

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-7-35-42

Сулейманова Л.А., \*Есинов С.М., Се Ди

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

\*E-mail: sk31.sm@gmail.com

## СОПРОТИВЛЕНИЕ КЛАДКИ ИЗ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ БЛОКОВ НА ПОЛИУРЕТАНОВОМ КЛЕЕ ЦЕНТРАЛЬНОМУ СЖАТИЮ

**Аннотация.** В статье авторами рассмотрены предпосылки применения полиуретанового клея в кладке из ячеистобетонных блоков для жилищного домостроения, сформулированы теоретические гипотезы зависимости работы кладки из ячеистобетонных блоков от толщины и материала шва при сжатии, приведены результаты экспериментальных исследований сопротивления простенков кладки из ячеистобетонных блоков кратковременному центральному сжатию, установлена зависимость изменения прочности кладки на сжатие от толщины и материала шва. Результаты испытаний оценивались путем сравнения разрушающих усилий для образцов со швами из цементно-песчаного раствора толщиной 5 мм и образцов со швами из полиуретанового клея толщиной 3 мм. Было установлено, что прочностные свойства кладки при изменении материала кладочного шва и его толщины меняются, в наиболее показательной серии испытаний прирост прочности составил порядка 19 %. При этом характер разрушения не претерпел изменения – хрупкий, вследствие сверхнормативного раскрытия вертикальных магистральных трещин в камне и частично в швах. Деформативность кладки не изменилась, предельные деформации для образцов с полиуретановым клеем и цементно-песчаным раствором оказались идентичны. Доказана применимость полиуретановых клеев в качестве аналога классических растворных швов для кладки стен.

**Ключевые слова:** ячеистобетонные изделия, полиуретановый клей, цементно-песчаный раствор, сопротивление кладки, прочность при центральном сжатии.

**Введение.** Ячеистобетонные, в частности, газобетонные блоки и изделия являются одним из наиболее массовых материалов для кладки наружных стен в жилищном и индивидуальном домостроении в РФ [1–2].

Подобные стены обладают невысокой теплопроводностью по сравнению с аналогами из схожих по технико-экономическим показателям вариантов конструктивного решения, что приводит к их высокой эффективности в качестве основы для ограждающих вертикальных конструкций зданий. Устройство газобетонных стен требует применения кладочных цементных растворов в классическом понимании либо тонкослойных цементных и полимерцементных клеев без наполнителей и мелких заполнителей. Однако, кладочные швы, из какого бы материала их не выполнили, образуют так называемые локальные теплотехнические неоднородности – «мостики холода» [3–7], поскольку их теплопроводность, составляющая интервал 0.93...0.97 Вт/м·°С, значительно выше теплопроводности непосредственно самого ячеистого бетона 0.15 Вт/м·°С для наиболее популярных марок по плотности D400...D500. Это приводит к тому, что швы кладки вызывают дополнительные потери тепла, достигающие при использовании условно «тонких» цементных клеев – до 10 %, а при использовании «толстых» цементно-песчаных растворов – до 30 %. Данная разница показывает долю увеличения дополнительных затрат тепловой энергии при отоплении помещений по сравнению с

монолитным массивом из ячеистого бетона при допущении отсутствия швов [8–11].

Одной из возможностей повышения теплоизоляционных свойств кладки из ячеистобетонных блоков является использование в качестве заполнителя швов однокомпонентных полиуретановых клеев. Помимо снижения непосредственно теплопроводности теплотехнически неоднородной кладки, полиуретановый клей позволяет снизить эффект от теплового расширения материалов и снизить вероятность образования неплотностей, играющих роль теплопроводников.

Полиуретановый клей – адгезионный состав из изоцианитов, обладающий хорошей адгезией к различным поверхностям, в том числе к изделиям из автоклавного газобетона, а также высокой прочностью, устойчивостью к влаге, теплу и химическим воздействиям. Преимущества ячеистобетонной кладки на полиуретановых швах подробно приведены в работах [12–14]. В ряде работ авторов [9, 15] приводятся данные исследований, говорящих о том, что при возведении межкомнатных перегородок на полиуретановых швах отмечается локальный рост их трещиностойкости вследствие увеличения доли упругих деформаций и снижения доли общей хрупкости зоны контакта блока и раствора, а также повышение уровня предельных деформаций сдвига в горизонтальных швах растянутой зоны перегородки, работающей по балочной схеме при появлении прогибов перекрытия. Похожее поведение

можно спрогнозировать и для наружных ячеисто-бетонных стен, опирающихся на монолитное железобетонное перекрытие.

Исходя из вышесказанного обзора можно сделать вывод, что в настоящий момент строительная индустрия имеет потребность в наличии решений ограждающих конструкций из конструкционно-теплоизоляционных изделий низкой плотности с кладочными составами на основе полиуретана и ему подобных полимеров.

Авторами [3–7] разработана двухрядная энергоэффективная кладка стен из ячеистобетонных блоков с применением полиуретанового клея. Данный вариант конструктивного решения обладает нестандартным способом перевязки, локализирующим швы в зонах горизонтальной разрезки, что уменьшает количество сквозных швов (т.е. проходящих на всю толщину простенка), что увеличивает сопротивление ветровому давлению, продувающему кладку насквозь, и тем самым повышает теплотехническую однородность стеновых конструкций на 10–30 %.

Данные испытаний [16] демонстрируют, что прочность кладки образцов с использованием полиуретановых клеев при растяжении и изгибе параллельно и перпендикулярно горизонтальным швам превышает прочность кладки на обычных минеральных растворах на 40 %.

Полиуретановый клей характеризуется низкой сдвиговой жесткостью, что снижает трещиностойкость кладки и ограничивает его применение в качестве материала для заполнения швов. Это позволяет использовать полиуретановый клей только при устройстве несущих стен зданий [16, 17].

$$N = R \cdot \gamma_{b2} \cdot \gamma_{b9} \cdot \gamma_{b11} \cdot \gamma_c \cdot m_g \cdot \varphi_1 \cdot b \cdot h \cdot \left[ 12 \left( \frac{e_0}{h} \right)^2 + 6 \frac{e_0}{h} + 1 \right]^{-0.5} \geq N_n, \quad (1)$$

где  $R$  – расчетное сопротивление сжатию кладки из блоков (таблица 9.1 [СТО НААГ]);

$\gamma_{b2}$  – коэффициент условий работы, учитывающий длительность действия нагрузки, принимаемый равным 0,85;

$\gamma_{b9}$  – коэффициент условий работы для бетонных конструкций (не армированных расчетной арматурой), принимаемый равным 0,9;

$\gamma_{b11}$  – коэффициент условий работы, учитывающий влажность ячеистого бетона 25 % и более, принимаемый равным 0,85;

$\gamma_c$  – масштабный коэффициент для столбов и простенков площадью сечения 0,3 м<sup>2</sup> и менее, принимаемый равным  $\gamma_c = 0,8$ ;

$b$  – ширина простенка;

$h$  – толщина простенка;

Однако, вопросом влияния материала и толщины шва на прочность кладки при сжатии ни занимался практически никто из исследователей. В нормативной документации толщина шва непосредственно не фигурирует в расчетных характеристиках, однако, при превышении условной относительной толщины расчетное сопротивление кладки снижается, это косвенно указано в [8].

**Материалы и методы.** Для решения данного вопроса были проведены теоретические и практические исследования, заключающиеся в предварительном теоретическом обосновании и экспериментальном подтверждении гипотезы о повышении несущей способности простенков из ячеистобетонных блоков на полиуретановом клее по сравнению с цементно-песчаным раствором. В качестве стартовой программы исследований рассматривались исключительно случаи центрального сжатия коротких (гибкость по вертикали, т.е. в рамках данной задачи отношение высоты к толщине кладки с учетом коэффициента приведения расчетной длины менее 10) простенков кратковременной нагрузкой до стадий трещинообразования и разрушения. Данное упрощение принято с целью изучения работы кладки без учета факторов потери устойчивости.

Исходя из методики расчета, изложенной в [8], расчетные сопротивления кладки стен, загружаемых до набора раствором (клеем) проектной прочности, рекомендуется принимать по марке раствора, отвечающей его прочности в эти сроки.

В соответствии с формулой (9.1) [8] прочность стен из блоков из автоклавных ячеистых бетонов на внецентренное сжатие от вертикальных нагрузок и изгибающих моментов определяется по формуле:

$e_0$  – сумма случайного (0,02 м) и силового  $\frac{M}{N_n}$  эксцентриситета;

$M$  – изгибающий момент от перекрытия и ветра в рассчитываемом сечении;

$N_n = \sum N_g$  – сумма всех вертикальных нагрузок на 1 пог. м;

$m_g$  – коэффициент, определяемый по формуле (2):

$$m_g = 1 - \eta \cdot \frac{N_g}{N_n} \cdot \left( 1 + \frac{1,2 \cdot e_{og}}{h} \right), \quad (2)$$

где  $N_g$  – расчетная продольная сила от длительных нагрузок;

$e_{og}$  – эксцентриситет от действия длительных нагрузок;

$\eta$  – коэффициент, зависящий от гибкости простенка.

Если адаптировать входящие в формулы 1 и 2 величины к кратковременной нагрузке и центральному сжатию (т.е. обнулить изгибающий момент, а коэффициент условий работы, учитывающий длительность действия нагрузки, принять равным 1), то для образцов цементно-песчаного раствора и полиуретанового клея расчетная прочность должна оказаться равной. Однако, в таблице 9.1 [8] указано, что допустимо повысить расчетное сопротивление кладки на растворах с толщиной шва  $2\pm 1$  мм до 30 % при экспериментальном обосновании. Т.к. в случае образцов на полиуретановом клее толщина шва составляет 3 мм, то данное допущение можно считать применимым и для создания доказательной базы провести ряд экспериментальных исследований. Стоит отметить, что полиуретановый клей позволяет теоретически создать швы толщиной до 1 мм, но в рамках данного исследования эта особенность использована не была.

Испытания фрагментов ячеистобетонной кладки на цементно-песчаном растворе (ЦПР) и полиуретановом клее проводились в испытательной лаборатории БГТУ им. В.Г. Шухова на поверенном оборудовании с использованием механической оснастки и тензометрического оборудования

**Основная часть.** Исследования прочности кладки из ячеистобетонных блоков производились на образцах размером (Д×В×Ш): 405×306×100 мм для полиуретанового клея и размером (Д×В×Ш): 410×310×100 мм (рис. 1) для ЦПР.

Для кладки образцов применялись следующие материалы:

- изделия стеновые неармированные из ячеистого бетона автоклавного твердения, выпускаемые по [1] со следующими физико-механическими и геометрическими характеристиками: марка по плотности D600; класс по прочности на сжатие B2,5; размер блоков (Д×В×Ш): 200×100×100 мм;

- однокомпонентный полиуретановый клей;

- цементно-песчаный раствор марки М50.

Кладка экспериментальных образцов выполнялась ложковым способом, вертикальные швы перевязывались на длину в полблока. Далее наносился клей на тычки блоков с последующей подгонкой ряда, затем клей расстился на постели блоков.

Перед началом испытаний образцы на полиуретановом клее выдерживались в стандартных условиях.

Испытание образцов на сжатие производилось на 100-тонном прессе по стандартной методике. Деформации каждого образца измерялись индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм, встроенным в пресс. Центрирование нагрузки выполнялось с помощью качающегося шарнира ступичного типа. Распределение нагрузки по поверхности образца выполнялось с помощью металлических обрезиненных подложек, зафиксированных на растворе. Нагружение происходило ступенчато, со скоростью не более 10 мм/мин, с выдержкой на каждой ступени не менее 10 минут. Общий вид проведения испытаний приведен на рисунке 1. Анализ результатов измерений деформаций кладки показывает, что на участке до начала трещинообразования, т.е. приблизительно до 30 % от разрушающей нагрузки, продольные и поперечные деформации нарастают линейно и составляют порядка 0.4...0.5мм и 0.1мм соответственно. Начало образования трещин вызывает резкий рост деформативности и при нагрузке в 70 % от разрушающей продольная деформация составляет уже свыше 1,5 мм, поперечная – свыше 0,5 мм. Деформации при разрушении не фиксировались в силу ограничений измерительного оборудования и риска выхода из строя. Анализ показаний видеосъемки процесса разрушения позволяют судить о величине перемещения в точке потери несущей способности порядка 4.0 мм.

Всего было испытано 3 фрагмента кладки с каждым из клеевых составов. Результаты испытания фрагментов на прочность при сжатии представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытания кладки на прочность при сжатии

Номер образца	Материал шва	Нагрузка, кН		Напряжение, МПа	
		Трещины	Разрушение	Трещины	Разрушение
1	2	3	4	5	6
1ц	ЦПР	24,3	70,0	0,59	1,7
2ц	ЦПР	23,9	66,3	0,58	1,61
3ц	ЦПР	20,6	65,5	0,5	1,6
Среднее				0,56	1,64
1п	ПУ	26,8	81,2	0,66	2
2п	ПУ	28,1	82,5	0,69	2,03
3п	ПУ	28,0	78,6	0,69	1,94
Среднее				0,68	1,99



Рис. 1. Испытание образца с ПУ швом

Известно, что формула (3) в [16] приведена для кладок из мелкоштучных камней на цементно-песчаном растворе. Для кладки на клеевых составах коэффициент перехода от предела прочности к расчетному сопротивлению кладки сжатию может существенно отличаться от значений, представленных в таблице 15 [16]. Для срав-

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(1,7 - 1,64)^2 + (1,61 - 1,64)^2 + (1,6 - 1,64)^2}{3}} = 0,045 \quad (3)$$

где  $x_i$  – результаты испытаний кладки на сжатие;

$\bar{x}$  – средний предел прочности сжатию кладки,  $\bar{x} = R_u = 1,64$  МПа;

$n$  – количество испытаний,  $n = 3$ .

На основе полученного среднеквадратического отклонения  $\sigma$  рассчитаем коэффициент вариации  $V$ . Получим:

$$R_n = R_u - t_p \cdot \sigma = 1,64 - 1,96 \cdot 0,045 = 1,55 \text{ (МПа)}, \quad (5)$$

где  $R_u$  – средний предел прочности сжатию кладки;

$\sigma$  – среднеквадратическое отклонение прочности;

$$\sigma = \sqrt{\frac{(2 - 1,99)^2 + (2,03 - 1,99)^2 + (1,94 - 1,99)^2}{3}} = 0,037 \quad (6)$$

где  $x_i$  – результаты испытаний кладки на сжатие;

$\bar{x}$  – средний предел прочности сжатию кладки,  $\bar{x} = R_u = 1,99$  МПа;

$n$  – количество испытаний,  $n = 3$ .

Определим коэффициент вариации:

$$R_n = R_u - t_p \cdot \sigma = 1,99 - 1,96 \cdot 0,037 = 1,92 \text{ (МПа)}, \quad (8)$$

где  $R_u$  – средний предел прочности сжатию кладки;

$\sigma$  – среднеквадратическое отклонение прочности;

нительного анализа результатов испытаний образцов серий произведем определение нормативного значения сопротивления кладки сжатию на базе результатов, приведенных в таблице 1.

ЦПР образцы:

Среднеквадратическое отклонение  $\sigma$ :

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{0,045}{1,64} = 0,027. \quad (4)$$

Вариация слабая, статистическая совокупность – однородная. Определим нормативное сопротивление кладки сжатию  $R_n$ :

$t_p$  – показатель достоверности, принимаемый по [20].

Полиуретановые образцы:

Среднеквадратическое отклонение  $\sigma$ :

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{0,037}{1,99} = 0,018. \quad (7)$$

Вариация слабая, статистическая совокупность – однородная. Определим нормативное сопротивление кладки сжатию  $R_n$ :

$t_p$  – показатель достоверности, принимаемый по [17].

В силу того, что деформативность полиуретанового клея достаточно высока, трещинообразование в кладке возникает задолго (в среднем при уровне действующего осевого усилия не более 0.3...0.35 от разрушающего) до потери несущей способности. Данное явление не является стандартным поведением для ячеистобетонной кладки. Так происходит, потому что сниженная изгибная жесткость горизонтальных швов вызывает перераспределение усилий в нормальных сечениях, превращая образец в составной стержень, работающий на изгиб в близкой к предельной стадии. В результате на участке упругих деформаций вплоть до разрушения происходит ин-



Рис. 2. Образец ЦПР после разрушения

Полученные значения нормативной прочности существенно отличаются – рост показателя для ПУ образцов составил 19,2 %, что имеет хорошую сходимости с интервалом 0...30 %, указанным в п. 2 примечаний к таблице 9.1 [8]. Авторы связывают этот факт с уменьшением толщины шва, что изменяет напряженно-деформированное состояние контактной зоны шва с блоками и позволяет более полно реализовать прочность ячеистого бетона при работе на сжатие. Снижение объемной доли шва также увеличивает долю теплотехнической однородности кладки. Это позволяет говорить о том, что применение полиуретановых клеев помимо увеличения прочности кладки дает эффект и повышения приведенного расчетного сопротивления теплопередаче [19, 20].

**Выводы.** На основании проведенных исследований можно сформулировать следующие выводы.

1. Использование полиуретанового клея для ячеистобетонной кладки повышает ее несущую способность на центральное сжатие при кратковременном нагружении на 19,2 %.
2. При этом повышается трещиностойкость на 17,6 %, несмотря на более раннее трещинообразование.

тенсивное трещинообразование. Основная ориентация трещин кладки – вертикальные. Также стоит отметить несколько различающиеся характеры доведения до разрушения образцов в запредельных стадиях испытаний: кладка на растворе разрушается хрупко, с выколом отдельных фрагментов и блоков, на клею – более пластично с образованием сетки мелких трещин на всех гранях. Авторы объясняют эффект большим сопротивлением на сдвиг швов кладки на клею, что создает некую условную четырехгранную обойму по зоне контакта с соседними блоками. В случае раствора деформативности шва и блока довольно сопоставимы. Образцы после испытаний приведены на рисунках 2 и 3.



Рис. 3. Образец ПУ после разрушения

3. В число вопросов, необходимых для исследования, входит проведение испытаний с длительным нагружением и приложением внецентренно сжимающей нагрузки как основных факторов действительной работы при использовании ячеистобетонной кладки как конструктивно-теплоизоляционного материала наружных стен.

4. Необходимо теоретически обосновать прирост несущей способности при замене материала шва с помощью коррелирующих коэффициентов, учитывающих жесткость и толщину кладочных швов, на что указывают в том числе результаты исследований.

5. Одним из направлений проблематики научного исследования также остается определение фактической несущей способности при центральном и внецентренном сжатии энергоэффективной кладки с измененной схемой разрезки швов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левченко В.Н., Гринфельд Г.И. Производство автоклавного газобетона в России. История, современность, перспективы // Научно-практическая конференция «Современное производство автоклавного газобетона»: сборник докладов. СПб. 2011. С. 5–9.

2. Гладких А.А., Горшков А.С. Влияние рас- творных швов кладки на параметры теплотехни- ческой однородности стен из газобетона // Инже- нерно-строительный журнал. 2010. № 3(13). С. 39–42.
3. Сулейманов К.А., Погорелова И.А., Ряб- чевский И.С. Повышение теплотехнической од- нородности стен из ячеистобетонных блоков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 5. С. 17– 24.
4. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Sul- eymanov K.A. Energy efficiency improvement of aerated concrete block wall fences // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 945. 012006. DOI 10.1088/1757- 899X/945/1/012006.
5. Патент 196502, Российская Федерация, МПК E04B 2/02. Энергоэффективная кладка стен из ячеистобетонных блоков / Сулейманова Л.А., Рябчевский И.С., Коломацкий А.С., Погорелова И.А., Марушко М.В., Баженова О.О.; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2019141142, опубл. 11.12.2019. Бюл. № 7.
6. Патент 200968, Российская Федерация, МПК E04B 2/02. Кладка стен из ячеистобетон- ных блоков с их фиксацией по шву / Сулейманова Л.А., Рябчевский И.С., Погорелова И.А., Сулей- манов К.А., Марушко М.В., Амелин П.А.; заяви- тель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2020126438, опубл. 05.08.2020. Бюл. № 32.
7. Патент 200967, Российская Федерация, МПК E04B 2/02. Кладка стен из ячеистобетон- ных блоков с их фиксацией / Сулейманова Л.А., Рябчевский И.С., Коломацкий А.С., Сулейманов К.А., Монко Д., Кулагов В.А.; заявитель и патен- тообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. № 2020126437, опубл. 05.08.2020. Бюл. № 32.
8. СТО НААГ 3.1-2013. Конструкции с при- менением автоклавного газобетона в строитель- стве зданий и сооружений. Правила проектирова- ния и строительства. Санкт-Петербург. 2013. 176 с.
9. ГОСТ 31360-2007 Изделия стеновые не- армированные из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия. М.: Стандар- тинформ. 2008.
10. Деркач В.Н., Орлович Р.Б. Трещиностой- кость каменных перегородок // Жилищное строи- тельство. 2012. № 8. С. 34–37.
11. Kasa Lu.M, Habian E. Innovation on ma- sonry glued with on-site PU-adhesive // 8th Interna- tional Masonry Conference. 2010. Pp. 224–228.
12. Graubohm M., Brameshuber W. Investiga- tion on the gluing of masonry units with polyure-thane adhesive // 8th International Masonry Confer- ence. 2010. Pp. 371–376.
13. Schlöglmann, K.H. Long-term behaviour of PUR-glued clay block masonry // 14th International Brick and Block Masonry Conference. 2008. 58 p.
14. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Marushko M.V., Ryabchevsky I.S. Energy-efficient double-row masonry of exterior walls of buildings made of cellular concrete blocks // IOP conference series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 913(2). 022044. DOI: 10.1088/1757- 899X/913/2/022044
15. Firoz G.R.G., Suresh P., Sarode R.R. Com- parative analysis of the G+10 RCC building using AAC blocks and conventional blocks // International Journal of Research and Technology (IRJET). 2019. Vol. 6(4). Pp. 2430–2435.
16. Li J., Yao Y.Y.Y. A study on creep and dry- ing shrinkage of high performance concrete // Ce- ment and Concrete Research. 2001. Vol. 31(8). Pp. 1203–1206. DOI: 10.1016/S0008-8846(01)00539-7
17. Srivastava V., Kumar R., Agarwal V. Mehta P. Effect of Silica Fume on Workability and Com- pressive Strength of OPC Concrete // J. Environ. Nanotechnol. 2015. Vol. 3. Pp. 32–35. DOI: 10.13074/jent.2014.09.143086
18. Давидюк А.А., Фискинд Е.С., Гусарь О.А., Балакирева В.В. Преимущества в производ- стве и применении блоков из ячеистого бетона // Строительные материалы. 2018. № 12. С. 41–43. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-766-12-41-43
19. Вылегжанин В.П., Пинскер В.А., Петрова Т.М. Особенности пористой структуры ячеистых бетонов и ее влияние на теплопроводность // Строительные материалы. 2021. № 8. С. 67–72. DOI 10.31659/0585-430X-2021-794-8-67-71
20. Pukhkal V.A., Mottaeva A.B. FEM model- ing of external walls made of autoclaved aerated con- crete blocks // Magazine of Civil Engineering. 2018. Vol. 5. Pp. 202–211. DOI: 10.18720/MCE.81.20

#### Информация об авторах

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

**Есипов Станислав Максимович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хо- зяйства. E-mail: sk31.sm@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Се Ди, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: sk31.sm@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 18.02.2024 г.

© Сулейманова Л.А., Есипов С.М., Се Ди., 2024

**Suleymanova L.A., \*Esipov S.M., Se D.**

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

*\*E-mail: sk31.sm@gmail.com*

## RESISTANCE OF MASONRY MADE OF CELLULAR CONCRETE BLOCKS ON POLYURETHANE ADHESIVE TO CENTRAL COMPRESSION

**Abstract.** *In the article, the authors considered the prerequisites for the use of polyurethane glue in masonry made of cellular concrete blocks for housing construction, formulated theoretical hypotheses of the dependence of masonry made of cellular concrete blocks on the thickness and material of the seam during compression, presented the results of experimental studies of the resistance of masonry walls made of cellular concrete blocks to short-term central compression, established the dependence of the change in the compressive strength of masonry on the thickness and the seam material. The test results were evaluated by comparing the destructive forces for samples with joints made of cement-sand mortar with a thickness of 5 mm and samples with joints made of polyurethane glue with a thickness of 3 mm. It was found that the strength properties of masonry change when the material of the masonry seam and its thickness change, in the most indicative series of tests, the strength increase was about 19%. At the same time, the nature of the destruction has not changed – it is fragile, due to the excessive opening of vertical main cracks in the stone and partially in the seams. The deformability of the masonry did not change, the maximum deformations for samples with polyurethane glue and cement-sand mortar turned out to be identical. The applicability of polyurethane adhesives as an analogue of classical mortar joints for masonry walls has been proven.*

**Keywords:** *cellular concrete, polyurethane adhesive, cement-sand mortar, masonry strength, central compression.*

### REFERENCES

1. Levchenko V.N., Grinfeld G.I. Production of autoclaved aerated concrete in Russia. History, modernity, prospects [Proizvodstvo avtoklavного газобетона v Rossii. Istoriya, sovremennost', perspektivy]. Nauchno-prakticheskaya konferenciya «Sovremennoe proizvodstvo avtoklavного газобетона»: sbornik dokladov. St. Petersburg. 2011. Pp. 5–9. (rus)
2. Gladkikh A.A., Gorshkov A.S. The influence of mortar joints of masonry on the parameters of thermal uniformity of aerated concrete walls [Vliyanie rastvornyh shvov kladki na parametry teploekhnicheskoy odnorodnosti sten iz gazobetona]. Engineering and Construction Journal. 2010. No. 3(13). Pp. 39–42. (rus)
3. Suleymanov K.A., Pogorelova I.A., Ryabchevsky I.S. Increasing the thermal uniformity of walls made of cellular concrete blocks [Povyshenie teploekhnicheskoy odnorodnosti sten iz yacheistobetonnyh blokov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 5. Pp. 17–24. (rus)
4. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Suleymanov K.A. Energy efficiency improvement of aerated concrete block wall fences. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 945. 012006. DOI: 10.1088/1757-899X/945/1/012006
5. Suleymanova L.A., Ryabchevsky I.S., Kolomatsky A.S., Pogorelova I.A., Marushko M.V., Bazhenova O.O. Energy-efficient masonry of walls made of cellular concrete blocks. Patent RF, no. 196502, 2019. (rus)
6. Suleymanova L.A., Ryabchevsky I.S., Pogorelova I.A., Suleymanov K.A., Marushko M.V., Amelin P.A. Masonry of walls from cellular concrete blocks with their fixation at the seam. Patent RF, no. 200968, 2020. (rus)
7. Suleymanova L.A., Ryabchevsky I.S., Kolomatsky A.S., Suleymanov K.A., Monko D., Kulagov V.A. Masonry of walls from cellular concrete blocks with their fixation. Patent RF, no. 200967, 2020. (rus)
8. STO NAAG 3.1-2013. Structures using autoclaved aerated concrete in the construction of buildings and structures. Design and construction rules [STO NAAG 3.1-2013. Konstrukcii s primeneniem avtoklavного газобетона v stroitel'stve zdaniy i sooruzhenij. Pravila proektirovaniya i stroitel'stva]. Saint Petersburg. 2013. 176 p. (rus)
9. GOST 31360-2007 Non-reinforced wall products made of autoclaved cellular concrete. Technical conditions [GOST 31360-2007 Izdeliya stenovy'e nearmirovanny'e iz yacheistogo betona avtoklavного tverdeniya. Texnicheskie usloviya]. – M.: Standardinform. 2008. (rus)

10. Derkach V.N., Orlovich R.B. Crack resistance of stone partitions [Treshchinostojkost' kamennyh peregorodok]. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2012. No. 8. Pp. 34–37. (rus)
11. Kasa Lu.M, Habian E. Innovation on masonry glued with on-site PU-adhesive. 8th International Masonry Conference. 2010. Pp. 224–228.
12. Graubohm M., Brameshuber W. Investigation on the gluing of masonry units with polyurethane adhesive. 8th International Masonry Conference. 2010. Pp. 371–376.
13. Schlöglmann K.H. Long-term behavior of PUR-glued clay block masonry. 14th International Brick and Block Masonry Conference. 2008. 58 p.
14. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Marushko M.V., Ryabchevsky I.S. Energy-efficient double-row masonry of exterior walls of buildings made of cellular concrete blocks. IOP conference series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 913(2). 022044. DOI: 10.1088/1757-899X/913/2/022044.
15. Firoz G.R.G., Suresh P., Sarode R.R. Comparative analysis of the G+10 RCC building using AAC blocks and conventional blocks. International Journal of Research and Technology (IRJET). 2019. Vol. 6(4). Pp. 2430–2435.
16. Li J., Yao Y.Y.Y. A study on creep and drying shrinkage of high performance concrete. Cement and Concrete Research. 2001. Vol. 31(8). Pp. 1203–1206. DOI: 10.1016/S0008-8846(01)00539-7.
17. Srivastava V., Kumar R., Agarwal V. Mehta P. Effect of Silica Fume on Workability and Compressive Strength of OPC Concrete. J. Environ. Nanotechnol. 2015. Vol. 3. Pp. 32–35. DOI: 10.13074/jent.2014.09.143086.
18. Davidyuk A.A., Fiskind E.S., Gusar O.A., Balakireva V.V. Advantages in the production and use of cellular concrete blocks [Preimushchestva v proizvodstve i primenenii blokov iz yacheistogo betona]. Construction materials. 2018. No. 12. Pp. 41–43. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-766-12-41-43. (rus)
19. Vylegzhanin V.P., Pinsker V.A., Petrova T.M. Features of the porous structure of cellular concrete and its influence on thermal conductivity [Osobennosti poristoy struktury yacheistykh betonov i ee vliyanie na teploprovodnost']. Construction materials. 2021. No. 8. Pp. 67–72. DOI 10.31659/0585-430X-2021-794-8-67-71 (rus)
20. Pukhkal V.A., Mottaeva A.B. FEM modeling of external walls made of autoclaved aerated concrete blocks. Magazine of Civil Engineering. 2018. Vol. 5. Pp. 202–211. DOI: 10.18720/MCE.81.20

#### *Information about the authors*

**Suleymanova, Lyudmila A.** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Construction and Urban Management, Head of the Department of Construction and Urban Management. E-mail: kafedrasigsh@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

**Esipov, Stanislav M.** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction and Urban Management. E-mail: sk31.sm@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

**Se Di.** Postgraduate student of the Department of Construction and Urban Management. E-mail: sk31.sm@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

---

*Received 18.02.2024*

#### **Для цитирования:**

Сулейманова Л.А., Есипов С.М., Се Ди. Сопротивление кладки из ячеистобетонных блоков на полиуретановом клее центральному сжатию // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. №7. С. 35–42. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-7-35-42

#### **For citation:**

Suleymanova L.A., Esipov S.M., Se D. Resistance of masonry made of cellular concrete blocks on polyurethane adhesive to central compression. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 7. Pp. 35–42. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-7-35-42