

УДК 691.328

П. В. КЛАДИЕВА¹, ст. преп. кафедры экспертизы и управления недвижимостью; **А. Е. НАУМОВ¹**, канд. техн. наук, заведующий кафедрой экспертизы и управления недвижимостью; **П. А. ХАЗОВ²**, канд. техн. наук, доцент кафедры теории сооружений и технической механики

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАЛЬНОГО АРМИРОВАНИЯ
ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕМЕНТАМИ С РАЗВИТОЙ
БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

¹ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Тел.: (980) 375-53-71; эл. почта: davidenkorolly@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет». Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (951) 919-09-19; эл. почта: khazov.nngasu@mail.ru

Ключевые слова: армированный ячеистый бетон, ячеистобетонные изгибаемые конструкции, ленточное армирование, арматурные элементы с развитой боковой поверхностью, выдергивание арматуры, напряженно-деформированное состояние арматурных элементов.

В работе рассматривается и содержательно исследуется гипотеза: увеличение площади контактного слоя с бетоном повышает сопротивление арматурного элемента выдергиванию, что увеличивает коэффициент конструктивного использования арматуры, приближая расчетные значения напряжений в элементах к фактическим при реальной работе конструкции. Представлены результаты численного исследования параметров напряженно-деформированного состояния моделей арматурных элементов с развитой боковой поверхностью при выдергивании из ячеистобетонных образцов в сравнении с испытанием традиционного стержневого армирования.

Решение задач энергетической эффективности гражданских зданий, связанное с технологическим суверенитетом страны в ближайшем будущем, технически заключается в предложении конструктивных решений, обеспечивающих неразрывный тепловой контур в объеме здания, выполняемых в один слой из конструкционно-теплоизоляционного материала.

Легкие бетоны отличаются от тяжелых специфичностью внутренней структуры – наличием множества мелких пор, заполненных воздухом или газом, что обуславливает основные особенности совместной работы бетонного сечения элемента и стальных элементов армирования. Поэтому армирование ячеистобетонных конструкций зачастую наталкивается на технологический барьер в виде быстрого исчерпания прочности арматуры за счет ее продергивания в виду низкого удельного сцепления на границе арматуры с бетоном.

Внедрение новых конструктивных решений армирования всегда требует разработки рациональной модели, которая будет описывать процессы, протекающие на границе бетон-сталь, и приближенной к реальному механизму работы арматурного элемента в бетонной конструкции [1]. Надежное соединение



ячеистого бетона и стальных элементов армирования осуществляется за счет механического сцепления и химического взаимодействия материалов в зоне контакта, но учет механических и физических характеристик поверхностных слоев легких бетонов весьма сложен. В научной литературе предлагаются различные аналитические зависимости для расчета нормальных и касательных напряжений в зоне сцепления при сдвиге стальной арматуры в теле бетона методами вытаскивания арматурных стержней из бетонных кубиков, однако доказательных экспериментальных исследований для определения прочности сцепления инновационных арматурных элементов с развитой боковой поверхностью объема ячеистого бетона в отечественной базе нет.

Закономерности взаимодействия стали и бетона определяют особенность железобетона как материала. Прочность сцепления в контакте «ячеистый бетон-сталь» зависит от состояния поверхности металла, адгезии и «когезии» бетона, условий его твердения после вспучивания, созревания и набора прочности, степени обжата арматуры при усадке бетона, а также вида напряженно деформированного состояния в контактной зоне.

Возможности численных методов современных программных комплексов позволяют получить максимально обоснованные результаты практических наблюдений и опытов, что позволит более точно прогнозировать связь между параметрами закона сцепления и факторами, влияющими на него. В данной статье представлены результаты численного исследования напряженно-деформированных состояний и стадий, возникающих при выдергивании арматурных элементов из кубиков ячеистого бетона, определены закономерности распределения контактного давления и значения касательных напряжений в бетоне и на примыкающих гранях [2].

Основным методом исследования контактных процессов является определение величины сцепления в процессе выдергивания арматурного элемента из бетонного кубика, а также значений напряжений, возникающих в бетоне и арматурном элементе [3]. Разрушение связей сцепления между стержнем и бетоном при выдергивании арматуры из кубика представляет собой сложный многостадийный процесс, в котором происходят неоднородные упругопластические деформации бетона и арматуры [4]. После разрушения адгезионных связей наблюдается развитие кольцевых (в случаях с традиционными круглыми арматурными стержнями) и опоясывающих (в случаях с арматурой иного поперечного сечения) микротрещин, которые принимают различные формы и длину [5]. Возникновение и распространение таких трещин приводит к изменению напряженно-деформированного состояния бетона в контактных областях и его дальнейшему послойному разрушению с переходом из микро- в макродефекты.

Для обоснования достоверности выдвинутых научных гипотез было выполнено моделирование и численное исследование совместной работы арматурных элементов в теле ячеистобетонных конструкций, в части испытания элементов армирования с развитой боковой поверхностью на выдергивание из образцов кубиков и сравнения с результатами аналогичных испытаний при традиционном армировании по методике, имитирующей используемую на практике при фактических испытаниях изделия – методику испытания стальной арматуры периодического профиля на вытаскивание по ГОСТ Р 57357-2016.

Испытание вытаскиванием устанавливает метод испытания характеристик сцепления арматурной стали, включенной в бетонный куб вдоль определенной длины, с приложенным растягивающим усилием. Соотношение между силой растяжения и сдвигом определяет относительное смещение между арматурой и бетоном. Принцип испытания представлен (рис. 1).

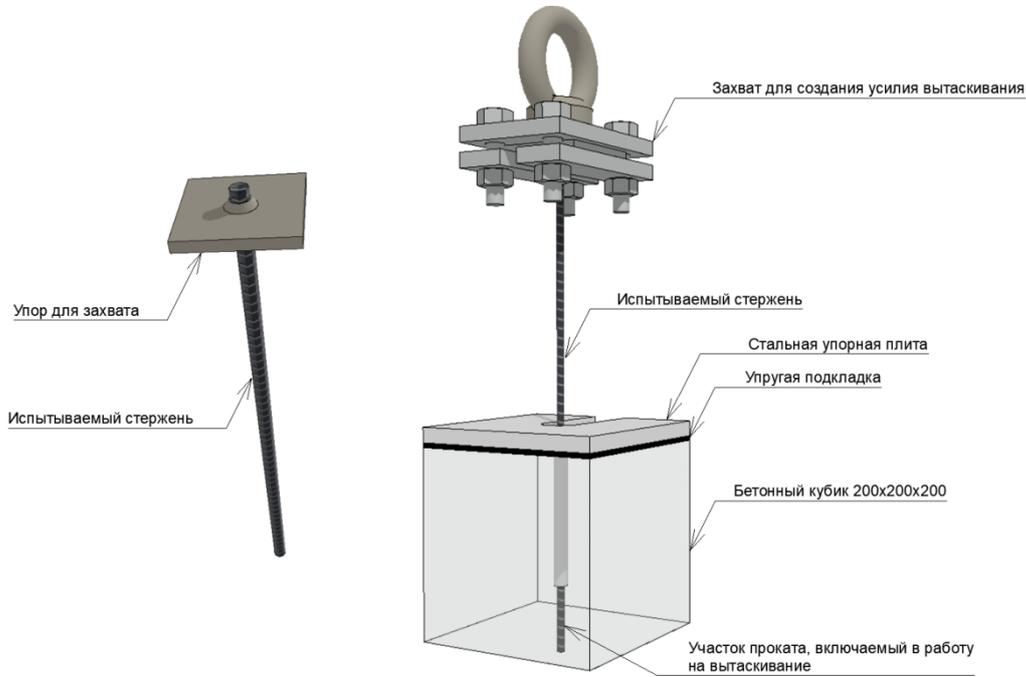


Рис. 1. Испытание стальной арматуры периодического профиля на вытаскивание по ГОСТ Р 57357- 2016 (слева – образец проката (арматурного элемента) для испытаний на вытаскивание, справа – принципиальная схема установки для производства испытаний проката на вытаскивание)

Сравнительный физический расчет выполнен в нелинейно-деформированной постановке с учетом прочностных и деформативных характеристик материалов конструкции в специализированном софте ПК ЛИРА-САПР 2022 на основе метода конечных элементов, решаемого на адаптивной трехмерной неструктурированной тетраэдральной сетке. [6].

Для определения фактического напряженно-деформированного состояния образцов инновационных арматурных элементов и подтверждении гипотезы об эффективности применения в конструкциях из ячеистых бетонов арматурных элементов с развитой боковой поверхностью, повышающей сопротивление выдергиванию и увеличивающей коэффициент конструктивного использования – стальных зубчатых лент с отгибом анкерного зуба под прямым углом, сквозных перфорированных лент с выбитым зубом и сплошных стальных полос (рис. 2), было выполнено численное моделирование опыта на выдергивание их из ячеистобетонных кубиков [7].

**К СТАТЬЕ П. В. КЛАДИЕВОЙ, А. Е. НАУМОВА, П. А. ХАЗОВА
«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАЛЬНОГО АРМИРОВАНИЯ
ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕМЕНТАМИ С РАЗВИТОЙ
БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ»**

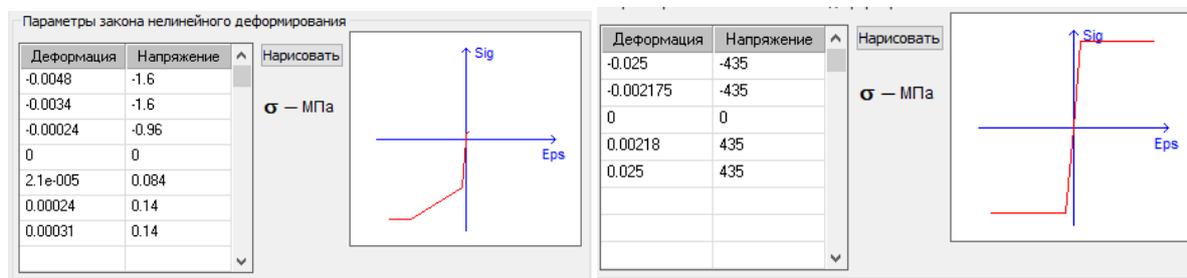


Рис. 1. Физико-механические свойства материалов, заданные кусочно-линейными диаграммами: трехлинейная диаграмма ячеистого бетона (слева) и двухлинейная диаграмма стали элементов армирования (пластин и стержня) (справа)

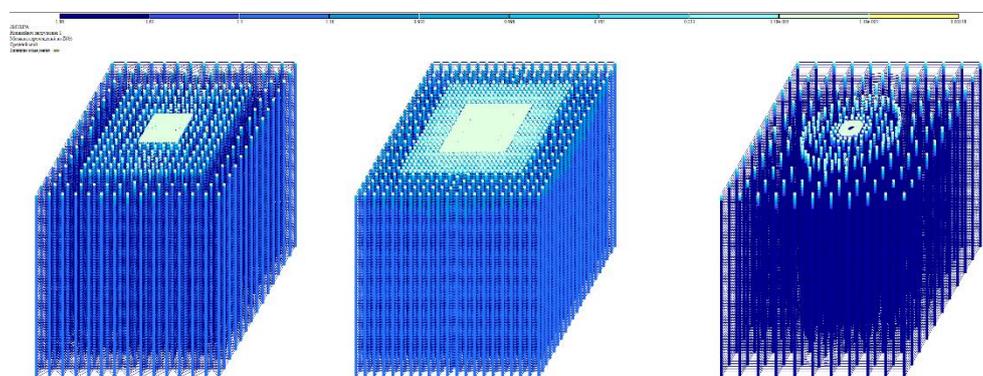


Рис. 2. Расчетные перемещения по оси Z испытываемых на выдергивание численных моделей бетонных кубиков (слева направо: образец, армированный стальной пластиной 20x3,93; образец, армированный стальной пластиной 30x2,62; образец, армированный арматурным стержнем $d10$)

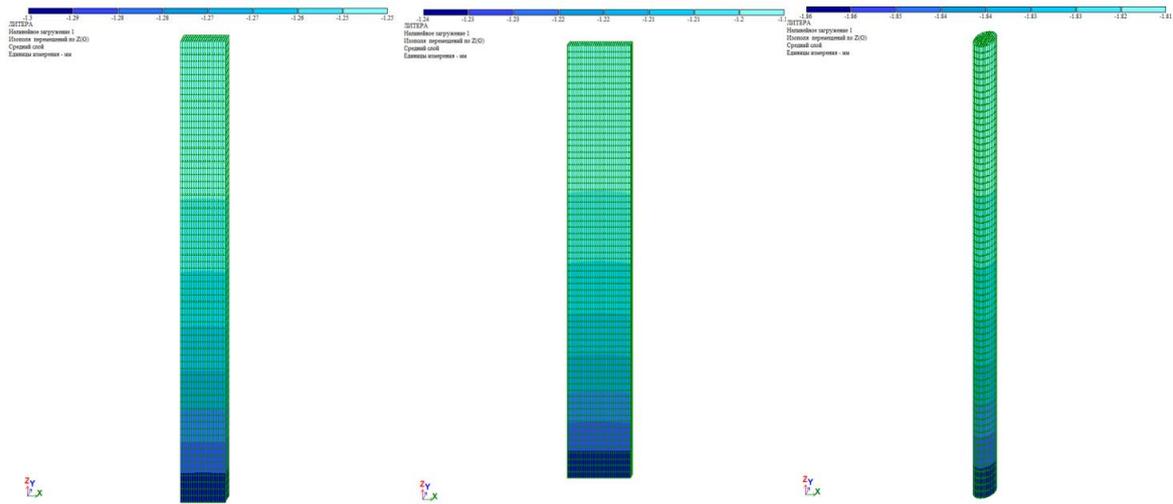


Рис. 3. Расчетные перемещения численных моделей арматурных элементов (слева направо: пластина 20x3,93; пластина 30x2,62; стержень $d10$), мм

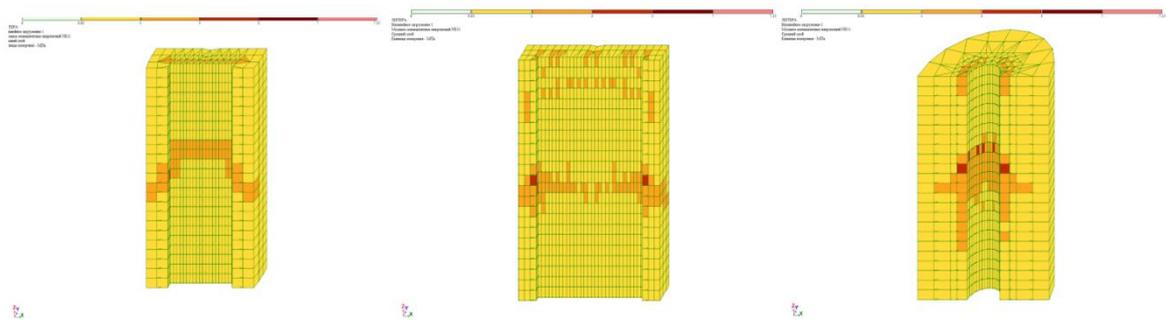


Рис. 4. Расчетные эквивалентные напряжения в контактных слоях бетона численных моделей кубиков (слева направо: образец с пластиной 20x3,93; образец с пластиной 30x2,62; образец со стержнем $d10$), МПа

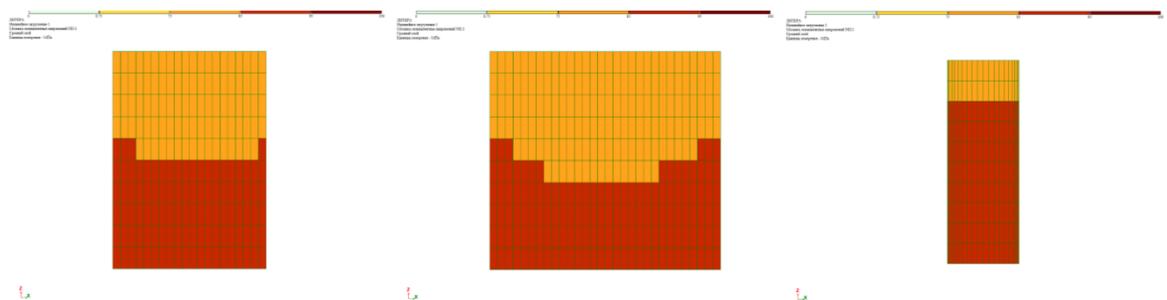


Рис. 5. Расчетные главные напряжения в нижних краевых частях численных моделей образцов арматурных элементов (слева направо: пластина 20x3,93; пластина 30x2,62; стержень $d10$), МПа

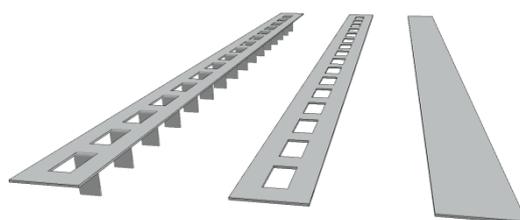


Рис. 2. Прототипы исследуемых арматурных элементов с развитой боковой поверхностью (стальных зубчатых лент): слева-направо – сквозная лента с анкерным зубом, сквозная лента с выбитым зубом, сплошная лента

В расчет приняты кубики с гранью 200х200х200 мм из ячеистого бетона класса В2,5. В качестве исследуемых арматурных элементов приняты сплошные стальные пластины прямоугольного поперечного сечения 20х3,93 мм и 30х2,62 А500 мм и эквивалентный по приведенной площади арматурный стержень диаметром 10 мм аналогичной марки стали.

Принципиальная схема численного эксперимента аналогичная для всех видов исследуемых арматурных элементов и представляет собой заглибление арматурного элемента с площадью поперечного сечения равной 78,53 мм² в бетонный кубик на длину 198 мм с приложенным к нему вытаскивающим усилием равным 7 кН (рис. 3).

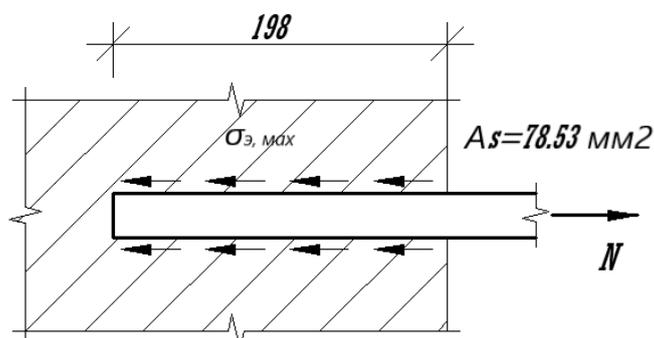


Рис. 3. Принципиальная схема численного эксперимента на выдергивание

Прочностные и деформативные характеристики ячеистого бетона, стальных пластин и арматурного стержня (А500 и аналогичного класса) (рис. 1 цв. вклейки) принимались согласно СТО НААГ 3.1–2013 «Конструкции с применением автоклавного газобетона в строительстве зданий и сооружений. Правила проектирования и строительства», п. 6.2 СП 63.13330.2018 и СП 351.1325800.2017. Прочностные и деформативные свойства ячеистого бетона задавались трехлинейной диаграммой с начальным модулем деформации $E_b = 1300$ МПа, прочностями бетона $R_{b,n} = 1,6$ МПа ($R_b = 0,96$ МПа) и $R_{bt,n} = 0,14$ МПа ($R_{bt} = 0,084$ МПа), коэффициентом ползучести $\varphi_{b,cr} = 3,9$ (для бетонов класса ниже В10), относительными деформациями бетона при продолжительном действии нагрузки при сжатии

$$\begin{aligned} \varepsilon_{b1} &= 0,6R_b/E_{b,\tau} \\ \varepsilon_{b1} &= 0,00024, \varepsilon_{b0} = 0,0034, \varepsilon_{b2} = 0,0048 \end{aligned} \quad (1)$$



и при растяжении

$$\varepsilon_{b1} = 0,6R_{bt}/E_{b,t}, \quad (2)$$
$$\varepsilon_{b1} = 0,00021, \varepsilon_{b0} = 0,00024, \varepsilon_{b2} = 0,00031.$$

Прочностные и деформативные свойства стали арматурных элементов задавались двухлинейной диаграммой с модулем деформации $E_s = 206000$ МПа, прочностью стали $R_s = 435$ МПа, относительными деформациями стали $\varepsilon_{s0} = R_s/E_s = 0,00218$, $\varepsilon_{s2} = 0,025$.

Результаты численного испытания на выдергивание и количественные расчетные показатели сравниваемых арматурных элементов представлены в таблице.

Результаты численного испытания

Показатель	Пластина 20x3,93	Пластина 30x2,62	Стержень d10
Максимальные главные эквивалентные напряжения в стали, МПа	89	89,9	91,4
	97%	98%	100%
Максимальные главные эквивалентные напряжения в контактных слоях бетона, МПа	4,6	4,4	7,32
	63%	60%	100%
Абсолютное удлинение арматурного элемента, мм	1,30	1,24	1,86
	70%	67%	100%
Относительное удлинение зоны армирования в пределах контактных слоев бетона, %	0,7	0,6	0,9
	69%	67%	100%

Расчетные перемещения узлов бетонной части образца в прианкерной зоне (рис. 2 цв. вклейки) находятся в пределах до 2 мм. Расчетные перемещения торцов арматурных элементов с приложенным вытаскивающим усилием (рис. 3 цв. вклейки) позволяют установить абсолютное удлинение элементов: арматурный стержень получил максимальное удлинение, равное 1,86 мм, при этом пластины удлинились на 33% меньше, что, при равенстве деформаций самих стальных элементов, свидетельствует о существенно больших деформациях контактного слоя примыкания бетона к стержню, что количественно подтверждает эффект распределения напряжений контактного слоя бетона по большей боковой поверхности стержня с развитым периметром сечения и существенно улучшает условия работы арматуры на вытаскивание, увеличивая конструктивный коэффициент работы арматурного элемента в объеме макропористого ячеистого бетона [8].

Сечения моделей образцов бетонных кубиков представлены (рис. 4 цв. вклейки). Образец, армированный пластиной 20x3,93, демонстрирует значительно меньшую концентрацию и более равномерное распределение напряжений в зоне армирования в пределах контактных слоев бетона, по сравнению с образцом, армированным традиционным арматурным стержнем, напряжения в приарматурных объемах которого на 35% выше [9]. Бетонный образец, армированный пластиной 30x2,62, показывает напряжения, сопоставимые с образцом, армированным арматурным стержнем d10, но более распределенные по площади зоны армирования напряжения, что свидетельствует



о большем и наиболее эффективном включении стали в совместную работу конструкции [10].

Оценка получаемого изменения распределения напряжений в приопорном слое бетона при использовании арматурного элемента развитой боковой поверхности выполнялась определением и сравнением эквивалентных напряжений в бетоне, вычисленных по результатам расчета в энергетической теории по критерию Писаренко-Лебедева с предельными характеристиками напряжений растяжения и сжатия для бетона $R_t = 0,14$ МПа, $R_c = 1,6$ МПа и стали $R_t = 435$ МПа, $R_c = 435$ МПа [11]. Сравнение площадей разрушения контактных слоев, определенное по визуализированным контактным площадкам, напряженным эквивалентными напряжениями σ_e величиной более R_t свидетельствует о существенно большем разрушении зон (потери контакта арматуры с бетоном) в случае стержневого армирования элемента по отношению к ленточному и, ориентировочно, в 1,5 раза большей сохранности контактной зоны в случае армирования лентой 30 мм, т.е. лентой с большей расчетной площадью контакта. Длина стержня в пределах зоны потери контакта (разрушения) в случае стержневого армирования составляет до 100 мм, в случае ленточного армирования – до 50 и 40 мм для армирования лентами шириной 20 и 30 мм соответственно, что составляет 50%, 25% и 20% всей контактной площади приарматурных слоев бетона. Потеря контакта арматуры с бетоном (разрушение контактных площадок) приводит к росту напряжений в сохранившихся и увеличивает величину перемещений стержня в бетоне (величину продергивания), достигающую значений более 2 мм, выключаящих арматуру из работы элемента на изгиб и приводящую к лавинообразному росту разрушений в нормальных сечениях балки.

Расчетные эквивалентные напряжения арматурных элементов составляют до 90 МПа для всех образцов, что не превышает нормативной прочности стали на растяжение [12]. Расчетные главные напряжения растяжения (рис. 5 цв. вклейки) в краевых частях численных моделей образцов стальных пластин 20x3,93 и 30x2,62 соответствуют примерно равному уровню развиваемых напряжений, однако убывают быстрее по сравнению с арматурным стержнем и представляют более равномерное распределение по площади сечения, с включением меньшей высоты стержня в напряжения максимального значения [13].

Результаты численного эксперимента исследования параметров напряженно-деформированного состояния моделей арматурных элементов с развитой боковой поверхностью при выдергивании из образцов ячеистобетонных кубиков позволяют отметить меньшую вероятность продергивания и большую включенность арматуры в совместную работу с бетоном на предельных нагрузках, что позволит обеспечить большую несущую способность ячеистобетонных конструкций, работающих на изгиб, по обоим группам предельных состояний до 15-20% по сравнению со стержневым армированием аналогичной ресурсоемкости [14]. Дальнейший анализ результатов исследования представляет большой интерес и подтверждает предположения о неоднозначности подходов к решению данной задачи, а также не позволяет установить надежную зависимость прочности сцепления на границе бетон-сталь от совокупности влияющих факторов в реальных условиях нагружения. Верификация исследования натурным экспериментом в сочетании с численным моделированием позволит зафиксировать эффективность применения



армирования с развитой боковой поверхностью в конструкциях из ячеистых бетонов для подходов ресурсоэффективного проектирования зданий с замкнутым тепловым контуром [15].

Благодарности. Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаричев, В. В. Исследование армированных конструкций из ячеистых бетонов / В. В. Макаричев, К. М. Милейковская. – Москва : Гостройиздат, 1963. – 99 с. – Текст : непосредственный.
2. Кладиева, П. В. Теоретическое обоснование повышения эффективности армирования изгибаемых ячеистобетонных конструкций / П. В. Кладиева, В. М. Мозговой, М. В. Моисеев. – Текст : электронный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2021. – № 6. – С. 27–35. – DOI 10.34031/2071-7318-2021-6-6-27-35.
3. Kladieva, P. V. 2020 Improvement directions of technical regulations in the field of reinforced cellular concrete structures / P. V. Kladieva, Yu. A. Koshlich // Ibuildintech bit 2020. Innovations and technologies in construction op conf. Series : materials science and engineering 945 (2020) 012059 IOP. – DOI 10.1088/1757-899X/945/1/012059.
4. Devi, N. R. Influence of strain rate on the mechanical properties of autoclaved aerated concrete / N. R. Devi, P. K. Dhir, P. Pradip Sarkar // Journal of Building Engineering. – Amsterdam, 2022. – № 57. – DOI 10.1016/j.job.2022.104830.
5. Панченко, Л. А. Расчет фибробетонных конструкций с учетом физической нелинейности / Л. А. Панченко. – Текст : электронный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2022. – № 1. – С. 44–50. – DOI 10.34031/2071-7318-2021-7-1-44-50.
6. К оценке прочности изгибаемых сталебетонных элементов из ячеистого бетона, армированных холодногнутым профилем / О. И. Ефимов, Ф. С. Замалиев, Н. Н. Ласьков, Я. С. Г. Аль-хаснави. – Текст : электронный // Строительная механика и расчет сооружений. – 2021. – № 6 (299). – С. 7–12. – DOI 10.37538/0039-2383.2021.6.7.12.
7. Сцепление жёсткой арматуры и ячеистого бетона / Я. С. Г. Аль-Хаснави, Н. Н. Ласьков, О. И. Ефимов, Ф. С. Замалиев. – Текст : электронный // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 4 (49). – С. 79–87. – DOI 10.54734/20722958_2021_4_79.
8. Karaburc, S. N. Evaluation of the basalt fiber reinforced pumice lightweight concrete / S. N. Karaburc, S. A. Yildizel, G. C. Calis // Magazine of Civil Engineering. – 2020. – № 2 (94). – С. 81–92. – DOI 10.18720/MCE.94.7.
9. К вопросу о проектировании балки из ячеистого бетона с жёсткой арматурой / Я. С. Г. Аль-Хаснави, Н. Н. Ласьков, О. И. Ефимов, Ф. С. Замалиев. – Текст : электронный // Региональная архитектура и строительство. – 2021. – № 3 (48). – С. 137–143. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_46714295_67154672.pdf.
10. Efimov, O. Stress-strain state prediction for statically indeterminate system with accounting for malfunctioning of rod elements production / O. Efimov, A. Salimov // IOP conference series : materials science and engineering. Kazan, Russia, 2020. – Kazan, 2020. – С. – 012067. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012067.
11. Аль-Хаснави, Я. С. Г. Исследование работы балок из ячеистого бетона, армированных легкимистальными тонкостенными конструкциями / Я. С. Г. Аль-Хаснави. – Текст : электронный // Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений : сборник научных трудов



Всероссийской научно-практической конференции / Юго-Западный государственный университет. – Курск, 2019. – С. 11–14. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_41416800_29407021.pdf.

12. Кладиева, П. В. Стальные ленты армирования изгибаемых ячеистобетонных конструкций / П. В. Кладиева. – Текст : электронный // VII Международный студенческий строительный форум – 2022, 24 ноября 2022 г. : сборник трудов конференции / Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. – Белгород, 2022. – С. 43–46. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_50171661_33540627.pdf.

13. Otsokov, K. A. Innovative technologies in construction and their use in organizational and technological events / K. A. Otsokov // Construction materials and products. – 2020. – № 3 (1). – P. 7–13. – DOI 10.34031/2618-7183-2020-3-1-7-13.

14. Беликова Е. А. Современные теории и прикладные методики проектирования ячеистобетонных и армированных ячеистобетонных конструкций / Е. А. Беликова, П. В. Кладиева. – Текст : электронный // Образование. Наука. Производство : XIV Международный молодежный форум : сборник трудов конференции / Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. – Белгород, 2022. – С. 58–62. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_50058437_44341561.pdf.

15. Resource-energy-saving technologies and equipment for complex processing of man-made materials / V. S. Sevostyanov, N. T. Shain, S. V. Sverguzova [et al.] // Journal of advanced materials and technologies. 2021. – Том 6, № 4. – С. 279–290. – DOI 10.17277/jamt.2021.04.pp.279-290.

KLADIEVA Polina Viktorovna¹, senior teacher of the chair of construction management and real estate; NAUMOV Andrey Evgenievich¹, candidate of technical sciences, associate professor, holder of the chair of construction management and real estate; KHAZOV Pavel Alekseevich², candidate of technical sciences, associate professor of the chair of theories of structures and technical mechanics

INCREASING THE EFFICIENCY OF STEEL REINFORCEMENT OF CELLULAR CONCRETE STRUCTURES WITH ELEMENTS WITH DEVELOPED SIDE SURFACE

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

46, Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia.

Tel.: +7 (980) 375-53-71; e-mail: davidenkopolly@mail.ru

²Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: +7 (951) 919-09-19; e-mail: khazov.nngasu@mail.ru

Key words: reinforced cellular concrete, cellular concrete bent structures, strip reinforcement, reinforcing elements with a developed lateral surface, pulling out reinforcement, stress-strain state of reinforcing elements.

The paper considers and substantively examines the hypothesis: an increase in the area of the contact layer with concrete increases the resistance of the reinforcement element to pulling out, which increases the coefficient of constructive use of the reinforcement, and brings the calculated values of stresses in the elements closer to the actual values during the actual operation of the structure. The results of a numerical study of the stress-strain state parameters of models of reinforcing elements with a developed lateral surface when pulling out of cellular concrete samples in comparison with the test of traditional core reinforcement are presented.



REFERENCES

1. Makarichev V. V., Mileikovskaya K. M. Issledovanie armirovannykh konstrukcy iz yacheistyykh betonov [Research of reinforced structures made of cellular concrete]. Moscow, Gostroizdat, 1963, 99 p.
2. Kladieva P. V., Mozgovoy V. M., Moiseev M. V. Teoreticheskoe obosnovanie povysheniya effektivnosti armirovaniya izgibaemykh yacheistobetonnykh konstrukcy [Theoretical substantiation of increasing the efficiency of reinforcement of bent cellular concrete structures]. Vestnik Belgorodskogo gos. tekhnol. un-ta im. V. G. Shukhova [Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov]. 2021, № 6, P. 27-35. DOI:10.34031/2071-7318-2021-6-6-27-35.
3. Kladieva P. V., Koshlich Yu. A. 2020 Improvement directions of technical regulations in the field of reinforced cellular concrete structures. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 945 (2020) 012059 IOP DOI: 10.1088/1757-899X/945/1/012059.
4. Devi N. R., Dhir P. K., Pradip Sarkar P. Influence of strain rate on the mechanical properties of autoclaved aerated concrete // Journal of Building Engineering 57 (2022) DOI: 10.1016/j.jobbe.2022.104830.
5. Panchenko L. A. Raschet fibrobetonnykh konstrukcy s uchetom fizcheskoy nelineynosti [Calculation of fiber-reinforced concrete structures taking into account physical nonlinearity] Vestnik Belgorodskogo gos. tekhnol. un-ta im. V. G. Shukhova [Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov]. 2022, № 1, P. 44-50 DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-44-50.
6. Efimov O. I., Zamaliev F. S., Laskov N. N., Al-hasnavi Ya. S. G. K otsenke prochnosti izgibaemykh stalebetonnykh elementov iz yacheistogo betona, armirovannykh holodnognutym profilem [To assess the strength of bent steel-concrete elements made of cellular concrete reinforced with a cold-bent profile] Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy [Construction mechanics and calculation of structures]. 2021, № 6 (299), P. 7-12 DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.7.12.
7. Al-Hasnavi Ya. S. G., Laskov N. N., Efimov O. I., Zamaliev F. S. Ctseplenie zhyostkoy armatury i yacheistogo betona [Coupling of rigid reinforcement and cellular concrete]. Regional'naya arkhitektura i stroitelstvo [Regional architecture and construction]. 2021, № 4 (49), P. 79-87.
8. Karaburc S. N., Yildizel S. A., Calis G. C. Evaluation of the basalt fiber reinforced pumice lightweight concrete. Magazine of Civil Engineering. 2020. № 2 (94). P. 81-92. DOI: 10.18720/MCE.94.7.
9. Al-Hasnavi Ya. S. G., Laskov N. N., Efimov O. I., Zamaliev F. S. K voprosu o proektirovani balki iz yacheistogo betona s zhyostkoy armaturoy [On the issue of designing a beam made of cellular concrete with rigid reinforcement]. Regional'naya arkhitektura i stroitelstvo [Regional architecture and construction]. 2021, № 3 (48), P. 137-143.
10. Efimov O., Salimov A. Stress-strain state prediction for statically indeterminate system with accounting for malfunctioning of rod elements production. IOP Conference Series. Materials Science and Engineering. Kazan, Russia, 2020. P. 012067. DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012067.
11. Al-Hasnavi Ya. S. G. Issledovanie raboty balok iz yacheistogo betona, armirovannykh legkimistalnymi tonkostennymi konstruktsiyami [Investigation of the work of beams made of cellular concrete reinforced with light-steel thin-walled structures]. Innovatsionnye metody proektirovaniya stroitelnykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy [Innovative methods of designing building structures of buildings and structures]. Sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konf. Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet. 2019, P. 11-14.
12. Kladieva P. V. Stalnye lenty armirovaniya izgibaemykh yacheistobetonnykh konstruktsiy [Steel reinforcement bands of bent cellular concrete structures]. Sbornik dokladov VII Mezhdunarodnogo studencheskogo stroitel'nogo foruma. Belgorod, 2022, P. 43-46.



13. Otsokov K. A. Innovative technologies in construction and their use in organizational and technological events. *Construction Materials and Products*. 2020. 3 (1). P. 7-13. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-7-13.

14. Belikova E. A., Kladieva P. V. *Sovremennye teorii i prikladnye metodiki proektirovaniya yacheistobetonnykh i armirovannykh yacheistobetonnykh konstruktsiy* [Modern theories and applied techniques for designing cellular concrete and reinforced cellular concrete structures] *Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo* [Education. Science. Production]. *Sbornik dokladov XIV Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma*. Belgorod, 2022, P. 58-62.

15. Sevostyanov V. S., Shain N. T., Sverguzova S. V., Sevostyanov M. V., Perelygin D. N., Uralskij A. V. Resource-energy-saving technologies and equipment for complex processing of man-made materials // *Journal of Advanced Materials and Technologies*. 2021. Vol. 6. № 4. P. 279-290. DOI: 10.17277/jamt.2021.04. P. 279-290.

© П. В. Кладиева, А.Е. Наумов, П. А. Хазов, 2025

Получено: 24.12.2024 г.