

Для цитирования: Батаев Д. К.-С., Газиев М.А., Маилян Д.Р., Мажиев Х.Н. Трещиностойкость и долговечность преднапряженных стеновых панелей из ячеистых бетонов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018;45 (2):171-182 DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-2-171-182

For citation: Bataev D.K.-S., Gaziev M.A., Mailyan D.R., Mazhiev H.N. Crack resistance and durability of prestressed wall panels constructed from cellular concrete. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (2): 171-182. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-2-171-182

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 691.32

DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-2-171-182

ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПРЕДНАПРЯЖЕННЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

Батаев Д.К.-С.², Газиев М.А.,⁴ Мажиев Х.Н.³, Маилян Д.Р.¹

¹Академия архитектуры и строительства Донского государственного технического университета,

¹344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162, Россия,

²Комплексный научно – исследовательский институт РАН,
364051, г. Грозный, Старопромысловское шоссе, 21а, Россия,

²⁻⁴Грозненский государственный нефтяной технический университет
имени акад. М.Д. Миллионщикова,

364905, г. Грозный, проспект имени Х.А. Исаева, 100, Россия,

¹e-mail: dmailyn868@rambler.ru, ^{2,3}e-mail: kniiran@mail.ru, ⁴e-mail: mgaziev56@mail.ru

Резюме: Цель. Целью исследования является разработка способов, обеспечивающих повышение трещиностойкости и долговечности преднапряженных стеновых панелей из ячеистых бетонов. **Метод.** Комплексное исследование на стадии заводского изготовления двухмодульных газобетонных стеновых панелей с предварительно натянутыми стержнями из арматурной стали класса А-III, диаметром 10 мм, расположенными в середине толщины панелей в продольном и поперечном направлениях. **Результат.** Суммарные потери напряжений, в напрягаемых стержнях до заливки газобетонной смеси, связанные с релаксацией напряжений в арматуре, с деформациями оголовков напрягаемых стержней в захватных кулачках и стальной формы, а также потери после выхода панелей из автоклава при передаче усилия на бетон, составляют 15- 20% от начального уровня. Длина зоны передачи напряжения в пределах от 150 до 250 мм, в зависимости от размеров напрягаемых стержней. Изучение влияния предварительного обжата в бетоне на закрытие возможных технологических трещин в опытных панелях показали, что вследствие двухосного обжата бетона не только не появляются новые трещины при их работе на изгиб и растяжение (во время распалубки и транспортировки), но и закрываются начальные трещины, иногда появляющиеся при автоклавной обработке. **Вывод.** Сравнительные испытания преднапряженных и типовых панелей на кратковременную нагрузку согласно ГОСТ 8829-94 свидетельствуют о существенном повышении их жесткости и трещиностойкости, а также прочности на срез их перемычной части. Принятая для напрягаемых арматурных стержней конструкция концевой поперечной анкера в виде подковы, вместе с привязанными к ним плоскими сварными каркасами – лесенками из проволоки Вр-I диаметром 5 мм, установленные по контуру оконных проемов опытных панелей, обеспечивают надежное ее сцепление с ячеистым бетоном и качественную анкеровку в теле панели вплоть до ее разрушения. Двухосное преднапряженное армирование одиночными стержнями, в совокупности с типовым каркасным армированием, открывает возможности для производства наружных стеновых панелей из неавтоклавных ячеистых бетонов с обычной тепловой обработкой, взамен керамзитобетонных панелей.

Ключевые слова: стеновая панель, ячеистый бетон, технологические и усадочные трещины, преднапряженное армирование, потери напряжений, трещиностойкость, долговечность

TECHNICAL SCIENCE
BUILDING AND ARCHITECTURE

CRACK RESISTANCE AND DURABILITY OF PRESTRESSED WALL PANELS
CONSTRUCTED FROM CELLULAR CONCRETE

*Deni K.-S.Bataev*², *Minkail A.Gaziev*⁴, *Hasan N.Mazhiev*³, *Dmitriy R.Mailyan*¹

¹Don State Technical University, Academy of Architecture and Construction,

¹162 Sotsialisticheskaya Str., Rostov-on-Don 344022, Russia,

²Complex scientific research institute of the Russian Academy of Science,

²21a Staropromyslovskoe shosse, Grozny 364051, Russia,

²⁻⁴ M.D. Millionshchikov Grozny State Oil Technical University,

²⁻⁴100 Kh.A. Isayeva Ave., Grozny 364905, Russia,

¹e-mail: dmailyn868@rambler.ru, ^{2,3}e-mail: kniiran@mail.ru, ⁴e-mail: mgaziev56@mail.ru

Abstract Objectives The aim of the study is to develop ways to increase the crack resistance and durability of prestressed wall panels made of cellular concrete. **Method** A complex study was carried out at the stage of factory manufacturing of two-module, aerated concrete wall panels with prestressed rods of class A-III reinforcing steel, 10 mm in diameter, located in the middle of the panel in the longitudinal and transverse directions. **Results** It was found that the total stress losses in straining rods prior to casting of the aerated concrete mix, connected with stress relaxation in the reinforce and with deformations of the headings of the straining rods in the gripping jaws, the steel mould deformations, as well as the losses after the panel exit from the autoclave during the transfer of force to the concrete, are 15-20% of the initial level. At the same time, depending on the dimensions of the straining rods, the length of the strain transfer zone was in the range of 150 to 250 mm. A study of the effect of pre-compression on the closure of possible technological cracks in concrete test panels showed that, due to biaxial compression of concrete, new cracks do not appear when they work on bending and stretching (during the decking and transportation). Moreover, initial cracks that sometimes can appear during the autoclave processing become closed. **Conclusion** Comparative tests of prestressed and typical panels for short-term load in accordance with GOST 8829-94 requirements indicate a significant increase in their rigidity and crack resistance, as well as the shear strength of their bridge part. The design of straining reinforcing rods with the end transverse anchor in the form of a horse-shoe, together with attached flat welded frameworks made of Vr-I wire with a diameter of 5 mm, which are installed along the contour of the window openings of the test panels, ensure its reliable adhesion to cellular concrete and effective anchoring in the panel's body until the end of its useful life. Biaxial prestressed reinforcement by single rods in combination with conventional frame reinforcement opens up possibilities for the production of external wall panels from non-autoclaved cellular concrete with ordinary heat treatment, instead of ceramsite concrete panels.

Keywords: wall panel, cellular concrete, technological cracks, shrinkage cracks, prestressed reinforcement, stress loss, crack resistance, durability

Введение. В эксплуатационных условиях при влагообменных и карбонизационных процессах в ячеистобетонных стеновых панелях появляются усадочные трещины, которые могут стать началом разрушения структуры самого бетона, что приводит к интенсификации развития деструктивных процессов в бетоне и в стальной арматуре за счет ее коррозии, что и снижают их долговечность [1-5, 11-14].

Проблема повышения трещиностойкости крупногабаритных изделий из ячеистых бетонов является многоплановой, комплексной и решать ее надо не только технологическими приемами, но и при проектировании изделий, а также в период эксплуатации [1, 3, 12, 15-20].

Одним из путей повышения трещиностойкости и долговечности наружных стеновых панелей из автоклавных ячеистых бетонов является применение предварительно напряженной арматуры [1].

Необходимость дальнейшего развития производства крупногабаритных наружных стено-

вых конструкций с предварительным напряжением арматуры подвергается сомнению из-за технических трудностей заанкеривания арматуры в относительно малопрочном ячеистом бетоне, а также с возможными высокими потерями в арматуре на стадии их изготовления и от усадки и ползучести бетона в процессе их эксплуатации.

Однако, исследования, проведенные в 1970-1985 гг. в НИИЖБе, ЦНИСКе им. В.А.Кучеренко, Уральском ПромстройНИИпроекте и УПИ им. С.М. Кирова, показали, что предварительное напряжение арматуры в ячеистобетонных стеновых конструкциях не только эффективно повышает их жесткость и трещиностойкость, но и значительно уменьшает трудоемкость и себестоимость производства таких изделий [1,3,6].

Особое значение имеет надежность анкеровки арматуры в ячеистом бетоне. В конструкциях из обычного тяжелого бетона анкеровка преднапряженной арматуры обеспечивается в основном силами сцепления ее с бетоном. В автоклавных ячеистых бетонах эти силы недостаточны и анкеровка предварительно-напряженной арматуры должна обеспечиваться специальными мероприятиями.

В НИИЖБе и ЦНИСКе для повышения надежности анкеровки преднапряженной арматуры в изделиях из автоклавных ячеистых бетонов исследовали спирали и утолщенную цементно-полистерольную обмазку проволок, а также использовали для создания предварительного напряжения одиночные стержни из стали класса А-III и А-IIIв, располагаемые симметрично в два ряда по толщине панели с анкеровкой их с помощью шайб [7-10].

В Уральском ПромстройНИИпроекте была разработана система предварительно напряженного армирования для стеновых панелей из ячеистого бетона в виде отдельных плоских каркасов, со специальным устройством для предварительного натяжения, представляющее собой домкрат, крепящийся на форме стационарно или временно с помощью упорной втулки. В данном случае поперечные стержни каркасов служат анкерами для растянутой арматуры [3].

В УПИ им. Кирова предложили способ предварительно напряженного армирования наружных стеновых панелей из автоклавного газозолотона отдельными электротермически напрягаемыми стержнями, которые располагаются по середине толщины панели в одном или в двух направлениях. При этом на концах напрягаемых стержней высаживаются головки для закрепления их в захватных натяжных устройствах и привариваются поперечные анкера из обрезков арматурной стали [7].

Постановка задачи. Целью исследования является разработка способов, обеспечивающих повышение трещиностойкости и долговечности преднапряженных стеновых панелей из ячеистых бетонов.

В статье приводятся результаты комплексных исследований опытных предварительно напряженных газобетонных панелей, изготовленных на Пермском заводе силикатных панелей, в целях установления:

- фактических потерь напряжения в арматуре на стадии их изготовления, связанные с релаксацией напряжений в арматуре, с деформациями оголовков напрягаемых стержней в захватных кулачках и стальной формы, а также потери после выхода панелей из автоклава при передаче усилия на бетон;
- длины зоны передачи напряжений для преднапрягаемых одиночных стержней с концевыми криволинейными поперечными анкерами, а также в совокупности с привязанными к ним плоскими сварными каркасами – лесенками из проволоки $V_r - I$ диаметром 5 мм, которые устанавливаются по контуру оконных проемов;
- влияния предварительного обжата в бетоне на закрытие возможных технологических трещин в панелях, иногда появляющиеся на их поверхности при автоклавной обработке;
- влияния предварительного напряжения на прочность, жесткость и трещиностойкость опытных и контрольных панелей с типовым армированием при кратковременных испытаниях в соответствии с ГОСТ 8829-94, с оценкой несущей способности концевого анкера в теле бетона при нагрузках, близких к разрушающим.

Методы исследования. В ходе заводского изготовления опытных стеновых панелей из газобетона с предварительно напряжённой стержневой арматурой были определены основные виды потерь напряжения в арматуре, происходящие на этой стадии, которые в научно-технической литературе называют первыми потерями предварительных напряжений.

Для определения этих потерь были проведены следующие экспериментальные исследования. На борта стальной формы для панели типа Н-І-І-ІІ натягивали стержневую арматуру класса А-ІІІ диаметром 10 мм в продольном и поперечном направлениях. Схема армирования опытных газобетонных панелей с предварительно напряженным армированием показана на рис.1.

Натяжение стержневой арматуры производилось электротермическим способом, при этом величина напряжения для продольных стержней составляла 380-400 МПа, а для поперечных – 320-350 МПа.

Для закрепления стержневой напрягаемой арматуры на упорах форм применялись концевые анкера в виде оголовок из опрессованных в холодном состоянии шайб, изготовленных из стальных толстостенных труб.

Контроль напряжения в преднапрягаемой арматуре до заливки ячеистобетонной массы производился по абсолютному удлинению стержней, рассчитанному теоретически в предположении, что напряжение в них достигнуто соответствующей величины, а также для контроля осуществлялся переносным пружинным динамометром типа ПРД-6.

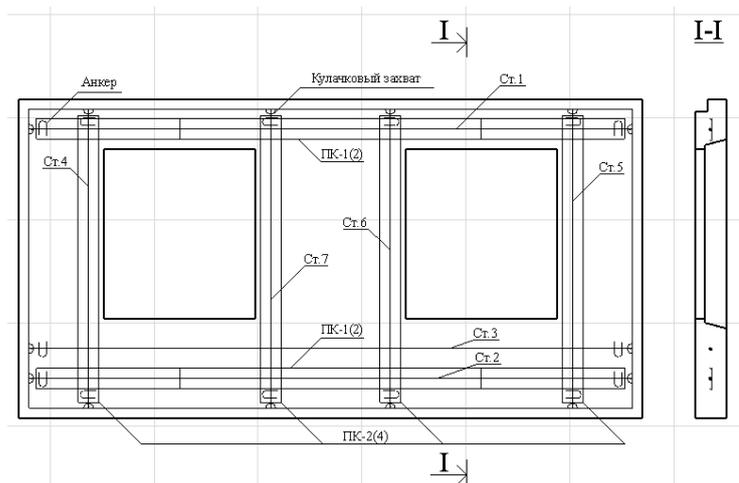


Рис.1. Схема установки напрягаемых стержней на борта формы и укладки плоских каркасов для опытной газобетонной панели: Ст. 1-7 – напрягаемые стержни – Ш10АІІІ; ПК-1(2)-2(4) – плоские каркасы 2 Ш 5 Вр-І+19ч30 Ш 4 Вр-1

Fig.1. Installation scheme of prestressed rods on the sides of the form and laying of flat frames for an experimental concrete panel: Art. 1-7 - tense rods - Ш10АІІІ; PC-1 (2) -2 (4) - flat frames 2 Ш 5 ВР-І + 19 ч 30 Ш 4 ВР-1

К потерям, происходящим в напрягаемых стержнях до заливки газобетонной смеси, относятся потери от релаксации напряжений в арматуре и деформации опрессованных оголовок напрягаемых стержней в захватных кулачках, а также от деформации стальной формы при её перестановке по заводской технологической линии.

Для определения этих потерь опытную форму с преднапряженными стержнями, после их натяжения, выдерживали в течение 3,5 часа, затем перемещали на различные посты с помощью мостового крана. При этом измерения напряжений в предварительно-напряженных одиночных стержнях производились с помощью переносного динамометра ПРД-6. Величины потерь в процентах от уровня начальных напряжений в исследуемых стержнях представлены на рис.2.

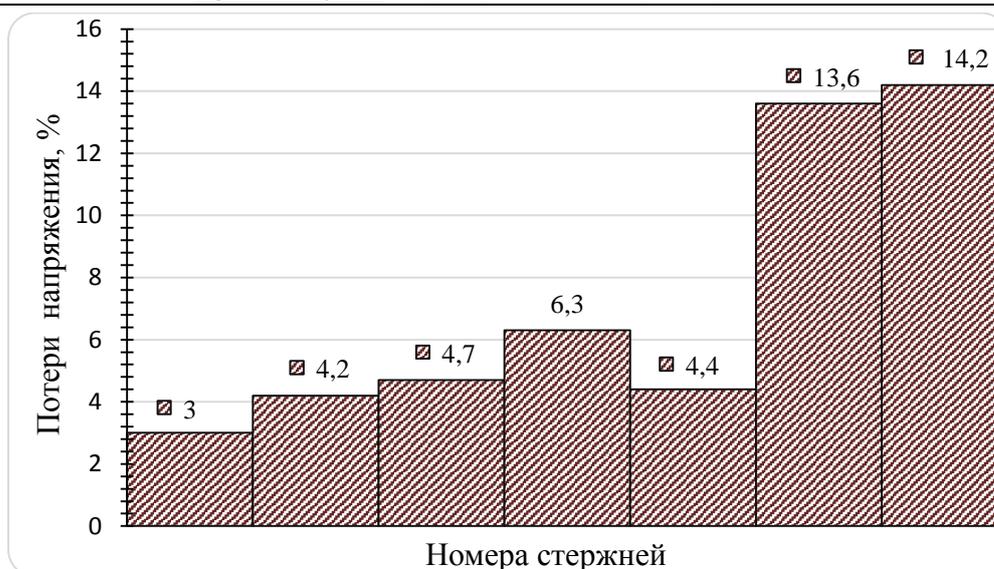


Рис. 2. Потери предварительных напряжений в арматурных стержнях до заливки газобетонной смеси

Fig. 2. Loss of prestressing in rebars before pouring aerated concrete mixture

В среднем величины потерь от уровня начальных напряжений в трех стержнях длиной 6м., напрягаемых на короткие борта, составили 3,6 % (12, 1 МПа), а в стержнях длиной 2,8 м (Ст. 4-7), напрягаемых на длинные борта, эти потери составили 9,6 % (31,4 МПа). Наибольшие потери (14 % или 46 МПа) были обнаружены в коротких стержнях под № 6 и 7. Формование и автоклавная обработка опытных преднапряженных газобетонных панелей производились в соответствии с принятой на Пермском заводе силикатных панелей технологией.

Для приготовления газобетона на смешанном вяжущем плотностью 600кг/м³ класса В2,5 использовались:

- портландцемент Пашийский М400 с добавкой гранулированного шлака до 15%;
- известь Чусовского карьера с примесью Пашийской с удельной поверхностью помола $S=4500$ см²/г, температурой гашения 52С, с содержанием активных СаО+MgO-60%;
- кварцевый песок Пролетарского месторождения с удельной поверхностью помола $S=2590$ см²/г.

Автоклавная обработка газобетона осуществлялась по режиму: подъем давления 2 часа, изотермическая выдержка при давлении 0,8 МПа- 8часов и снижение давления- 4 часа.

К потерям, происходящим в арматуре на стадии изготовления панелей, относятся также потери при отпуске натяжения во время распалубки панелей после выхода их из автоклава (потери при передаче усилия на бетон).

Для установки приборов при определении потерь преднапряжения в арматуре при отпуске натяжения были закреплены на напрягаемые стержни под № 1,3, 5 и 7, до заливки газобетонной смеси, пенопластовые плитки размерами 100х250х150мм для образования окошек в бетоне.

Схема расположения данных окошек для установки тензометров Гугенбергера при замере потерь напряжения в длинных и коротких напрягаемых стержнях показана на рис.3. Рычажные тензометры были установлены на арматурных стержнях при помощи специальных удлинителей и крепежных элементов на базе 150 мм, отсчеты снимались сразу же после отпуска натяжения, а затем по истечении 30 мин.

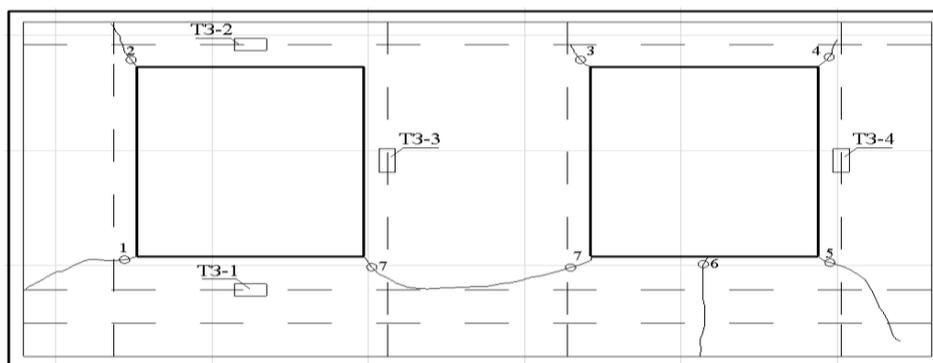


Рис. 3. Схема установки приборов для оценки потерь в стержнях при передаче усилия на бетон и замера ширины раскрытия технологических трещин: 1ч7- номера трещин с местами для замера их величины; Т3-1ч Т3-4-тензометры Гугенберга

Fig. 3. Scheme of installation of instruments for estimating losses in the rods during the transfer of effort to concrete and measuring the width of the opening of technological cracks: 1 ч 7 are the numbers of cracks with places to measure their size; Т3-1 ч Т3-4 Huguenberger strain gauges

Обсуждение результатов. Исследования показали, что величина потерь преднапряжения в арматуре при передаче усилия на бетон составили для стержней продольного направления 22 МПа, а для стержней поперечного направления в среднем – 6 МПа. После выдержки в течение 30 мин. эти значения выросли соответственно до 30 МПа и 8МПа.

В ходе проводимых исследований также измеряли длину зоны анкеровки преднапряженной арматуры и величину обжатия ячеистого бетона с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01мм. Группа приборов для измерения длины зоны анкеровки арматуры устанавливалась на базе 200мм цепочкой вдоль двух поперечных и продольных напрягаемых стержней под №-ми 1,3 и 5,7. Крайний в цепочке прибор устанавливался в 100мм от торца панели.

Обжатие бетона измерялось на базе 500 мм в средней части (в простенке между проемами окон) панели с помощью переносного деформометра в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Измерения показали, что после передачи усилия предварительного напряжения относительные деформации газобетона составляли соответственно в поперечном и продольном направлении в пределах 0,18-0,20*10⁻³, а величина длины зоны анкеровки арматуры 150-250 мм.

Опытные панели были армированы одиночными предварительно напрягаемыми стержнями диаметром 10 мм из арматуры класса А-III в двух направлениях – продольном и поперечном.

Для исключения проскальзывания арматуры при отпуске натяжения и обеспечения дополнительной анкеровки, к концам продольных напрягаемых стержней приваривали поперечные, гнутые в виде подковы, анкера длиной 150 мм из тех же арматурных стержней. Для фиксации напрягаемой арматуры используют специальные кулачковые захваты, закрепляемые на откидных бортах форм.

Торцевой упор хватного устройства входит вовнутрь формы на 2-3 см, что позволяет закреплять в нем напрягаемый стержень так, чтобы он не выступал после распалубки за габариты изделия. Стержни до натяжения, также, как и другие арматурные детали, окунали в ванну с цементно-казеиновой антикоррозионной обмазкой.

В четвертях оконных проемов и в перемычках панелей была установлена конструктивная арматура в виде однотипных сварных плоских каркасов, а у боковых торцевых граней – в виде гнутых сеток, изготовленных из арматурной проволоки класса Вр-I, причем продольные стержни имели диаметр 5мм, а поперечные – 4 мм с шагом 100-200 мм.

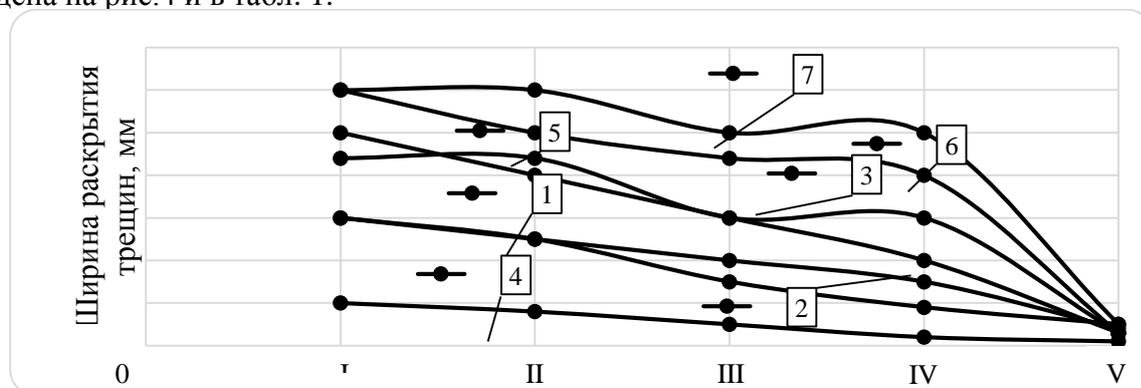
В ходе исследований, с целью специального изучения эффекта влияния предварительно напряженного армирования на закрытие возможных начальных технологических трещин, иногда появляющиеся при автоклавной обработке, было осуществлено наблюдение за развитием

трещин в опытной панели, армированной только лишь одиночными преднапряженными стержнями с концевыми анкерами и с усиленными подъемными петлями, в которой образовались наибольшее количество трещин с шириной раскрытия более 0,2 мм.

Для оценки динамики дальнейшего развития данных трещин осуществлялся замер их ширины на поверхности панели отсчетным микроскопом типа МПБ-2 (увеличение 1:24) на следующих V-ти этапах, а именно:

- до передачи усилия обжатия на бетон;
- после отпуска продольных стержней;
- после отпуска поперечных стержней;
- после выдержки 0,5–1 часа;
- после подъема панели из формы с установкой в вертикальное положение и подвеской на посту отделки.

При выходе из автоклава данная преднапряженная двухмодульная стеновая панель имела семь трещин разной длины и направлений, ширина раскрытия которых колебалась от 0,05 до 0,3 мм. Характер расположения технологических трещин в опытной панели показан на рис.3, а динамика их развития на определенных этапах их замеров приведена на рис.4 и в табл. 1.



Этапы замеров трещин

Рис.4. Динамика развития возможных технологических трещин в опытной панели до и после передачи усилия обжатия на бетон на различных этапах их замеров: 1ч7 - №№ трещин на рис.3.

Fig.4. Dynamics of development of possible technological cracks in the experimental panel before and after the transfer of the compression force to concrete at various stages of their measurements: 1 ч 7 - crack number № in Fig. 3

Этапы замеров:

I – до передачи усилий обжатия;

II и III после отпуска продольных и поперечных стержней соответственно;

IV – после выдержки 0,5 часа;

V – после подъема панели из формы с установкой в вертикальное положение, затем подвеской на посту отделки.

После отпуска продольных и поперечных преднапряженных стержней и при последующей выдержке от 0,5 до 1 часа ширина большинства технологических трещин на поверхности газобетонной панели уменьшилась в 1,5-10 раза, при этом трещины под условными № 1,2 и 4 закрылись полностью.

После подъема панели из формы мостовым краном и с установкой ее в вертикальное положение, а затем подвеской на посту отделки закрылись и другие трещины и остались заметными лишь те, которые имели ранее ширину раскрытия в пределах 0,25–0,30 мм (рис.4 и табл.1)

Таблица 1. Развитие возможных технологических трещин в газобетонных панелях типа Н-1-1-П с преднапряженным армированием
Table 1. Development of possible technological cracks in aerated concrete panels type Н-1-1-Р with prestressed reinforcement

№№ трещин (см. рис. 3)	Количество делений / ширина трещин, мм				
	№№ этапов (см. рис.4)				
	1	2	3	4	5
1	$\frac{3}{0,15}$	$\frac{2,5}{0,125}$	$\frac{2}{0,1}$	$\frac{1,5}{0,075}$	$\frac{0,4}{0,02}$
2	$\frac{3}{0,15}$	$\frac{2,5}{0,125}$	$\frac{1,5}{0,075}$	$\frac{1,3}{0,045}$	$\frac{0,5}{0,025}$
3	$\frac{4,4}{0,22}$	$\frac{4,4}{0,22}$	$\frac{3}{0,15}$	$\frac{3}{0,15}$	$\frac{0,3}{0,015}$
4	$\frac{1}{0,05}$	$\frac{0,8}{0,04}$	$\frac{0,5}{0,025}$	$\frac{0,2}{0,01}$	$\frac{0,1}{0,005}$
5	$\frac{5}{0,25}$	$\frac{4}{0,2}$	$\frac{3}{0,15}$	$\frac{2}{0,1}$	$\frac{0,3}{0,015}$
6	$\frac{6}{0,3}$	$\frac{5}{0,25}$	$\frac{4,5}{0,225}$	$\frac{4}{0,2}$	$\frac{0,3}{0,015}$
7	$\frac{6}{0,3}$	$\frac{6}{0,3}$	$\frac{5}{0,25}$	$\frac{5}{0,25}$	$\frac{0,5}{0,025}$

Экспериментальные газобетонные наружные стеновые панели с комбинированным преднапряженным и конструктивным армированием (рис.1), а также, для сравнительной оценки, и контрольные панели типа Н-1-1-П для жилых домов серии Э-600п с объемно-каркасным армированием, были испытаны в соответствии с требованиями ГОСТ 8829 -94 нагружением на прочность, жесткость и трещиностойкость, которые обычно проводят перед началом их массового изготовления и при изменении их армирования или конструктивных решений. Стеновые панели при испытании устанавливали на силовой стенд в проектом (рабочем) положении, согласно статической схемы их работы (как самонесущие на высоту здания) в жилом 12-ти этажном доме (рис.5).

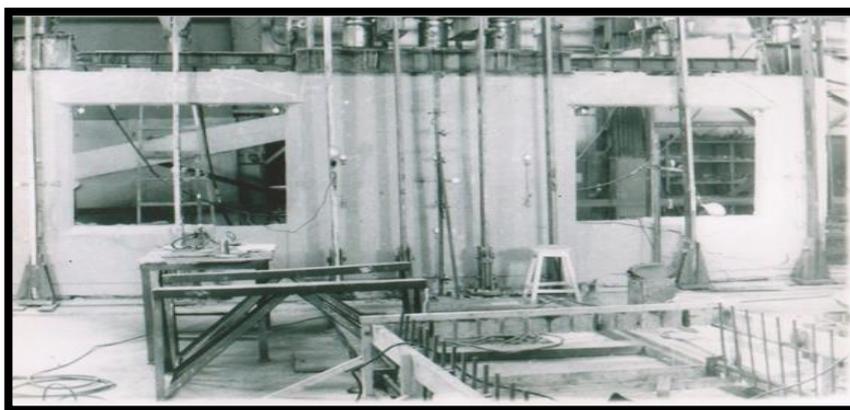


Рис.5. Общий вид опытной панели на силовом стенде во время испытаний
Fig.5. General view of the experimental panel on the power stand during testing

Вертикальная нагрузка создавалась с помощью семи гидродомкратов с усилиями от 2,5 до 5,0 тс, которая передавалась на панели в виде равномерно распределенной нагрузки через жесткие стальные траверсы и контролировалась по манометру насосной станции.

Загружение панелей производили вертикальной нагрузкой за пять этапов до нормативной или расчетной ее величины и, после получасовой выдержки, продолжали дальнейшие испытания вплоть до ее разрушения.

В промежутках между этапами нагрузки снимали показания с измерительных приборов,

производили визуальный осмотр поверхности испытуемой панели и фиксировали появление и раскрытие силовых трещин. В процессе испытаний измеряли индикаторами часового типа с ценой деления 0,01мм продольные и поперечные деформации газобетона в средней части по высоте и ширине простенков панелей на базе 400 и 300мм соответственно, а также деформации сдвига зон сопряжения перемычки с простенками.

Прогибы перемычек измеряли с помощью прогибомеров системы Максимова с точностью 0,01мм, которые были установлены в середине их пролетов.

Образование и раскрытие трещин фиксировалось отсчетным микроскопом типа МПБ-2 с 24- кратным увеличением. В процессе испытания на торцевых участках опытных панелей также производились с помощью парных индикаторов с точностью 0,01 мм измерения для определения возможного смещения трех предварительно напряженных продольных стержней с концевыми анкерами относительно бетона.

Фрагменты характерных разрушений в различных зонах экспериментальных панелей из газобетона с преднапряженным армированием, после доведения их в процессе испытания до разрушения, показаны на рис.6.

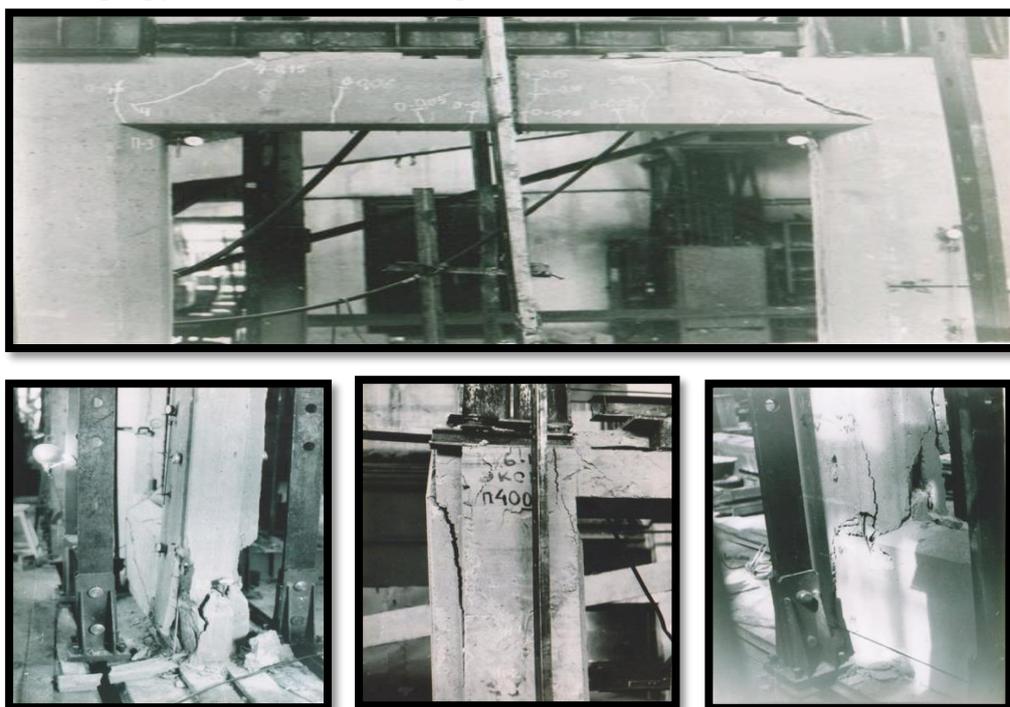


Рис.6. Фрагменты характерных разрушений в разных участках опытных панелей
Fig.6. Fragments of characteristic damage in different parts of the experimental panels

Экспериментальные испытания данных панелей кратковременной нагрузкой

Исследования показали, что ширина раскрытия силовых трещин у панелей с преднапряженным армированием при нормативной нагрузке в 1,5-2 раза меньше, чем у панелей с обычным объемно-каркасным армированием.

Отношение фактического прогиба к контрольному при нормативной нагрузке у панелей с напряженным армированием составило 0,6-0,8, а у обычных серийных панелей- 0,95-1,05. При статических испытаниях силовые трещины шириной раскрытия 0,2 мм на преднапряженных панелях появились при нагрузках, превышающих расчетные. У контрольных панелей с обычным типовым армированием такие же трещины появлялись при нагрузках, составляющих 0,4-0,5 от расчетных. Деформации сжатия бетона в простенках панелей как с обычной, так и с предварительно напряженной арматурой были весьма близки друг другу и составляли на последних этапах загрузки величины порядка $1,2 - 1,4 \times 10^{-3}$.

Как уже указывалось, в ходе испытания опытных панелей производилось измерение смещения предварительно напряженной арматуры относительно бетона. До момента полного разрушения панелей сдвига арматуры обнаружено не было, что свидетельствует о достаточно

надежном сцеплении предварительно напряженной арматуры с автоклавным газобетоном и качественной ее анкеровке в теле бетона.

Вывод. Результаты исследования позволяют сформулировать следующее:

1. Применение в наружных стеновых панелях из автоклавного газобетона предварительно напряженного армирования в виде натянутых в двух направлениях одиночных стержней из арматуры периодического профиля диаметром 10мм класса А-III с опрессованными головками и приваренными к ним, гнутыми в виде подковы, концевыми анкерами, позволяют существенно повысить их трещиностойкость на стадии изготовления с одновременным снижением расхода арматуры и затрат на арматурные работы по сравнению с панелями с типовым каркасным армированием.

2. Установлено, что суммарные потери напряжений, происходящие в поперечных и продольных напрягаемых стержнях для преднапряженных панелей до заливки газобетонной смеси, связанные с релаксацией напряжений в арматуре, с деформациями опрессованных оголовков напрягаемых стержней в захватных кулачках и стальной формы при её перестановке по заводской технологической линии, а также потери при передаче усилия на бетон после выхода опытных панелей из автоклава, составляют в среднем 15- 20% от первоначальной ее величины.

3. Изучение влияния предварительного обжатия в бетоне на закрытие возможных к появлению при автоклавной обработке на поверхности газобетонной панели технологических трещин показало, что после отпуска поперечных и продольных преднапряженных стержней для передачи усилия на бетон и при последующей выдержке от 0,5 до 1 часа, ширина большинства из этих трещин уменьшилась в 1,5-10 раза и находилась в пределах от 0,005 до 0,025мм, а длина зоны передачи напряжения составила для одиночных стержней с концевыми анкерами в пределах от 150 до 250 мм, в зависимости от размеров напрягаемых стержней.

4. Результаты испытания силовой нагрузкой, согласно требованиям ГОСТ 8829-94 на прочность, жесткость и трещиностойкость опытных преднапряженных и контрольных типовых панелей с объемно-каркасным армированием, свидетельствуют о том, что предварительное напряжение значительно повышает их трещиностойкость и жесткость. При этом, принятая конструкция концевого поперечного анкера в виде подковы для напрягаемых арматурных стержней, в совокупности с привязанными к ним плоскими сварными каркасами – лесенками из проволоки Вр – I диаметром 5 мм, которые устанавливаются по контуру оконных проемов опытных панелей, обеспечивает надежное ее сцепление с ячеистым бетоном и качественную анкерровку в теле панели вплоть до ее разрушения.

Библиографический список:

1. Силаенков Е.С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. М.: Стройиздат, 1986. – 176 с.
2. Батаев Д.К.-С., Газиев М.А., Пинскер В.А., Чепурненко А.С. Теория расчета усадочных напряжений в ячеистобетонных стеновых панелях при карбонизационных процессах с учетом ползучести // Вестник МГСУ. 2016. № 12. С. 11-22.
3. Газиев М.А. Эмпирический метод расчета влажностно -карбонизационных напряжений в панелях из ячеистого бетона с учетом его реологических свойств // Строительные материалы. 2018. №3. С.75-79.
4. Куршпель В.Х., Макаричев В.В., Филиппов В.П. Стеновые панели из ячеистого бетона с преднапряженным армированием // Бетон и железобетон. 1986. №12. – С. 7-8.
5. Макаркин С.В., Каширский Ю.А. Технологичные анкера для анкеровки арматуры в ячеистом бетоне // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов. – Таллин. – 1987. - ч. II.- С. 176-179.
6. Силаенков Е.С. Урал – опорный край ячеистого бетона в Российской Федерации // Строительные материалы, 2005. №1. – С. 12-17.
7. Силаенков Е.С., Кантор С.Л., Газиев М.А. Учет ползучести бетона вследствие карбонизации при расчете напряженного состояния ячеистых стеновых панелей // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов. – Таллин. – 1987. – ч. I. – С. 160-163.
8. Хлебцев В.П., Трамбовецкий В.П. Исследование несущей способности стеновых панелей из ячеистых бетонов с обычной и предварительно напряженной арматурой // Прочность крупнопанельных каменных конструкций. – М.: Стройиздат, 1972. -С.145-154.
9. Куршпель В.Х., Лобастов В.М. Исследование потерь напряжения в арматуре стеновых панелей // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов. - Таллин. - 1987. - ч. II.-С. 173-175.

10. Батаев Д.К.-С., Газиев М.А., Пинскер В.А. Опыт исследования и внедрения преднапряженных стеновых панелей из автоклавных ячеистых бетонов // Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения: Материалы 9-й Международной научно-научно-практической конференции. Минск: Колорград, 2016. – С.83-85.
11. Баженов Ю.М., Батаев Д.К.-С. Материалы и технологии для восстановительных работ в строительстве. – М.: «КОМТЕХ», 2000. – 234 с.
12. Силаенков Е.С., Батаев Д.К.-С., Мажиев Х.Н., Газиев М.А. Повышение долговечности конструкций и изделий из мелкозернистых ячеистых бетонов при эксплуатационных воздействиях. – Грозный, 2015. – 368 с.
13. Мажиев Х.Н., Батаев Д.К.-С., Газиев М.А., Мажиев К.Х., Мажиева А.Х. Материалы и конструкции для строительства и восстановления зданий и сооружений в сейсмических районах. – Грозный, 2014. – 652 с.
14. Айзенберг Я.М., Мажиев Х.Н., Батаев Д.К.-С., Батдалов М.М., Муртазаев С.-А.Ю. Материалы и конструкции для повышения сейсмостойкости зданий и сооружений. М: «Комтех-Принт», 2009г. – 447 с.
15. Beres L. Shrinkage and Creep of Cellular Concrete, Concrete Building and Concrete Products, Sept., 1968, s. 25-29.
16. Vasicek I. Trvanlivost a odolnost autoklavovanych porovitych betonu pri posobeni susnych Vnejsich jena. - Stavivo, 1965, N6, p. 136-149.
17. Kruml F. Influence of saturation degree of autoclaved aerated concretes on their creep, Autoclaved Aerated Concretes, moisture and Properties, Netherlands, 1983, s. 249-256.
18. Матошлек М., Мишковský I. Pusěvek k Trvanlivosity některých porobetonových staved. Sbornik VUT v brně, 1971, N1-4, s. 301-307.
19. Haust Y., Alou F., Wittmann F. Influence of moisture Content of Mechanical Properties of Autoclave Aerated Concrete, Autoclaved Aerated Concrete, moisture and Properties Netherlands, 1983, s. 219-233.
20. Schaffler H., Druckfestigkeit von dampfgehartetem Casbeton nach, verschidener lagerung. - In: Lightweight Concrete / RILEM, Gütteborg, 1961, p 62-78.

References:

1. Silaenkov E.S. Dolgovechnost' izdelii iz yacheistykh betonov. M.: Stroizdat, 1986. 176 s. [Silaenkov E.S. Durability of products from cellular concrete. M.: Stroizdat, 1986. 176 p. (in Russ.)]
2. Bataev D.K.-S., Gaziev M.A., Pinsker V.A., Chepurnenko A.S. Teoriya rascheta usadochnykh napryazhenii v yacheistobetonnykh stenovykh panelyakh pri karbonizatsionnykh protsessakh s uchetom polzuchesti. Vestnik MGSU. 2016;12:11-22. [Bataev D.K.-S., Gaziev M.A., Pinsker V.A., Chepurnenko A.S. Theory of calculation of shrinkage stresses in cellular concrete wall panels during carbonation processes taking creep into account. Vestnik MGSU. 2016;12:11-22. (in Russ.)]
3. Gaziev M.A. Empiricheskii metod rascheta vlazhnostno -karbonizatsionnykh napryazhenii v panelyakh iz yacheistogo betona s uchetom ego reologicheskikh svoystv. Stroitel'nye materialy. 2018;3:75-79. [Gaziev M.A. An empirical method for calculating moisture-carbonization stresses in panels of cellular concrete, taking into account its rheological properties. Construction Materials. 2018;3:75-79. (in Russ.)]
4. Kurshpel' V.Kh., Makarichev V.V., Filippov V.P. Stenovye paneli iz yacheistogo betona s prednapryazhennym armirovaniem. Beton i zhelezobeton. 1986;12:7-8. [Kurshpel' V.Kh., Makarichev V.V., Filippov V.P. Wall panels of cellular concrete with prestressed reinforcement. Beton i zhelezobeton. 1986;12:7-8. (in Russ.)]
5. Makarkin S.V., Kashirskii Yu.A. Tekhnologichnye ankery dlya ankerovki armatury v yacheistom betone. Dolgovechnost' konstruksii iz avtoklavnykh betonov. Ch. II. Tallin. 1987. S. 176-179. [Makarkin S.V., Kashirskii Yu.A. Technological anchors for anchoring the reinforcement in cellular concrete. Durability of structures made of autoclave concrete. Part II. Tallin. 1987. P. 176-179. (in Russ.)]
6. Silaenkov E.S. Ural – opornyi kraj yacheistogo betona v Rossiiskoi Federatsii. Stroitel'nye materialy. 2005;1:12-17. [Silaenkov E.S. Ural - the stronghold of cellular concrete in the Russian Federation. Construction Materials. 2005;1:12-17. (in Russ.)]
7. Silaenkov E.S., Kantor S.L., Gaziev M.A. Uchet polzuchesti betona vsledstvie karbonizatsii pri raschete napryazhennogo sostoyaniya yacheistykh stenovykh panelei. Dolgovechnost' konstruksii iz avtoklavnykh betonov. Ch. I. Tallin. 1987. S. 160-163. [Silaenkov E.S., Kantor S.L., Gaziev M.A. Consideration of concrete creep due to carbonation in the calculation of stress state of cellular wall panels. Durability of structures made of autoclave concrete. Part I. Tallin. 1987. S. 160-163. (in Russ.)]
8. Khlebtsev V.P., Trambovetskii V.P. Issledovanie nesushchei sposobnosti stenovykh panelei iz yacheistykh betonov s obychnoi i predvaritel'no napryazhennoi armaturoi. Prochnost' krupnopanel'nykh kamennykh konstruksii. M.: Stroizdat; 1972. S.145-154. [Khlebtsev V.P., Trambovetskii V.P. Investigation of the bearing capacity of wall panels made of cellular concrete with conventional and prestressed reinforcement. Strength of large-panel stone structures. M.: Stroizdat; 1972. P.145-154 (in Russ.)]
9. Kurshpel' V.Kh., Lobastov V.M. Issledovanie poter' napryazheniya v armature stenovykh panelei. Dolgovechnost' konstruksii iz avtoklavnykh betonov. Tallin. 1987. Ch. II. S. 173-175. [Kurshpel' V.Kh., Lobastov V.M. Investigation of voltage losses in the reinforcement of wall panels. Durability of structures from autoclave concrete. Tallin. 1987. Part II. P. 173-175. (in Russ.)]

10. Bataev D.K-S., Gaziev M.A., Pinsker V.A. Opyt issledovaniya i vnedreniya prednapryazhennykh stenovykh panelei iz avtoklavnykh yacheistykh betonov. Materialy 9-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Opyt proizvodstva i primeneniya yacheistogo betona avtoklavnogo tverdeniya". Minsk: Kolorgrad; 2016. S.83-85. [Bataev D.K-S., Gaziev M.A., Pinsker V.A. Experience of research and introduction of prestressed wall panels from autoclaved cellular concrete. Materials of the 9th International Scientific and Practical Conference "Experience in the production and application of autoclaved cellular aerated concrete". Minsk: Kolorgrad; 2016. P.83-85. (in Russ.)]
11. Bazhenov Yu.M., Bataev D.K-S. Materialy i tekhnologii dlya vosstanovitel'nykh rabot v stroitel'stve. M.: "KOMTEKh"; 2000. 234 s. [Bazhenov Yu.M., Bataev D.K-S. Materials and technologies for restoration work in construction. M.: "KOMTEKh"; 2000. 234 p. (in Russ.)]
12. Silaenkov E.S., Bataev D.K-S., Mazhiev Kh.N., Gaziev M.A. Povyshenie dolgovechnosti konstruksii i izdelii iz melkozernistykh yacheistykh betonov pri ekspluatatsionnykh vozdeistviyakh. Groznyi; 2015. 368 s. [Silaenkov E.S., Bataev D.K-S., Mazhiev Kh.N., Gaziev M.A. Increasing the durability of structures and products from fine-grained cellular concrete under operational influences. Groznyi; 2015. 368 p. (in Russ.)]
13. Mazhiev Kh.N., Bataev D.K-S., Gaziev M.A., Mazhiev K.Kh., Mazhieva A.Kh. Materialy i konstruksii dlya stroitel'stva i vosstanovleniya zdaniy i sooruzhenii v seismicheskikh raionakh. Groznyi; 2014. 652 s. [Mazhiev Kh.N., Bataev D.K-S., Gaziev M.A., Mazhiev K.Kh., Mazhieva A.Kh. Materials and structures for construction and restoration of buildings and structures in seismic regions. Groznyi; 2014. 652 p. (in Russ.)]
14. Aizenberg Ya.M., Mazhiev Kh.N., Bataev D.K-S., Batdalov M.M., Murtazaev S - A. Yu. Materialy i konstruksii dlya povysheniya seismostoikosti zdaniy i sooruzhenii. M.: "Komtekh-Print", 2009. 447 s. [Aizenberg Ya.M., Mazhiev Kh.N., Bataev D.K-S., Batdalov M.M., Murtazaev S - A. Yu. Materials and structures for increasing seismic resistance of buildings and structures. M.: "Komtekh-Print", 2009. 447 p.(in Russ.)]
15. Beres L. Shrinkage and Creep of Cellalar Concrete, Concrete Building and Concrete Products. Sept. 1968.P. 25-29.
16. Vasicek I. Trvanlivost a odolnost avtoklavovovanykh porovitych betonu pri posobeni susnykh Vnejsich jena. Stavivo.1965;6:136-149.
17. Kruml F. Influence of saturation degree of autoclaved aerated concretes on their creep. Autoclaved Aerated Concretes, moisture and properties. Nethelands; 1983.P. 249-256.
18. Матошлєк М., Мильковскэ I. Pusěvek.K. Trvanlivosity některych porobetonových staved. Sbornik VUT v Brně. 1971;1-4:301-307.
19. Haust Y., Alou F., Wittmann F. Infuence of moisture content of mechanical properties of autoclave aerated concrete. Autoclaved Aerated Concrete, moisture and properties. Netherlands; 1983.P. 219-233.
20. Schaffler H. Druckfestigkeit von dampfgehartetem Gasbeton nach, vershildener lagerung. Lightweight Concrete. Gцtтеborg: RILEM; 1961. P 62-78.

Сведения об авторах:

Батаев Дени Карим-Султанович - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экспертизы, управления недвижимостью и теплогазоснабжения.

Мажиев Хасан Нажоевич - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций.

Маилян Дмитрий Рафаэлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций.

Газиев Минкаил Ахметович-кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций.

Information about the authors.

Deni K.-S Bataev. - Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Expertise, Property Management and Heat and Gas Supply.

Hasan N. Mazhiev - Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Building Structures.

Dmitriy R. Mailyan - Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

Minkail A. Gaziev - Cand. Dr. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Building Structures.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.03.2018.

Принята в печать 25.04.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 14.03.2018.

Accepted for publication 25.04.2018