



УДК 624.012

DOI 10.25628/UNIIP.2020.44.1.015

НОВИКОВ М. В.
ЧЕРНЫШОВ Е. М.
СЛАВЧЕВА Г. С.

**Новиков
Михаил
Викторович**

кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и сооружений им. Н. В. Троицкого ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Российская Федерация

e-mail:
novikov-2005@mail.ru



**Чернышов
Евгений
Михайлович**

доктор технических наук, профессор, академик РААСН, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Российская Федерация

e-mail: chem@vgasu.vrn.ru



**Славчева
Галина
Станиславовна**

доктор технических наук, профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Российская Федерация

e-mail:
gslavcheva@yandex.ru

Прочность нормальных сечений изгибаемых элементов из поризованного бетона естественного твердения

Впервые исследована несущая способность нормальных сечений изгибаемых элементов из поризованного бетона класса В3,5–В7,5 при действии кратковременных нагрузок и предложены приемлемые методы расчета с учетом фактических деформационно-прочностных характеристик бетона и арматуры. Установлено, что в нормально армированных сечениях балок наблюдается пластический тип разрушения, в перearмированных — хрупкий, то есть разрушение происходит при недоиспользованной прочности арматуры и носит внезапный характер. Предложено пользоваться методикой СП 63.13330.2012 для расчета прочности нормальных сечений изгибаемых элементов из поризованного бетона естественного твердения. Наибольшие отклонения значений теоретической несущей способности балок от экспериментальных составляют 16%.

Ключевые слова: прочность, изгибаемый элемент, бетон, нормальное сечение, процент армирования, сжатая зона.

NOVIKOV M. V., CHERNYSHOV E. M., SLAVCHEVA G. S.
STRENGTH OF NORMAL SECTIONS OF BENT ELEMENTS MADE OF POROUS CONCRETE OF NATURAL HARDENING

For the first time, the load-bearing capacity of normal sections of B3.5 class B7.5 curved concrete at short-term loads was investigated, and acceptable methods of calculation taking into account actual deformation and strength characteristics of concrete and reinforcement were proposed. It has been established that in normally reinforced sections of beams there is a plastic type of destruction, in reinforced — brittle, i.e. destruction takes place at underutilized strength of reinforcement and is sudden. It is proposed to use the procedure of SP 63.13330.2012 to calculate the strength of normal sections of bending elements made of porous natural hardening concrete. The greatest deviations of the values of theoretical bearing capacity of beams from experimental ones are 20%.

Keywords: durability, the bent element, concrete, normal section, reinforcing percent, the compressed zone.

Введение

Перспективным направлением повышения эффективности строительства в последнее время является расширение области применения легких макропористых бетонов нового поколения не только для ограждающих, но и для несущих конструкций здания [2, 4, 5, 12, 13, 16]. Одним из таких бетонов, относящихся к новому поколению в классе легких макропористых бетонов, следует считать поризованный бетон естественного твердения, макропористость которого обеспечивается воздухововлечением при пере-

мешивании в присутствии современных высокоэффективных поверхностно-активных добавок [14]. Эффективность его технологии, особенно в малоэтажном строительстве, определяется возможностью получения поризованного бетона в широком спектре средней плотности на одном и том же сырье и оборудовании, вследствие чего он может использоваться в конструкциях различного функционального назначения. Технологический процесс получения бетона можно легко организовать в построечных условиях на мобильных установках без создания сложной

Таблица 1. Характеристики бетона и арматуры. Результаты испытаний балок на изгиб

№ серии	Шифр балки	Характеристика бетона				Характеристика арматуры					Усилие при разрушении R , кН	Относительная высота сжатой зоны ξ_{exp}	Прогиб при разрушении J_{exp} , мм
		Класс бетона	R_b , МПа	E_b , МПа	$\varepsilon_{b0} \cdot 10^5$	Диаметр и класс арматуры	μ , %	E_s , МПа	σ_y , МПа	$\varepsilon_{s0} \cdot 10^5$			
I	Б1-6.1	В3,5	3,5	3860	168	Ø6	0,45	202460	452	223	3,47	0,58	7,6
	Б1-6.2					A400					4,03	0,64	7,4
	Б1-8.1					Ø8		199230	545	274	4,06	0,71	6,2
	Б1-8.2					A500					4,14	0,69	7,0
II	Б2-6.1	В5	4,9	4600	175	Ø6	0,45	202460	452	223	4,50	0,50	8,4
	Б2-6.2					A400					4,70	0,52	8,6
	Б2-8.1					Ø8		199230	545	274	5,84	0,67	7,9
	Б2-8.2					A500					6,06	0,71	8,1
III	Б3-6.1	В7,5	6,5	5250	185	Ø6	0,45	202460	452	223	5,02	0,39	7,4
	Б3-6.2					A400					5,08	0,33	8,0
	Б3-8.1					Ø8		199230	545	274	6,90	0,65	7,6
	Б3-8.2					A500					7,60	0,59	7,2
IV	Б4-6.1	В30	33,5	25 200	204	Ø6	0,45	202460	452	223	7,46	0,19	26,4
	Б4-6.2					A400					7,94	0,11	35,2
	Б4-8.1					Ø8		199230	545	274	13,61	0,13	10,5
	Б4-8.2					A500					12,89	0,19	9,1

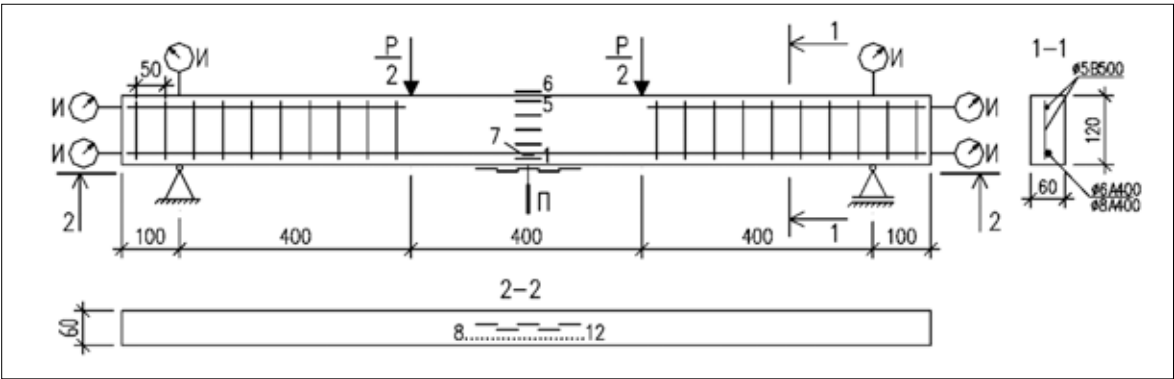


Иллюстрация 1. Схема установки приборов и раскладки тензорезисторов для измерения деформаций при испытании балок на изгиб: 1...5 — тензорезисторы PL-60-11 для измерения продольных деформаций по высоте сечения балки в середине пролета; 6, 7 — то же, для измерения продольных деформаций сжатой зоны бетона и арматуры (FLA-5-11); 8...12 — то же, для определения деформаций растянутых волокон и момента образования трещин; «П» — датчик перемещения WA-Electronic HBM для измерения прогиба балки в середине пролета; «И» — индикаторы часового типа ИЧ-10 мм для измерения осадки опор и углов поворота торцов балки. Автор М. В. Новиков

производственной инфраструктуры. Однако отсутствие нормативной базы по проектированию конструкций на его основе является основной причиной, сдерживающей широкое внедрение данного материала в строительную практику. Ранее проведенные исследования [6, 18] установили закономерности физико-механических свойств поризованного бетона, конструкционную надежность и долговечность сжатых элементов конструкций на его основе. Исходя из этого, представляется необходимым проведение экспериментальных исследований, направленных на обоснование возможности применения поризованного бетона в изгибаемых элементах и получение на их основе приемлемых методов расчета.

Методические положения исследований

В настоящей работе представлены результаты кратковременных испытаний железобетонных балок на чистый изгиб двумя сосредоточенными силами, расположенными в 1/3 пролета от опор. Сечение балок 60×120 (h) мм, длина 1400 мм. При изготовлении балок был использован

поризованный бетон трех классов прочности (В3,5, В5 и В7,5) и плотный бетон класса В30. В зависимости от класса бетона по прочности на сжатие балки были разделены на четыре серии (Таблица 1). Каждая серия включала 4 балки, из которых две изготавливались с процентом армирования нормальных сечений μ_1 (мю) = 0,45% при рабочей арматуре Ø6 мм класса А400 и две балки с μ_2 = 0,8 % при арматуре Ø8 мм класса А500.

Армирование балок производилось сварными арматурными каркасами, отличающимися диаметром и классом рабочей арматуры. Поперечное и продольное армирование в сжатой зоне балок выполнено в крайних третях пролета из арматуры Ø5 мм класса В500. Шаг поперечных стержней 50 мм. Геометрические размеры и схема армирования балок показаны на Иллюстрации 1.

Контроль деформационно-прочностных свойств бетона и рабочей арматуры производился по результатам испытаний серий из 6 образцов кубов размером 100×100×100 мм и 6 образцов призм 100×100×400 мм на осевое сжатие и серий из 6 стержней арматуры с ра-

бочей длиной 200 мм на растяжение. Испытание кубов и призм на осевое сжатие производилось на гидравлической установке Instron 1500HDS по ГОСТ 10180–2012 и ГОСТ 24452–80, арматуры на растяжение — на разрывной машине Instron 5982 по ГОСТ 12004–81. Также были определены параметры диаграмм состояния бетона и арматуры при осевом напряженном состоянии для расчетной оценки прочности испытанных балок по методике действующих норм.

Для изготовления балок и контрольных образцов использовались: портландцемент марки ПЦ-500-ДО-ГОСТ10178–85 ЗАО «Осколцемент»; ПАВ воздухововлекающего действия «Пеностром»; кварцевый песок естественной гранулометрии с $MK=1,4$. Образцы распалубливались через 2–3 суток после изготовления и далее хранились в камере естественного твердения в течение 28 суток.

Испытание изгибаемых элементов производилось по схеме однопролетной шарнирно опертой балки на гидравлической установке Instron 600KN с учетом требований ГОСТ 8829–94. Нагрузка прикладывалась в третях пролета. Во время испытаний измерялись продольные деформации бетона и рабочей арматуры, определялись момент образования трещин, ширина раскрытия трещин, расстояние между трещинами, прогиб в середине пролета и осадка опор. Схема установки и расположения измерительных приборов представлена на Иллюстрации 1. Функцию регистрирующего устройства выполнял тензометрический интерфейс MGCplus AB22A, подключенный к ПК.

Результаты испытаний балок на изгиб

В результате испытаний установлено следующее. Несущая способность изгибаемых элементов с увеличением прочности поризованного бетона увеличилась в 1,1...1,5 раза для балок с рабочей арматурой Ø6 A400 и в 1,3...1,7 раза для балок с арматурой Ø8 A500. При одном и том же классе бетона по прочности несущая способность балок с рабочей арматурой Ø8 A500 в среднем на 10–70% больше, чем с арматурой Ø6 A400 и тем больше, чем выше прочность бетона (Таблица 1).

Прогибы конструкций и ширина раскрытия трещин при контрольных нагрузках не превышали допустимых величин [7]. Практически линейное распределение деформаций по высоте нормального сечения изгибаемых элементов до нагрузки, близкой к разрушающей, свидетельствовало

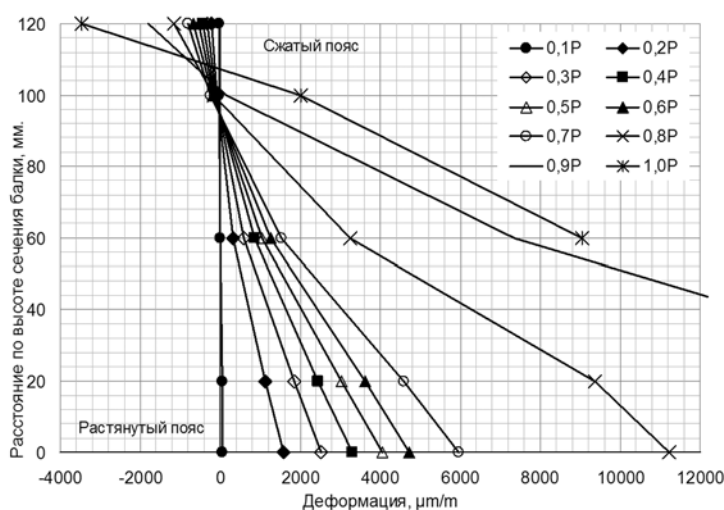


Иллюстрация 2. Распределение деформаций бетона по высоте сечения балки в зависимости от относительного уровня нагрузки (на примере Б4–6.2). Автор М. В. Новиков



Иллюстрация 3. Характерный вид разрушения сжатой зоны бетона на примере балок: а — Б1–6.1; б — Б4–8.1. Фото М. В. Новикова

о применимости к ним гипотезы плоских сечений. Характерные графики распределения деформаций по высоте сечения изгибаемого элемента представлены на Иллюстрации 2.

В зависимости от прочности бетона и процента армирования балок зафиксировано три случая разрушения: хрупкое — по бетону сжатой зоны, пластичное — от текучести арматуры и полухрупкое.

Хрупкий характер разрушения имел место в 1-й серии балок, а также во 2-й и 3-й сериях при $\mu_2 = 0,80\%$, полухрупкий — во 2-й и 3-й сериях при $\mu_1 = 0,45\%$. Данное разрушение балок из поризованного бетона сопровождалось характерным хлопком и выколом в центральной части балки в зоне чистого изгиба сегмента «сжатого» бетона из верхнего пояса балки. Помимо того, в балках с самой низкой прочностью поризованного бетона такое разрушение происходило еще и с раскалыванием сегмента бетона сжатой зоны пополам вдоль плоскости, параллельной h балки (Иллюстрация 3, а).

В балках с хрупким характером разрушения относительные деформации рабочей арматуры не превы-

шали 0,2%, что свидетельствовало о неполном использовании прочностных свойств арматурной стали при ее работе в упругой стадии. Относительные деформации сжатой зоны бетона перед разрушением составляли $(125 \div 330) \cdot 10^{-5}$. При полухрупком разрушении балок напряжения в растянутой арматуре были близки к пределу текучести в образцах БЗ–6 и несколько меньше в образцах Б2–6. Относительные деформации на сжатой грани бетона перед разрушением составляли $(200 \div 300) \cdot 10^{-5}$.

Пластичный характер разрушения имел место в 4-й серии балок из плотного бетона. Разрушение происходило по нормальным сечениям в результате развития пластических деформаций в арматуре растянутой зоны, приводящих к раздроблению бетона сжатой зоны (Иллюстрация 3, б). В данной серии балок напряжения в рабочей арматуре превышали предел текучести при разрушении элементов. Деформация арматуры достигала 2%. Относительная деформация сжатой зоны бетона при разрушении балок изменялась в диапазоне $(300 \div 350) \cdot 10^{-5}$.

Таблица 2. Сопоставление экспериментальной и теоретической несущей способности изгибаемых элементов

Шифр балки	Предельный изгибающий момент M , кНм				
	Эксперимент M_{exp}	M_{ult} по методике СНиП 2.03.01–84*		M_{ult} по методике СП 63.13330.2012	
		$\xi < \xi_R$	$\xi > \xi_R$	$\xi < \xi_R$	$\xi > \xi_R$
Б1–6.1	0,75	—	0,94/0,80	—	0,89/0,84
Б1–6.2	0,85	—	0,94/0,90	—	0,89/0,96
Б1–8.1 Б1–8.2	0,86 0,88	—	0,99/0,87 0,99/0,89	—	0,97/0,88 0,97/0,91
Б2–6.1 Б2–6.2	0,96 1,00	1,06/0,91 1,06/0,94	—	1,06/0,91 1,06/0,94	—
Б2–8.1 Б2–8.2	1,23 1,27	—	1,34/0,92 1,34/0,95	—	1,29/0,95 1,29/0,98
Б3–6.1 Б3–6.2	1,06 1,08	1,13/0,94 1,13/0,95	—	1,13/0,94 1,13/0,95	—
Б3–8.1 Б3–8.2	1,44 1,58	—	1,71/0,84 1,71/0,92	—	1,60/0,90 1,60/0,98
Б4–6.1 Б4–6.2	1,393 1,45	1,30/1,07 1,30/1,11	—	1,30/1,07 1,30/1,11	—
Б4–8.1 Б4–8.2	2,79 2,65	2,69/1,04 2,69/0,98	—	2,68/1,04 2,68/0,99	—

*После дроби дано значение отношения M_{exp} к M_{ult} .

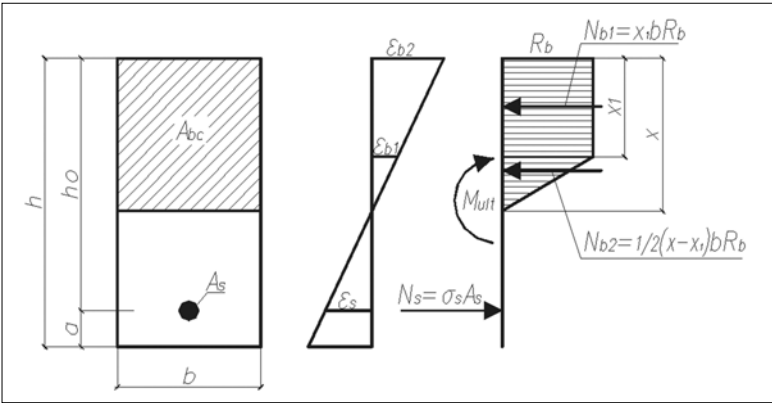


Иллюстрация 4. Расчетная схема напряженно-деформированного состояния нормальных сечений изгибаемых элементов. Автор М. В. Новиков

Для изгибаемых элементов из поризованного бетона, по аналогии с железобетонными элементами, можно выделить три стадии напряженно-деформированного состояния при увеличении нагрузки.

Стадия 1 принята до образования трещин в растянутой зоне изгибаемого элемента, когда бетон растянутой зоны сохраняет сплошность и работает в упругой стадии, а деформации растянутой зоны не превосходят предельных значений. С увеличением нагрузки (стадия Ia) в бетоне растянутой зоны развиваются неупругие деформации, напряжения приближаются к временному сопротивлению при растяжении, в крайних фибрах возникают предпосылки для образования трещин. Стадия Ia положена в основу расчета по образованию

трещин. При дальнейшем увеличении нагрузки (стадия II) в бетоне растянутой зоны образуются трещины, в бетоне сжатой зоны развиваются неупругие деформации, эпюра нормальных напряжений постепенно искривляется. Данная стадия характерна для эксплуатационных нагрузок, где допускается появление трещин в элементах, положена в основу расчета ширины раскрытия трещин и жесткости элементов. С дальнейшим ростом нагрузки (стадия III) напряжения в арматуре достигают предела текучести, а в бетоне сжатой зоны – временного сопротивления сжатию, эпюра нормальных напряжений сжатия становится криволинейной. В зависимости от процента армирования изгибаемого элемента разрушение происходит по армату-

ре растянутой зоны и заканчивается раздроблением бетона сжатой зоны или по бетону сжатой зоны при неполном использовании растянутой арматуры.

Расчетный анализ прочности балок

В настоящее время для расчетной оценки прочности нормальных сечений изгибаемых элементов широко используется нелинейная деформационная модель, которая достаточно хорошо отражает напряженно-деформированное состояние на различных стадиях работы элемента. Основой данного метода расчета являются действительные диаграммы деформирования бетона и арматуры, аналитический вид которых предполагает обобщение имеющихся экспериментальных данных. Различным аспектам реализации данной модели при расчете прочности железобетонных конструкций посвящен ряд работ [4, 8, 15, 17].

В настоящей работе к расчетам балок из поризованного бетона были адаптированы существующие методики норм.

Расчет прочности балок по первой методике проводился в соответствии с СНиП 2.03.01–84* исходя из следующих предпосылок: сопротивление бетона растяжению принималось равным нулю; сопротивление бетона сжатию представлялось напряжениями, равными R_b и равномерно распределенными по сжатой зоне бетона; деформации (напряжения) в арматуре определялись в зависимости от высоты сжатой зоны бетона; растягивающие напряжения в арматуре принимались не более расчетного сопротивления растяжению R_s .

Расчет прочности балок по методике СП 63.13330.2012 проводился исходя из гипотезы плоских сечений, по расчетной схеме с трапециевидной эпюрой напряжений в бетоне сжатой зоны (Иллюстрация 4).

Сравнение результатов расчета прочности нормальных сечений с экспериментальными значениями в зависимости от соотношения между относительной высотой сжатой зоны ξ (кси) и граничным значением ξ_R дано в Таблице 2. Как следует из результатов расчета, при $\xi < \xi_R$ обе методики дают одинаковый результат, при $\xi > \xi_R$ наилучшую сходимость с экспериментом обеспечивает расчет по деформационной модели в соответствии с методикой СП 63.13330.2012. Наибольшие отклонения от экспериментальных значений составляют 16% против 20% по методике СНиП 2.03.01–84*.

Заключение

На основе изложенного в статье материала можно сделать следующие выводы:

- 1 Первые исследованы напряженно-деформированное состояние и характер разрушения изгибаемых элементов из поризованного бетона класса В3,5÷В7,5.
- 2 Изгибаемые элементы имели преимущественно хрупкий характер разрушения от раздробления бетона сжатой зоны, что связано с низкой прочностью на сжатие поризованного бетона и достаточно высоким процентом армирования. Для рационального использования прочностных свойств арматурной стали рекомендуется понизить процент армирования балок для данных классов поризованного бетона.
- 3 Арматура балок работала совместно с бетоном, нормальные сечения оставались плоскими вплоть до разрушения, что согласуется с известной гипотезой плоских сечений.
- 4 С увеличением класса бетона и процента армирования происходит рост несущей способности изгибаемых элементов.
- 5 Расчет прочности нормальных сечений изгибаемых элементов из поризованного бетона естественного твердения по методике действующих норм проектирования дает удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными.

Список использованной литературы

- 1 Куатбаев А.К. Неавтоклавные ячеистые бетоны на основе тонкомолотых сухих смесей // Промышленное и гражданское строительство. — 2017. — № 8. — С. 55–59.
- 2 Маилян Л.Р., Маилян А.Л., Макарычев К.В. Конструктивные свойства пено- и фибропенобетонов на воде с пониженной температурой затвердения // Науч. вестн. Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. — 2012. — № 2 (26). — С. 75–84.
- 3 Моргун Л.В., Смирнова В.В., Богатина А.Ю. Конструкционные возможности фибропенобетона неавтоклавного твердения // Строительные материалы. — 2012. — № 4. — С. 14–16.
- 4 Морозов В.И., Опбул Э.К. Расчет изгибаемых сталефиброжелезобетонных элементов по нелинейной деформационной модели с использованием опытных диаграмм деформирования сталефибробетона // Вестн. гражданских инженеров. — 2016. — № 5 (58). — С. 51–55.
- 5 Михуб А., Польской П.П., Маилян Д.Р., Блягоз А.М. Сопоставление опытной и теоретической прочности железобетонных балок, усиленных композитными материалами, с использованием разных методов расчета // Новые технологии. — 2012. — № 4. — С. 101–110.
- 6 Новиков М.В., Чернышов Е.М., Славчева Г.С. Механические свойства цементного поризованного бетона при одноосном сжатии с учетом закономерностей его ползучести // Строительные материалы. — 2016. — № 11. — С. 26–31.
- 7 Новиков М.В. Силовое сопротивление нормальных сечений армированных изгибаемых элементов из конструкционного поризованного бетона // Вестн. гражданских инженеров. — 2016. — № 3 (56). — С. 60–66.
- 8 Попова М.В., Лисятников М.С., Сергеева А.Н., Модин А.К. Расчет прочности нормальных сечений изгибаемых элементов с учетом полной диаграммы деформирования бетона // БСТ: Бюллетень строительной техники. — 2017. — № 12 (1000). — С. 44–45.
- 9 Попов В.М., Плюснин М.Г. Влияние деформационных характеристик бетона на несущую способность изгибаемых железобетонных элементов // Промышлен-

ное и гражданское строительство. — 2015. — № 8. — С. 5–10.

- 10 Плевков В.С., Малиновский А.П., Балдин И.В. Оценка прочности и трещиностойкости железобетонных конструкций по российским и зарубежным нормам // Вестн. ТГАСУ. — 2013. — № 2 (69). — С. 144–152.
- 11 Плевков В.С., Балдин И.В., Плевков Р.А. Особенности расчета прочности нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов с использованием областей относительного сопротивления // Строительство и реконструкция. — 2017. — № 1 (69). — С. 56–66.
- 12 Сахаров Г.П., Стрельбицкий В.П. Материалы и технологии в малоэтажном строительстве // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. — 2012. — № 5 (160). — С. 22–27.
- 13 Славчева Г.С., Чернышов Е.М., Новиков М.В. Теплоэффективные пенобетоны нового поколения для малоэтажного строительства // Строительные материалы. — 2017. — № 7. — С. 20–24.
- 14 Славчева Г.С., Котова К.С. Повышение эффективности применения неавтоклавных ячеистых бетонов (пенобетонов) в строительстве // Жилищное строительство. — 2015. — № 8. — С. 44–47.
- 15 Старчоус И.В., Бурцев В.М. Расчет изгибаемых железобетонных элементов по прочности нормальных сечений с использованием деформационной модели // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. — 2016. — № 1. — С. 449–452.
- 16 Ухова Т.А., Фискинд Е.С. Комплексное применение неавтоклавных поробетонов и порофибробетонов в возведении малоэтажных жилых домов // Технологии бетонов. — 2012. — № 5–6 (70–71). — С. 71–72.
- 17 Kolchunov V.I., Dem'yanov A.I. The modeling method of discrete cracks in reinforced concrete under the torsion with bending // Инженерно-строительный журнал. — 2018. — № 5 (81). — С. 160–173.
- 18 Novikov M.V., Prokshits E.E., Goykalov A.N. Creep and Long-Time Strength of Compression Elements from Foam Concrete // Solid State Phenomena. — 2018. — Vol. 284. — P. 936–943.
- 19 Steshenko A.V., Kudyakov A.I. Cement based foam concrete with aluminosilicate microspheres for monolithic construction // Инженерно-строительный журнал. — 2018. — № 8 (84). — С. 86–96.

References

- 1 Kuatbaev A.K. Neavtoklavnye yacheistye betony na osnove tonkomolotyh suhih smesey // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. — 2017. — № 8. — S. 55–59.
- 2 Mailyan L.R., Mailyan A.L., Makarychev K.V. Konstruktivnye svoystva peno- i fibropenobetonov na vode s ponizhennoj temperaturoj zatvoreniya // Nauch. vestn. Voronezh. gos. arh.-stroit. un-ta. Stroitel'stvo i arhitektura. — 2012. — № 2 (26). — S. 75–84.
- 3 Morgun L.V., Smirnova V.V., Bogatina A.Yu. Konstrukcionnye vozmozhnosti fibropenobetona neavtoklavnogo tverdeniya // Stroitel'nye materialy. — 2012. — № 4. — S. 14–16.
- 4 Morozov V.I., Opbul E.K. Raschet izgibaemyh stalefibrozhelezobetonnyh elementov po nelinejnoj deformacionnoj modeli s ispol'zovaniem opytnykh diagramm deformirovaniya stalefibrobetona // Vestn. grazhdanskih inzhenerov. — 2016. — № 5 (58). — S. 51–55.
- 5 Mihub A., Pol'skoj P.P., Mailyan D.R., Blyagoz A.M. Sopostavlenie opytnoj i teoreticheskoy prochnosti zhelezobetonnyh balok, usilennykh kompozitnymi materialami, s ispol'zovaniem raznykh metodov rascheta // Novye tekhnologii. — 2012. — № 4. — S. 101–110.

- 6 Novikov M.V., Chernyshov E.M., Slavcheva G.S. Mekhanicheskie svoystva cementnogo porizovannogo betona pri odnoosnom szhatii s uchetoм zakonornostej ego polzuchesti // Stroitel'nye materialy. — 2016. — № 11. — S. 26–31.
- 7 Novikov M. V. Cilovoe soprotivlenie normal'nyh sechenij armirovannyh izgibaemyh elementov iz konstrukcionnogo porizovannogo betona // Vestn. grazhdanskikh inzhenerov. — 2016. — № 3 (56). — S. 60–66.
- 8 Popova M.V., Lisyatnikov M.S., Sergeeva A.N., Modin A.K. Raschet prochnosti normal'nyh sechenij izgibaemyh elementov s uchetoм polnoj diagrammy deformirovaniya betona // BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki. — 2017. — № 12 (1000). — S. 44–45.
- 9 Popov V.M., Plyusnin M.G. Vliyanie deformacionnyh harakteristik betona na nesushchuyu sposobnost' izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. — 2015. — № 8. — S. 5–10.
- 10 Plevkov V.S., Malinovskij A.P., Baldin I.V. Ocenka prochnosti i treshchinostojkosti zhelezobetonnyh konstrukcij po rossijskim i zarubezhnym normam // Vestn. TGASU. — 2013. — № 2 (69). — S. 144–152.
- 11 Plevkov V.S., Baldin I.V., Plevkov R.A. Osobennosti rascheta prochnosti normal'nyh sechenij zhelezobetonnyh izgibaemyh elementov s ispol'zovaniem oblastej odnositel'nogo soprotivleniya // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. — 2017. — № 1 (69). — S. 56–66.
- 12 Saharov G.P., Strel'bickij V.P. Materialy i tekhnologii v maloetazhnom stroitel'stve // Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka. — 2012. — № 5 (160). — S. 22–27.
- 13 Slavcheva G.S., Chernyshov E.M., Novikov M.V. Teploeffektivnye penobetonny novogo pokoleniya dlya maloetazhnogo stroitel'stva // Stroitel'nye materialy. — 2017. — № 7. — S. 20–24.
- 14 Slavcheva G.S., Kotova K.S. Povyshenie effektivnosti primeneniya neavtoklavnyh yacheistyh betonov (penobetonov) v stroitel'stve // Zhilishchnoe stroitel'stvo. — 2015. — № 8. — S. 44–47.
- 15 Starchous I.V., Burcev V.M. Raschet izgibaemyh zhelezobetonnyh elementov po prochnosti normal'nyh sechenij s ispol'zovaniem deformacionnoj modeli // Dal'nij Vostok: problemy razvitiya arhitekturno-stroitel'nogo kompleksa. — 2016. — № 1. — S. 449–452.
- 16 Uhova T.A., Fiskind E.S. Kompleksnoe primeneniye neavtoklavnyh porobetonov i porofibrobetonov v vozvedenii maloetazhnyh zhilyh domov // Tekhnologii betonov. — 2012. — № 5–6 (70–71). — S. 71–72.
- 17 Kolchunov V.I., Dem'yanov A.I. The modeling method of discrete cracks in reinforced concrete under the torsion with bending // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. — 2018. — № 5 (81). — S. 160–173.
- 18 Novikov M. V., Prokshits E. E., Goykalov A. N. Creep and Long-Time Strength of Compression Elements from Foam Concrete // Solid State Phenomena. — 2018. — Vol. 284. — P. 936–943.
- 19 Steshenko A.V., Kudiyakov A.I. Cement based foam concrete with aluminosilicate microspheres for monolithic construction // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. — 2018. — № 8 (84). — S. 86–96.

Mikhail Novikov

Candidate of Technical Sciences, the associate professor of design of buildings and constructions of N. V. Troitsky, FGBOU VO «The Voronezh state technical university», Voronezh, Russian Federation
e-mail: novikov-2005@mail.ru

Evgeny Chernyshov

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of RAASN, FGBOU VO «The Voronezh state technical university», Voronezh, Russian Federation
e-mail: chem@vgasu.vrn.ru

Galina Slavcheva

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology of Construction Materials, Products and Structures, FGBOU VO «The Voronezh state technical university», Voronezh, Russian Federation
e-mail: gslavcheva@yandex.ru

Статья поступила в редакцию в декабре 2019 г.

Опубликована в марте 2020 г.