зоне	Хрупкое разрушение по бетону ответной части в сжатой зоне	Хрупкое разрушение по бетону ответной части в сжатой зоне	Хрупкое разрушение по бетону ответной части в сжатой зоне	Хрупкое разрушение по бетону ответной части в сжатой зоне

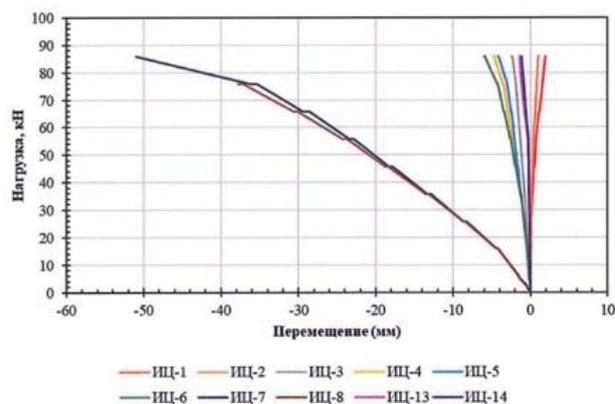


Рис. 8. Серия № 1. Прогиб балконной плиты

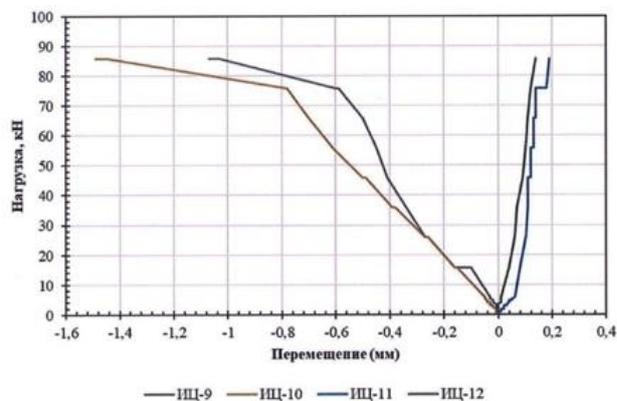


Рис. 9. Серия № 1. Горизонтальные перемещения (ширина раскрытия холодного шва бетонирования)

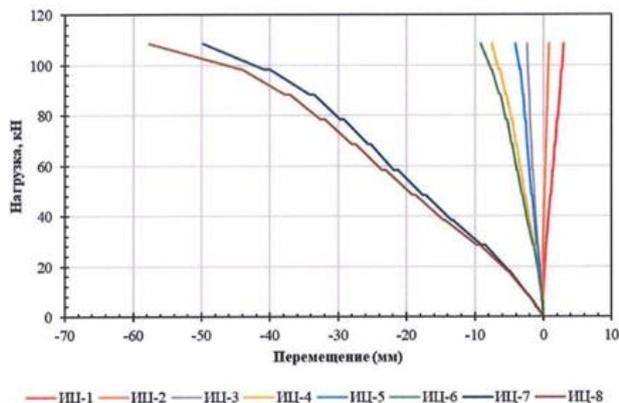


Рис. 10. Серия № 2. Прогиб балконной плиты

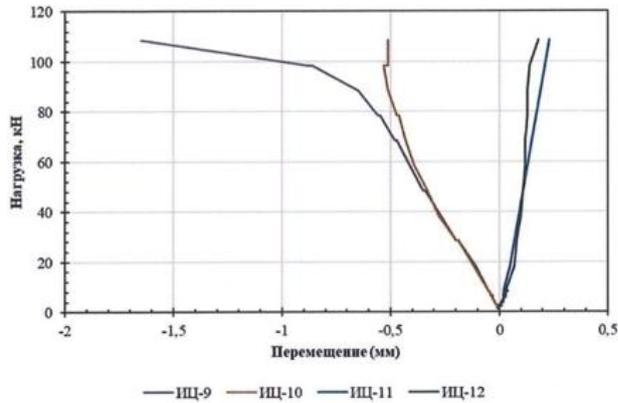


Рис. 11. Серия № 2. Горизонтальные перемещения (ширина раскрытия холодного шва бетонирования)



Рис. 12. Трещинообразование в плите



Рис. 13. Разрушения по сжатой зоне ответной части балкона (фрагмент перекрытия)

Таблица 2

Результаты оценки выполнения требования (1)

Серия	Образец	$P_{test}$ , кН	$P_{cont}$ , кН	$\frac{P_{test}}{P_{cont}}$	Результат оценки
Серия № 1	Образец № 1	90,00	9,2	$9,2 > 1$	Требование выполнено
	Образец № 2	92,40	9,2	$9,2 > 1$	
Серия № 2	Образец № 1	122,94	13,5	$9,1 > 1$	Требование выполнено
	Образец № 2	141,2	13,5	$10,5 > 1$	

2.2. Оценка эксплуатационной пригодности

В соответствии с п. 10.1.5 [6] изделие признают удовлетворяющим требованиям по эксплуатационной пригодности, если соблюдаются условия (2), (3):

$$\frac{f_{test}}{f_{ult}} \leq \alpha_2, \tag{2}$$

где  $f_{test}$  – значение прогиба при контрольной нагрузке, мм;  $f_{ult}$  – значение предельно допустимого прогиба, 20 мм;  $\alpha_2 = 0,9$  – принимается по табл. 3 ГОСТ 8829-2018 [6] для количества изделий – 2 шт.

Вертикальный предельный прогиб элемента конструкции (балкона) в соответствии с Д.2.1 СП 20.13330.2016 [21] при пролёте  $l = 1,5$  м, составляет  $1/150$  (для консоли вместо  $l = 1,5$  м принимается удвоенный её вылет):  $1/150 = 3000 / 150 = 20$  мм.

Вертикальный предельный прогиб в соответствии с Д.2.2 СП 20.13330.2016 [21]: 26,5 мм.

В табл. 3 приведены результаты оценки выполнения требования (2) по эксплуатационной пригодности.

$$\frac{\alpha_{test}}{\alpha_{cont}} \leq 1,0, \tag{3}$$

где  $\alpha_{test}$  – значение ширины раскрытия трещин при контрольной нагрузке, мм;  $\alpha_{cont} = 0,2$  мм – контрольное значение ширины раскрытия трещин, принимаемое в зависимости от предельной ширины раскрытия трещины  $\alpha_{ult}$  по табл. 4 [6];  $\alpha_{ult} = 0,4$  мм – при продолжительном раскрытии трещин из условия обеспечения сохранности арматуры по СП. 63.13330.2018 [22].

В табл. 4 приведены результаты оценки выполнения требования (3) по трещиностойкости.

Таблица 3

Результаты оценки выполнения требования (2)

Серия	Образец	$f_{test}$ , мм	$f_{ult}$ , мм	$\frac{f_{test}}{f_{ult}}$	Результат оценки
Серия № 1	Образец № 1	1,6	20	0,08 < 0,9	Требование выполнено
	Образец № 2	1,5	20	0,08 < 0,9	
Серия № 2	Образец № 1	2,2	20	0,11 < 0,9	Требование выполнено
	Образец № 2	1,6	20	0,08 < 0,9	

Таблица 4

Результаты оценки выполнения требования (3)

Серия	Образец	$\alpha_{test}$ , мм	$\alpha_{cont}$ , мм	$\frac{\alpha_{test}}{\alpha_{cont}}$	Результат оценки
Серия № 1	Образец №1	—*	0,2	0 < 1,0	Требование выполнено
	Образец №2	0,1	0,2	0,5 < 1,0	
Серия № 2	Образец №1	—*	0,2	0 < 1,0	Требование выполнено
	Образец №2	0,1	0,2	0,08 < 1,0	

*Примечание.* \* – при достижении контрольной нагрузки трещины отсутствовали.

По результатам оценки изделия признаны годными по показателям эксплуатационной пригодности.

#### Выводы

По результатам испытаний было определено, что сборный железобетонный фрагмент балкона имеет высокую прочность, деформативность и жесткость. Данный тип конструкции является безопасным и пригодным к массовому строительству на основании результатов испытаний по ГОСТ 8829-2018. Несущая способность значительно превышает расчетную нагрузку, рекомендованную СП

20.13330.2016. Прогиб балконной плиты по консольной схеме меньше, чем предельно допустимый для данного типа конструкции. Также обеспечены требования по ширине раскрытия трещин.

#### Благодарности

Авторы статьи выражают благодарность компании ООО «Брусника» в лице руководителя макетной мастерской А.И. Артюгина за совместное проведение научно-исследовательских работ в области экспериментальных исследований несущей способности сборных железобетонных строительных конструкций.

#### Список литературы

- Жадановский Б.В. Контроль качества получаемых строительных материалов, изделий и конструкций на строительную площадку / Б.В. Жадановский, М.В. Кудрявцев, Е.С. Ерижкова // Системные технологии. 2018. № 4 (29). С. 11–18.
- Коянкин А.А. Облегченное сборно-монолитное перекрытие // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 6 (105). С. 636–641.
- Яров В.А., Коянкин А.А., Скрипальщиков К.В. Исследования напряженно-деформированного состояния монолитных перекрытий, выполненных с теплоизолирующими вставками // Вестник МГСУ. 2010. № 1. С. 107–112.
- Основные принципы теплотехнического конструирования балконов и лоджий жилых зданий монолитной технологии возведения / Т.В. Макарова, К.С. Котова, Е.А. Гойкалова, Е.С. Лихих // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2021. № 3-4(45-46). С. 10–15.
- Прочность и деформативность сборно-монолитных каркасов жилых зданий пониженной материалоемкости при запроектных воздействиях / Н.В. Ключева, В.И. Колчунов, Д.А. Рыпаков, А.С. Бухтиярова // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 1. С. 5–9.
- ГОСТ 8829-2018. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости (с Поправкой)
- Тамразян А.Г. Оценка риска и надежности несущих конструкций и ключевых элементов – необходимое условие безопасности зданий и сооружений // Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений». 2009. № 1. С. 160–171.

8. Кудрявцев М.В. Влияние малоциклового нагружения на диаграмму работы бетона при сжатии // Дни студенческой науки: сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института строительства и архитектуры НИУ МГСУ, Москва, 02–05 марта 2020 года. М.: Изд-во МИСИ МГСУ, 2020.
9. Кабанцев О.В., Тамразян А.Г. Учет изменений расчетной схемы при анализе работы конструкции // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 5 (49). С. 15–26.
10. ГОСТ 27751-2014. Межгосударственный стандарт. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.
11. Тамразян А.Г. Ресурс живучести – основной критерий проектных решений высотных зданий // Жилищное строительство. 2010. № 1. С. 15–18.
12. Тамразян А.Г. Оценка обобщенного риска промышленных объектов, связанного со строительством и эксплуатацией // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 10. С. 12–14.
13. Тамразян А.Г. Бетон и железобетон – взгляд в будущее // Вестник МГСУ. 2014. № 4. С. 181–189.
14. Истомин А.Д. Влияние податливости опор на температурные усилия в статически неопределимой железобетонной балке / А.Д. Истомин, М.В. Кудрявцев // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 2 (746). С. 52–60.
15. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
16. ГОСТ 18105-2018. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
17. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.
18. ГОСТ 12004-81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение (с Изменениями № 1, 2).
19. ГОСТ Р 52544-2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций.
20. Кудрявцев М.В. Прочность и деформативность бетона сжатых элементов при малоцикловом нагружении // Инновации и инвестиции. 2022. № 5.
21. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия.
22. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.

#### References

1. Zhadanovsky B.V., Kudryavtsev M.V., Erizhokova E.S. Quality control of received at the site constructing materials, units and constructions. *System Technologies*. 2018;4(29):11–18 (In Russ.)
2. Koyankin A.A. Lightweight slab cast over precast joists. *Vestnik MGSU*. 2017;6(105):636–641 (In Russ.) DOI: 10.22227/1997-0935.2017.6.636–641
3. Yarov V.A., Koyankin A.A., Skripal'shchikov K.V. [Research of stress and strain state of monolithic slabs made with insulating inserts]. *Vestnik MGSU*. 2010;1:107–112. (In Russ.)
4. Makarova T.V., Kotova K.S., Goikalova E.A., Likhikh E.S. Basic principles of thermal design balconies and loggy residential buildings monolithic construction technologies. *Scientific Journal. Engineering systems and constructions*. 2021;3–4(45–46):10–15. (In Russ.)
5. Klueva N.V., Kolchunov V.I., Rypakov D.A., Bukhtiyarova A.S. Durability and deformability of precast-cast-in-place frameworks for residential buildings with low material consumption at beyond-design-basis impacts. *Industrial and Civil Engineering*. 2015;1:5–9 (In Russ.)
6. GOST 8829-2018. *Izdelija stroitel'nye zhelezobetonnye i betonnye zavodskogo izgotovleniya. Metody ispytaniy nagruzheniem. Pravila ocenki prochnosti, zhestkosti i treshhinostojkosti* [State Standard 8829-2018 Factory-made reinforced concrete and concrete products. Test methods by loading. Rules for the assessment of strength, rigidity and crack resistance]. Moscow: Standartinform Publ., 2019. 20 p. (In Russ.)
7. Tamrazyan A.G. [Assessment of risk and reliability of load-bearing structures and key elements – a necessary condition for the safety of buildings and structures]. *Bulletin of V.A. Kucherenko CNIISK "Research on the theory of structures"*. 2009;1:160–171 (In Russ.)
8. Kudryavtsev M.V. [Influence of low-cycle loading on a concrete work diagram in compression] In: *Dni studentcheskoy nauki: Cbornik dokladov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po itogam nauchno-issledovatel'skikh robot studentov instituta stroitel'stva i arkhitektury NIU MGSU* [Days of Student Science: Collection of reports of scientific and technical conference on the results of research of students of the Institute of Construction and Architecture of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, 02–05 March 2020] Moscow: Moscow State University of Civil Engineering and Architecture MSCU Publ. House, 2020. P. 413–415 (In Russ.)
9. Kabantsev O.V., Tamrazian A.G. Allowing for changes in the calculated scheme during the analysis of structural behaviour. *Magazine of Civil Engineering*. 2014;5(49):15–26. (In Russ.) DOI: 10.5862/MCE.49.2
10. GOST 27751-2014 *Mezhhgosudarstvennyj standart. Nadezhnost' stroitel'nykh konstrukcij i osnovanij. Osnovnye polozenija* [State Standard 27751-2014 Interstate standard. Reliability of building structures and foundations. Basic provisions] Moscow: Standartinform Publ.; 2015. 17 p. (In Russ.)

11. Tamrazyan A.G. [Survivability resource – the main criterion of design solutions of high-rise buildings] *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2010, no. 1, pp. 15–18. (In Russ.)
12. Tamrazyan A.G. Assessment of the integrated risk of industrial objects related to construction and operation. *Industrial and Civil Engineering*. 2010;10:12–14. (In Russ.)
13. Tamrazyan A.G. Concrete and reinforced concrete – glance at future. *Vestnik MGSU*. 2014;4:181–189. (In Russ.)
14. Istomin A.D., Kudryavtsev M.V. Influence of the supports pliability on the temperature forces in a statically undetectable reinforced concrete beam. *Izvestiya Vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2021;2(746):52–60. (In Russ.) DOI: 10.32683/0536-1052-2021-746-2-52-60
15. *GOST 10180-2012 Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nym obrazcam* [State Standard 10180-2012 Concretes. Methods of determination of strength by control samples]. Moscow: Standartinform Publ.; 2012. 32 p. (In Russ.)
16. *GOST 18105-2018 Betony. Pravila kontrolja i ocenki prochnosti*. [State Standard 18105-2018 Concretes. Rules for the control and assessment of strength]. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. 19 p. (In Russ.)
17. *GOST 24452-80 Betony. Metody opredelenija prizmennoj prochnosti, modulja uprugosti i koeficienta Puassona* [State Standard 24452-80 Concretes. Methods of determination of prism strength, modulus of elasticity and Poisson's coefficient]. Moscow: Standartinform Publ.; 1982. 14 p. (In Russ.)
18. *GOST 12004-81. Stal' armaturnaja. Metody ispytaniya na rastjazhenie (s Izmenenijami N 1, 2)* [State Standard 12004-81 Reinforcing steel. Methods of tension test (as amended N 1, 2)]. Moscow: Standartinform Publ.; 1983. 12 p. (In Russ.)
19. *GOST R 52544-2006. Prokat armaturnyj svarivaemyj periodicheskogo profilja klasov A500S i B500C dlja armirovanija zhelezobetonnyh konstrukcij* [State Standard 52544-2006 Welded rebar of periodic profile of A500C and B500C classes for reinforcement of reinforced concrete structures]. Moscow: Standartinform Publ.; 2007. 23 p. (In Russ.)
20. Kudryavtsev M.V. Strength and deformability of concrete under low-cycle loading. *Innovations and Investments*. 2022;5:195–201. (In Russ.)
21. *SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdejstviya* [Set of Rules 20.13330.2016 Loads and effects]. Moscow; 2017. 95 p. (In Russ.)
22. *SP 63.13330.2018. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozhenija* [Set of Rules 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions]. Moscow, 2019. 124 p. (In Russ.)

**Информация об авторах:**

**Кудрявцев Максим Владимирович**, инженер, преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия, k.m.v.29.12.96@yandex.ru

**Шевчук Андрей Сергеевич**, аспирант кафедры физической и коллоидной химии, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия, shevchuk3003@gmail.com

**Information about authors:**

**Maksim V. Kudryavtsev**, Engineer, Teacher department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, k.m.v.29.12.96@yandex.ru

**Andrey S. Shevchuk**, postgraduate student of the Department of Physical and Colloidal Chemistry, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia, shevchuk3003@gmail.com

**Статья поступила в редакцию 20.02.2023, принята к публикации 28.02.2023.**

**The article was submitted 20.02.2023; approved after reviewing 28.02.2023.**