

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-12-32-40

<sup>1</sup>Сулейманова Л.А., <sup>1,\*</sup>Обайди А.А.Х., <sup>1</sup>Амелин П.А., <sup>2</sup>Мохаммедали Т.Х.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова<sup>2</sup>Университет Дияла, отдел строительства и проектов

\*E-mail: Adkhem@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРЕМЫЧЕК ГАЗОБЕТОННЫХ СОСТАВНЫХ

**Аннотация.** В данной работе авторами исследуется напряженно-деформированное состояние составных перемычек из газобетонных блоков со стержнями из стальной арматуры и внешним композитным армированием при работе на изгиб. Стержневое армирование перемычек осуществляется за счет врезки стальных арматурных стержней в тело газобетона в продольном и поперечном направлении. Композитное армирование выполняется лентами из углеродных волокон в растянутой грани элемента на всю ширину, а также частями лент на ложковых сторонах газобетонного блока в месте вертикального шва или в центре элемента. Результаты испытаний оценивались путем сравнения прочности нормального сечения и деформативности газобетонных изгибаемых перемычек, эффективности склеивания лент из углеродных волокон и газобетона и оптимальности использования различных типов армирования. Установлено, что внешнее композитное армирование при нагрузке до 60 % от разрушающей уменьшает деформативность газобетонных изгибаемых элементов вследствие увеличения изгибной жесткости, а при нагрузке более 60 % вследствие изменения расчетной схемы. Перемычки со стержневым армированием имеют хрупкий характер разрушения, а имеющие внешнее композитное армирование разрушаются пластично. В целом, несущая способность составных газобетонных перемычек, армированных внешним композитным армированием достаточна для восприятия эксплуатационных нагрузок.

**Ключевые слова:** газобетонные блоки, составная перемычка, внешнее композитное армирование, прочность, деформативность, углеродные волокна.

**Введение.** Современное строительство и проектирование зданий и сооружений предъявляют высокие требования к прочности и долговечности строительных конструкций [1]. Одним из важных аспектов в данном контексте является разработка и оптимизация составных элементов, таких как перемычки, которые используются для поддержания оконных и дверных пролетов в зданиях и сооружениях.

Использование газобетона как строительного материала имеет ряд преимуществ, включая легкость, теплоизоляционные свойства, обеспечиваемые однородной пористой структурой [2, 3]. Однако, для обеспечения необходимой прочности и устойчивости при изгибе, газобетонные перемычки требуют армирования. В данной статье авторами проведено исследование напряженно-деформированного состояния составных перемычек из газобетонных блоков со стержнями из стальной арматуры и внешним композитным армированием при работе на изгиб.

Стальная арматура используется для стержневого армирования при врезке в тело газобетона как в продольном, так и в поперечном направлении, что позволяет увеличить прочность и жесткость перемычек, что снижает деформативность при изгибе [4–8].

Внешнее композитное армирование выполняется лентами из углеродных волокон, которые

накладываются на газобетонный блок в растянутой грани элемента на всю его ширину, а также в местах вертикальных швов или в центре элемента [9]. Данный тип армирования также способствует увеличению прочности и жесткости перемычек, что может уменьшить деформативность [10–13].

Целями настоящего исследования являются:

– анализ напряженно-деформированного состояния изгибаемых элементов из газобетонных блоков, усиленных внешним полосовым армированием;

– оценка эффективности внешнего композитного усиления для его использования в изгибаемых конструкциях из газобетонных элементов;

– оценка эффективности применения изгибаемых составных перемычек из газобетонных блоков, при двух- и четырехточечном изгибе.

**Материалы и методы.** Составная ячеистобетонная перемычка состоит из двух газобетонных блоков и шва, скрепляющего блоки по торцевым сторонам. Также составная газобетонная перемычка снабжена стержневым армированием, выполненным в виде стальной арматуры, уложенной в штрабы в нижней стороне блоков, и внешним полосовым армированием, выполненным в виде ленты из углеродных волокон, жестко прикрепленной эпоксидным клеем с нижней стороны составной газобетонной перемычки по всей

ширине и длине с направлением волокон параллельно продольной оси перемычки, и частей лент, жестко прикрепленных к ложковым сторонам блоков в местах вертикальных швов, выполненных на полиуретановом клее, по всей высоте блока симметрично относительно вертикального шва [9].

В исследовании использовались газобетонные блоки с маркой по средней плотности  $D500$  и классом по прочности  $B3,5$ . В качестве заполнителя шва применялся клеевой состав для газобетонных блоков с пределом текучести при растяжении  $0,9$  МПа. В качестве стержневого армирования применялись стальные стержни А400 с модулем упругости  $200000$  МПа; пределом текучести при растяжении  $320$  МПа и предельной прочностью на растяжении  $618$  МПа при минимальном коэффициенте армирования  $\mu_{min}$  (при  $d = 8$  мм), пределом текучести при растяжении  $512$




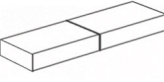

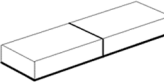



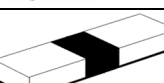





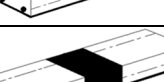


МПа и предельной прочностью на растяжении  $750$  МПа при максимальном коэффициенте армирования  $\mu_{max}$  (при  $d = 10$  мм).

Однонаправленные ленты из углеродных волокон с модулем упругости  $230000$  МПа, предельной деформацией растяжения  $0,3$  и толщиной  $1,29$  мм, работающие на изгиб, ориентированы вдоль растянутой грани элемента, а поперечные ленты, работающие на сдвиг, ориентированы на  $90^\circ$  относительно продольной оси перемычки. Ленты из углеродных волокон прикрепляются к газобетонным блокам при помощи эпоксидного клея с модулем упругости  $3800$  МПа и прочностью на растяжение при изгибе  $30$  МПа.

В рамках исследования было изготовлено 20 образцов, которые были разделены на две серии (ГП-1 и ГП-2) в зависимости от типа нагрузки и армирования (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Схемы армирования перемычек с двухточечной нагрузкой для серии ГП-1

Наим-е образца	Поперечное сечение	Изометрический вид перемычек	Типы армирования
КП1			А: без армирования
П1			А: без армирования
П1-1			Б: армирование лентами на изгиб только с нижней поверхности
П1-1.1			В: стержневое армирование
П1-2			Г: армирование лентами в растянутой зоне и в зоне соединения блоков
П1-3			Д: комбинированное армирование (ленты + стержневое армирование) и армирование швов с ( $\mu_{min}$ )
П1-4			Е: комбинированное армирование (ленты + стержневое армирование) в растянутой зоне с ( $\mu_{min}$ )
П1-5			Д: комбинированное армирование (ленты + стержневое армирование) в растянутой зоне и в зоне соединения блоков с ( $\mu_{max}$ )
П1-6			Е: комбинированное армирование (ленты + стержневое армирование) в растянутой зоне с ( $\mu_{max}$ )

Первая группа перемычек (серия ГП-1) (табл. 1) предназначена для испытания на двухточечный изгиб (сосредоточенная нагрузка), вторая группа (серия ГП-2) (табл. 2) – на четырехточечный изгиб. Образцы армированы лентами из углеродных волокон в разных положениях и арматурными стержнями с целью исследования

прочности на растяжение и сдвиг. Все образцы имеют размеры поперечного сечения  $1200 \times 240 \times 200$  мм. В качестве внешнего полосового армирования в исследовании использовались ленты из углеродных волокон Sikawrap 230С.

Таблица 2

Схемы армирования перемычек с четырехточечной нагрузкой для серии ГП-2

Наим-е образца	Поперечное сечение	Изометрический вид перемычек	Типы армирования
КП2			А: без армирования
П2			А: без армирования
П2-1			Б: армирование лентами на изгиб только в растянутой зоне
П2-1.1			В: стержневое армирование
П2-2			Г: армирование лентами в растянутой зоне и в зоне соединения блоков
П2-3			Е: армирование лентами в растянутой зоне, U-образная обертка усиления на сдвиг на каждом конце и армирование швов в середине
П2-4			Ж: комбинированное армирование (ленты + стержневое армирование) в растянутой зоне и в зоне соединения блоков, U-образная обертка с хомутом
П2-5			И: комбинированное армирование (ленты + стержневое армирование) в растянутой зоне и U-образная обертка с хомутом
П2-6			Ж: комбинированное армирование (ленты + стержневое армирование) в растянутой зоне и в зоне соединения блоков, U-образная обертка с хомутом
П2-7			И: комбинированное армирование (ленты + стержневое армирование) в растянутой зоне и U-образная обертка с хомутом
П2-8			К: стержневое армирование, на изгиб и сдвиг

Для армирования перемычек стальными стержнями были выполнены штрабы в продольном направлении перемычек и по вертикали по схеме Fib TG 9.3 [14, 15], максимальном коэффициенте армирования  $\mu_{max}$ :  $h_g = 40$  мм,  $b_g = 30$  мм,

$a_c = 40$  мм и  $a'_c = 55$  мм, а минимальном коэффициенте армирования  $\mu_{min}$ :  $h_g = 32$  мм,  $b_g = 24$  мм,  $a_c = 40$  мм и  $a'_c = 52$  мм. Система армирования стальными стержнями представлена на рисунке 1.

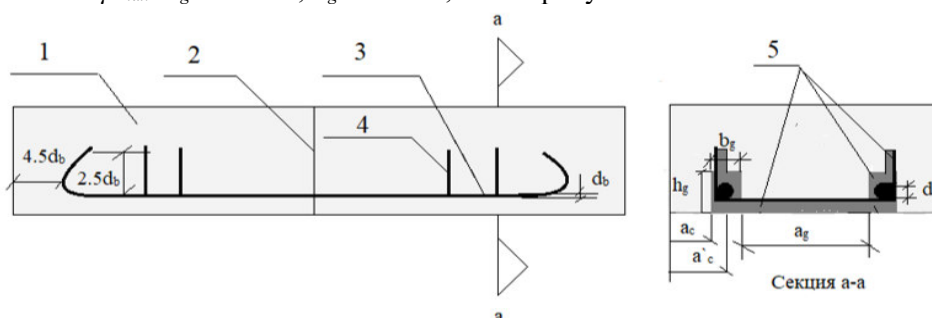


Рис. 1. Система армирования поверхности стальным стержнем с анкеркой арматуры: 1 – газобетонное основание; 2 – вертикальный шов; 3 – продольный стержень ( $d = 10$  мм); 4 – вертикальная арматура ( $d = 8$  мм); 5 – штрабы

Все образцы были испытаны в соответствии с DIN EN 846-9-2016 «Определение прочности на изгиб и на срез перемычек» на четырехточечный изгиб. Схема и установка для испытаний составных перемычек для четырехточечного нагружения представлена на рисунке 2.

Нагрузка прикладывалась с использованием универсальной гидравлической машины мощностью 2000 кН. Скорость нагрузки была принята 1,5 мм/мин от смещения середины пролета в соответствии с EN 846-9-2016. Система сбора данных непрерывно записывала приложенные значения нагрузки и смещения в цифровом виде.

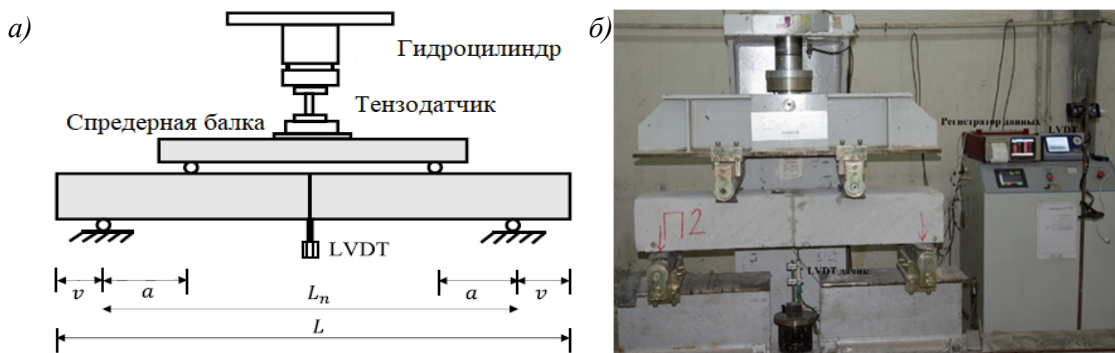


Рис. 2. Система загрузки: а – схема испытаний перемычек; б – установка для испытаний:  $L$  – длина балки;  $L_n$  – длина пролета в свету;  $a$  – пролет сдвига

**Основная часть.** Испытания образцов перемычек были проведены в соответствии с установленной методикой испытаний. Анализ результатов испытаний (табл. 3) позволил сделать выводы

о влиянии внешнего армирования на напряженно-деформированное состояние газобетонных изгибаемых конструкций, оценить характер разрушения.

Таблица 3

**Значения предельных изгибающих нагрузок, напряжений и деформаций при испытаниях образцов**

Серия	Наим-е образца	Нагрузка $R_{max}$ , кН	Прогиб $f_{max}$ , мм	Напряжения $\sigma_{max}$ , кН/м <sup>2</sup>	Относительная деформация $\epsilon_{max}$ , %	Характер разрушения
ГП-1	КП1	5,3	0,004	72,9	0,282	хрупкое разрушение под действием силы сдвига в середине пролета
	П1	5,3	0,02	72,8	0,46	разрушение кладочного шва
	П1-1	16,5	3,44	226,9	3,3	разрушение при сдвиге
	П1-1,1	17,8	6,87	244,8	1,73–4,16	разрушение кладочного шва
	П1-2	21,5	2,96	295,6	1,86	разрушение при сдвиге
	П1-3	27,2	0,12	374,2	0,28–3,9	разрушение при сдвиге
	П1-4	25,2	0,16	347,3	0,5–1,3	разрушение при сдвиге
	П1-5	31,4	6,72	432,4	0,26–5	по нормальным сечениям в зоне чистого изгиба
ГП-2	П1-6	26,3	4,57	362	0,42–3,3	разрушение при сдвиге
	КП2	8,8	1,54	88	0,24	хрупкое разрушение под действием силы сдвига в середине пролета
	П2	1,7	3,81	17	0,14	разрушение кладочного шва
	П2-1	25	4,00	250	2,3	разрушение при сдвиге в опоре
	П2-1,1	20,9	5,43	209	0,42–2,2	разрушение при изгибе
	П2-2	22,9	3,53	229	1,4	разрушение при сдвиге в опоре
	П2-3	33,8	2,95	338	2,52	разрушение на изгиб с разрывом в зоне сдвига
	П2-4	65,1	51,42	651	0,23–1,63	разрушение на изгиб с разрывом в зоне сдвига
	П2-5	69,6	22,60	696	0,63–0,27	разрушение при изгибе и сдвиге в опоре
	П2-6	74,6	43,10	746	0,83–1,58	разрушение при изгибе и разрыв композитного листа в опоре
П2-7	62,7	44,15	627	0,63–1,42	разрушение при изгибе и разрыв композитного листа в опоре	
П2-8	13,3	6,08	133	0,21–1,15	разрушение при изгибе	

На основании показаний тензорезисторов и индикаторов часового типа определены величины продольных деформаций по высоте сечения образцов на отдельных этапах нагружений. Величины продольных деформаций как в сжатой зоне, так и в растянутой на противоположных боковых гранях образцов имели разницу не более 5 %, что свидетельствует о симметричном распределении изгибающего момента в поперечном сечении. На этапах, предшествующих разрушению образцов некоторые из тензорезисторов были выведены из строя вследствие их разрыва, после чего регистрация их показаний была остановлена. Диаграммы продольных деформаций

газобетонных изгибаемых перемычек по высоте сечения образца показаны на рисунке 3.

Анализируя диаграммы, представленные на рисунке 3, можно судить о характере распределения продольных деформаций по высоте сечения как о близком к линейному для всех образцов всех серий.

По данным тензорезисторов, установленных на ленте из углеродного волокна для образцов П2-4, и П1-3, построены диаграммы распределения относительных деформаций композита по его длине вдоль образца, представленные на рисунке 4.

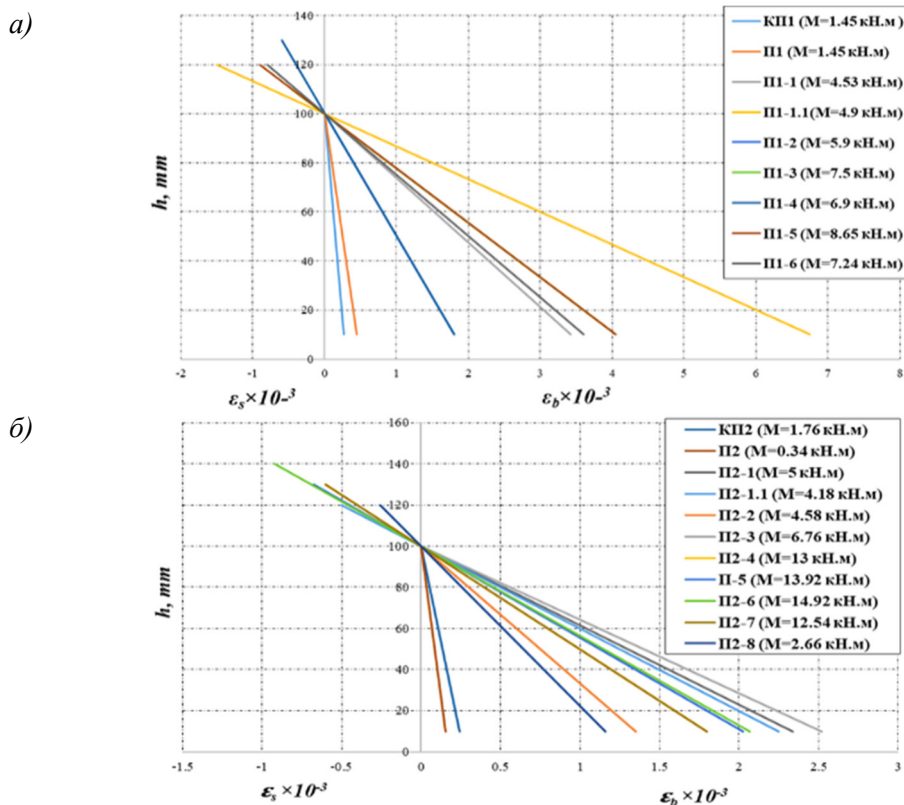


Рис. 3. Диаграмма напряжений и деформаций газобетонных перемычек: а – серии ГП-1; б – серии ГП-2

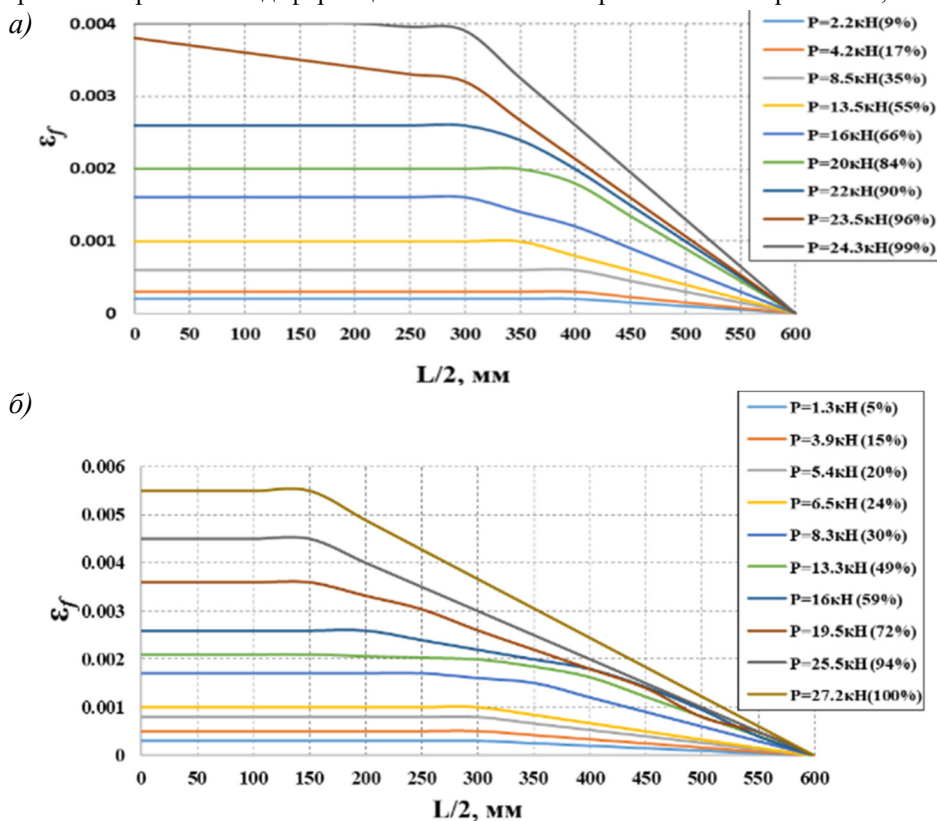


Рис. 4. Диаграмма распределения относительных деформаций углеродного волокна по длине анкеровки: а – на образце ГП-3; б – на образце ГП-2

Диаграмма на рисунке 4, б свидетельствуют о затухающем характере распределения деформаций  $\epsilon_f$  элемента армирования по длине образца. До достижения  $\epsilon_f \approx 0,26\%$  относительные деформации распределяются между точками, соответствующими  $L = 0-50$  мм и  $L = 300$  мм довольно

равномерно после превышения указанной величины, деформации при  $L = 300$  мм начинают отставать от максимальных значений. Изменение  $\epsilon_f$  в интервале  $L = 300-600$  мм линейно в соответствии с линейным уменьшением изгибающего момента в сечениях (рис. 4, а).

В большинстве армированных образцов в ходе испытаний зарегистрировано образование

нормальных трещин. Момент образования нормальных трещин определяли визуально, его значения приведены в таблице 5.

Таблица 5

### Сдвиговые усилия и моменты трещинообразования при испытании образцов серии ГП-2

Маркировка образца	$V_{crc}$ , кН	$V_{ulti}$ , кН	$V_{ulti}/V_{crc}$	$M_{crc}^{теор}$ , кН,м	$M_{crc}^{эксп}$ , кН,м	$\frac{M_{crc}^{эксп}}{M_{разр}^{эксп}}$
П2-1	24	12,5	0,52	5,9	4,8	0,96
П2-1.1	17,5	10,45	0,59	4,34	3,5	0,83
П2-2	22	11,45	0,52	5,45	4,4	0,96
П2-3	20,5	16,9	0,82	5,08	4,1	0,60
П2-4	55	32,55	0,59	13,64	11	0,85
П2-5	41	34,8	0,84	10,16	8,2	0,63
П2-6	47,5	37,3	0,78	11,78	9,5	0,63
П2-7	41	31,35	0,76	10,16	8,2	0,65
П2-8	12	6,65	0,55	2,97	2,4	0,90

Согласно полученным данным, образование трещин началось при изгибающем моменте, равном 25 % от разрушающего момента в перемычках серии ГП-2. Характер разрушения и образования трещин во всех образцах перемычек принципиально зависят от отношения предельного усилия сдвига к усилию сдвига трещины ( $V_{ulti}/V_{crc}$ ). При  $V_{ulti}/V_{crc}$  равном нулю, как в КП2 и П2, имеется внезапное хрупкое разрушение под точечной нагрузкой. При этом если отношение больше 0,5, как и в других составных перемычках из газобетона, мы имеем диагональное хрупкое разрушение. С увеличением отношения  $V_{ulti}/V_{crc}$  наблюдается более стабильный процесс разрушения.

**Выводы.** В зависимости от результатов, полученных в ходе проведенного исследования, о поведении газобетонных перемычек, изготовленных с внешним полосовым армированием, при двух- и четырехточечной нагрузке можно сделать следующие выводы:

Установлены особенности напряженно-деформированного состояния образцов. Разрушение армированных перемычек произошло в результате разрушения основного газобетонного элемента при увеличении нагрузки. Степень повышения несущей способности нормальных сечений зависит от вида и положения армирования в серии ГП-1 (П1 и П1-1), ГП-2 (П2 и П2-1), средняя несущая способность увеличилась в семь раз после армирования по типу Б (армирование на изгиб в растянутой грани). Также результаты исследования показали, что в серии ГП-1 тип армирования Д и Е увеличивает несущую способность составных изгибаемых газобетонных перемычек в шесть раз по сравнению с типом армирования А (без армирования).

Армирование вертикальных швов с использованием внешнего полосового армирования не играет существенной роли в повышении несущей способности. Также коэффициент армирования  $\mu$  в сериях ГП-1 не увеличивает несущую способность, так как внешнее армирование композиционными материалами в растянутой зоне работает взамен стержней рабочей арматуры до момента разрушения.

Тип армирование Д и Е в образцах П1-3, П1-4, П1-5 и П1-6 серии ГП-1 эквивалентны образцам П2-3 с Е-образным армированием по несущей способности на изгиб, что приводит к снижению трудоемкости устройства составной перемычки.

Оптимальным видом армирования в зависимости от несущей способности в зоне сжатия и растяжения, напряженно-деформированного состояния, прогиба, количества трещин и ширины раскрытия трещин является тип И в серии ГП-2 в образцах П2-5 и П2-7.

Установлено, что армирование лентами из углеродных волокон уменьшает деформативность газобетонных изгибаемых элементов вследствие увеличения изгибной жесткости при нагрузках до 60 % от разрушающих и вследствие изменения расчетной схемы конструкции при нагрузках свыше 60 % соответственно.

Составные газобетонные изгибаемые перемычки, армированные стальными стержнями, имеют хрупкое разрушение по сравнению с усиленными внешним полосовым армированием. С другой стороны, данное исследование показало, что составные газобетонные перемычки, усиленные лентами из углеродных волокон, также могут выдерживать требуемую нагрузку и соответствовать пределу

эксплуатационной пригодности, обеспечивая значительную экономию времени и средств.

Характер разрушения и образования трещин во всех образцах перемычек из газобетона принципиально зависят от отношения предельного усилия сдвига к усилию сдвига трещины ( $V_{ult}/V_{crc}$ ). При  $V_{ult}/V_{crc}$  равном нулю, как в КП2 и П2, имеется внезапное хрупкое разрушение под точечной нагрузкой. При этом, если отношение больше 0,5, как и в других составных перемычках из газобетона, мы имеем диагональное хрупкое разрушение. С увеличением отношения  $V_{ult}/V_{crc}$  наблюдается более стабильный процесс разрушения.

Основываясь на этих ключевых выводах, можно отметить, что составные газобетонные перемычки могут быть рассчитаны по требованиям к прочности и пригодности к нормальной эксплуатации при сохранении их преимуществ, а именно долговечности, качества изготовления и времени производства. Данное исследование показало, что предельные деформации газобетонных изгибаемых элементов, усиленных внешним полосовым армированием отличаются от железобетонных балок с идентичным усилением.

**Благодарности.** Исследование выполнено при поддержке инженерного факультета университета Дияла (Баакуба, Ирак).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Даулетбаев Р.Б., Вовк Б.В. Надежность строительных конструкций зданий и сооружений в процессе их эксплуатации // Инновации и инвестиции. 2019. №5. С. 173–177.
2. Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Кондрашев К.Р., Сулейманов К.А., Пириев Ю.С. Энергосберегающие газобетоны на композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 4. С. 73–83.
3. Сулейманова Л.А. Управление процессом формирования пористой структуры ячеистых бетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 2. С. 69–76.
4. Лободенко Е.А., Синянский И.А., Орлов Е.В. Исследование свойств ячеистобетонных перемычек, армированных композитной арматурой из армирующего волокна, для малоэтажных зданий // Системные технологии. 2019. № 1(30). С. 52–56.
5. Довженко А.В., Поздеев В.М. Оценка прочности ячеисто-бетонных балок с клееным армированием // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2013. № 16. С. 236–240.
6. Довженко А.В., Поздеев В.М. Перемычки из ячеистого бетона с клеенной арматурой // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2016. Т. 2. С. 31–34.
7. Memari A.M., Lepage A., Setthachayanon J. An experimental study of autoclaved aerated concrete lintels strengthened with externally bonded glass FRP // J. Reinf. Plast. Compos. 2010. № 29(22) Pp. 3322–3337. DOI: 10.1177/0731684410373413.
8. Klingner R.E., Tanner J.E., Varela J.L., Brightman M.J., Cancino U. Seismic testing of autoclaved aerated concrete shear walls: A comprehensive review // ACI Struct. J. 2005. № 102(2005) Pp. 374–382.
9. Memari A., Lepage A., Setthachayanon J. An experimental study of autoclaved aerated concrete lintels strengthened with externally bonded glass FRP // Journal of Reinforced Plastics and Composites - J REINF PLAST COMPOSITE. 2010. № 29. Pp. 3322–3337. DOI: 10.1177/0731684410373413.
10. Патент РФ на полезную модель № 2022130742, 25.11.2022. Составная ячеистобетонная перемычка // Патент России № 215740. 2022. Бюл. № 36. / Сулейманова Л.А., Погорелова И.А., Рябчевский И.С., Обайди А.А.Х.
11. Mousa M.A., Uddin N. Experimental and analytical study of carbon fiber-reinforced polymer (FRP)/autoclaved aerated concrete (AAC) sandwich panels // Engineering Structures. 2009. Vol. 31(10). Pp. 2337–2344. DOI: 10.1016/j.engstruct.2009.05.009.
12. Tuncer E., Binici B., Canbay E. Behavior and design of FRP bonded autoclaved aerated concrete beams // Construction and Building Materials. 2021. Vol. 282. 122712. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122712.
13. Memari A.M., Eminaga A. Preliminary results on the use of GFRP as an external reinforcement for autoclaved aerated concrete // Advances in Building Technology. 2002. Pp. 865–872. DOI: 10.1016/B978-008044100-9/50109-1.
14. Chew Sp., Zulkifli A.Z., Ghayeb H, Harun S.W., Lee L.Y., Abdul Razak H., Adikan F.R.M. Singlemode-Multimode-Singlemode Fiber Structure as Compressive Strain Sensor on a Reinforced Concrete Beam // Optik - International Journal for Light and Electron Optics. 2017. Vol. 154. Pp. 705–710. DOI: 10.1016/j.ijleo.2017.10.033.
15. De Lorenzis L., Teng J.G. Near-surface mounted FRP reinforcement: An emerging technique for strengthening structures // Compos. Part B Eng. 2007. Vol. 38(2). Pp. 119–143. DOI: 10.1016/j.compositesb.2006.08.003.

*Информация об авторах*

**Сулейманова Людмила Александровна**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства и городского хозяйства. E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Обайди Адхам Абдулсаттар Хамид**, исследователь кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: Adkhem@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Амелин Павел Андреевич**, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: p.amelin@inbox.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Мохаммедали Таха Халид**, ассистент лектора. E-mail: tkhalidtaha@gmail.com. Университет Дияла, отдел строительства и проектов. Ирак, 32001, Баакуба, MJJ2+R9G.

Поступила 04.10.2023 г.

© Сулейманова Л.А., Обайди А.А.Х., Амелин П.А., Мохаммедали Т.Х., 2023

<sup>1</sup>Suleymanova L.A., <sup>1,\*</sup>Adham A. H., <sup>1</sup>Amelin P.A., <sup>2</sup>Mohammedali T.K.

<sup>1</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

<sup>2</sup>University of Diyala, Department of Construction and Projects

\*Email: Adkhem@mail.ru

## RESEARCH OF STRESS-STRAIN STATE OF JUMPERS OF AERATED CONCRETE COMPOSITES

**Abstract.** In this paper, the authors study the stress-strain state of composite jumpers made of aerated concrete blocks with steel reinforcement rods and external composite reinforcement when working in bending. Rod reinforcement of jumpers is carried out by inserting steel reinforcing bars into the body of aerated concrete in the longitudinal and transverse directions. Composite reinforcement is performed with carbon fiber tapes in the stretched edge of the element over the entire width, as well as parts of tapes on the flange sides of the aerated concrete block at the vertical seam or in the center of the element. The test results are assessed by comparing the strength of the normal section and the deformability of aerated concrete bending jumpers, the effectiveness of gluing carbon fiber tapes and aerated concrete, and the optimal use of various types of reinforcement. It has been established that external composite reinforcement at a load of up to 60% of the breaking load reduces the deformability of aerated concrete bending elements due to an increase in flexural rigidity, and at a load of more than 60% due to a change in the design scheme. Jumpers with rod reinforcement have a brittle nature of destruction, while those with external composite reinforcement fail plastically. In general, the load-bearing capacity of composite aerated concrete jumpers reinforced with external composite reinforcement is sufficient to withstand operational loads.

**Keywords:** aerated concrete blocks, composite jumper, external composite reinforcement, strength, deformability, carbon fibers.

### REFERENCES

1. Daultbaev R.B., Vovk B.V. Reliability of building structures of buildings and structures during their operation [Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij v processe ih ekspluatatsii]. Innovations and investments. 2019. No. 5. Pp. 173–. (rus)
2. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Kondrashev K.R., Suleymanov K.A., Piriev Yu.S. Energy-saving aerated concrete with composite binders [Energosberegayushchie gazobetonny na kompozitsionnyh vyazhushchih]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 4. Pp. 73–83. (rus)
3. Suleymanova L.A. Control of the process of formation of the porous structure of cellular concrete

[Upravlenie processom formirovaniya poristoj struktury yacheistyh betonov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 2. Pp. 69–76. (rus)

4. Lobodenko E.A., Sinyansky I.A., Orlov E.V. Study of the properties of cellular concrete lintels reinforced with composite reinforcement from reinforcing fibers for low-rise buildings [Issledovanie svoystv yacheistobetonnyh peremychek, armirovannyh kompozitnoj armaturoj iz armiruyushchego volokna, dlya maloetazhnyh zdaniy]. System technologies. 2019. No. 1(30). Pp. 52–56. (rus)

5. Dovzhenko A.V., Pozdeev V.M. Evaluation of the strength of cellular concrete beams with glued reinforcement [Ocenka prochnosti yacheisto-betonnyh balok s vkleennym armirovaniem]. Bulletin of



the Volzhsky regional branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. 2013. No. 16. Pp. 236–240. (rus)

6. Dovzhenko A.V., Pozdeev V.M. Lintels made of cellular concrete with glued reinforcement [Peremychki iz yacheistogo betona s vkleennoj armaturoj]. Current problems of modern science, technology and education. 2016. T. 2. Pp. 31–34. (rus)

7. Memari A.M., Lepage A., Setthachayanon J. An experimental study of autoclaved aerated concrete lintels strengthened with externally bonded glass FRP. J. Reinf. Plast. Compos. 2010. Vol. 29(22) Pp. 3322–3337. DOI: 10.1177/0731684410373413.

8. Klingner R.E., Tanner J.E., Varela J.L., Brightman M.J., Cancino U. Seismic testing of autoclaved aerated concrete shear walls: A comprehensive review. ACI Struct. J. 2005. Vol. 102(2005) Pp. 374–382.

9. Memari A., Lepage A., Setthachayanon J. An experimental study of autoclaved aerated concrete lintels strengthened with externally bonded glass FRP. Journal of Reinforced Plastics and Composites - J REINF PLAST COMPOSITE. 2010. No. 29. Pp. 3322–3337. DOI: 10.1177/0731684410373413.

10. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Ryabchevskiy I.S., Obaidi A.A.Kh. Composite cellular concrete lintel. Patent RF, no 215740. 2022. (rus)

11. Mousa M.A., Uddin N. Experimental and analytical study of carbon fiber-reinforced polymer (FRP)/autoclaved aerated concrete (AAC) sandwich panels. Engineering Structures. 2009. Vol. 31(10). Pp. 2337–2344. DOI: 10.1016/j.engstruct.2009.05.009.

12. Tuncer E., Binici B., Canbay E. Behavior and design of FRP bonded autoclaved aerated concrete beams. Construction and Building Materials. 2021. Vol. 282. Pp. 122712. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122712.

13. Memari A.M., Eminaga A. Preliminary results on the use of GFRP as an external reinforcement for autoclaved aerated concrete. Advances in Building Technology. 2002. Pp. 865–872. DOI: 10.1016/B978-008044100-9/50109-1.

14. Chew Sp., Zulkifli A.Z., Ghayeb H, Harun S.W., Lee L.Y., Abdul Razak H., Adikan F.R.M. Singlemode-Multimode-Singlemode Fiber Structure as Compressive Strain Sensor on a Reinforced Concrete Beam. Optik - International Journal for Light and Electron Optics. 2017. Vol. 154. Pp. 705–710. DOI: 10.1016/j.ijleo.2017.10.033.

15. De Lorenzis L., Teng J.G. Near-surface mounted FRP reinforcement: An emerging technique for strengthening structures. Compos. Part B Eng. 2007. Vol. 38(2). Pp. 119–143. DOI: 10.1016/j.compositesb.2006.08.003.

#### *Information about the authors*

**Suleymanova, Lyudmila A.** DSc, Professor, Head of the Department of Construction and Municipal Economy. E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru . Belgorod State Technological University V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Obaidi Adham Abdulsattar Hameed.** Researcher, Department of Civil Engineering and Urban Development. E-mail: Adkhem@mail.ru. Belgorod State Technological University V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Amelin, Pavel A.** Postgraduate student of the department of construction and urban economy. E-mail: p.amelin@inbox.ru. Belgorod State Technological University V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Mohammedali Taha Khalid.** Lecturer's assistant. E-mail: tkhalidtaha@gmail.com. Diyala University, Department of Construction and Projects, Iraq, 32001, Baqubah, MJJ2+R9G.

---

*Received 04.10.2023*

#### **Для цитирования:**

Сулейманова Л.А., Обайди А.А.Х., Амелин П.А., Мохаммедали Т.Х. Исследование напряженно-деформированного состояния перемычек газобетонных составных // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. №12. С. 32-40. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-12-32-40

#### **For citation:**

Suleymanova L.A., Adham A.H., Amelin P.A., Mohammedali T.K. Research of stress-strain state of jumpers of aerated concrete composites. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 12. Pp. 32–40. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-12-32-40