Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2023, Том 15, № 5 / 2023, Vol. 15, Iss. 5 https://esj.today/issue-5-2023.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/51SAVN523.pdf

2.1.14. Управление жизненным циклом объектов строительства (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Сулейманова, Л. А. Исследование теплозащитных характеристик составных перемычек из газобетонных блоков / Л. А. Сулейманова, А. А. Х. Обайди // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 5. — URL: https://esj.today/PDF/51SAVN523.pdf

For citation:
Suleymanova L.A., Obaidi A.A.H. Study of the heat-shielding characteristics of composite lintels made of aerated concrete blocks. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(5): 51SAVN523. Available at: https://esj.today/PDF/51SAVN523.pdf. (In Russ., abstract in Eng.)

Сулейманова Людмила Александровна
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Заведующий кафедрой «Строительства и городского хозяйства»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1180-558X
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=445219
WoS: https://www.webofscience.com/wos/author/rid/I-3971-2018
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55876997500

Обайди Адхам Абдулсаттар Хамид
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова», Белгород, Россия
Ассистент кафедры «Строительства и городского хозяйства»
E-mail: kloud09@mail.ru

Исследование теплозащитных характеристик составных перемычек из газобетонных блоков

Аннотация. Статья посвящена исследованию эффективности различных методов армирования составных газобетонных перемычек, предназначенных для оконных и дверных проемов в строительстве гражданских зданий. Газобетонные блоки привлекают внимание строителей благодаря своим высоким теплофизическим и механическим характеристикам. Однако вопрос теплозащиты остается актуальным, особенно при использовании армированных перемычек, которые могут создавать теплопроводные мосты и ухудшать общую энергоэффективность зданий.

Авторами разработана составная газобетонная перемычка для оконных и дверных проемов, включающая два либо три газобетонных блока и шов по торцам, выполненный на полиуретановом клее. Армирование перемычки выполнено в виде ленты и частей ленты из углеродных волокон, прикрепленных к газобетонным блокам.

В данной работе проводится сравнительный анализ разных методов армирования газобетонных перемычек, включая стальные стержни и стеклокомпозитную арматуру, а также внешнее полосовое армирование с использованием лент из углеродных волокон. Результаты исследования позволяют сделать вывод, что внешнее полосовое армирование лентами из углеродных волокон является наиболее эффективным методом. Части ленты, выполненные из углеродных волокон, жестко прикрепленные к ложковым сторонам брусковых элементов в месте вертикальных швов, помимо повышения сдвиговой жесткости швов, выполненных на

полиуретановом клее, снижают продуваемость составной перемычки, повышая ее теплозащитные свойства.

Наиболее теплоэффективным типом армирования перемычек является внешнее полосовое армирование лентами из углеродных волокон, поскольку показатели приведенного сопротивления теплопередаче на 5–8 % выше показателей аналогичных перемычек с другим типом армирования, и на 11–26 % выше показателей традиционно применяемых перемычек (армированной сплошной перемычки и составной перемычки из U-образных блоков).

Исследование также выявляет влияние армирования на теплотехническую однородность конструкции, подчеркивая, что выбор типа армирования и соотношение площадей однородных частей конструкции могут значительно влиять на общую эффективность.

Ключевые слова: газобетонные перемычки; армирование; углеродные волокна; теплоизоляция; энергоэффективность; стеклокомпозитная арматура; теплотехническая однородность

Введение

Кладка стен из ячеистобетонных блоков является одной из наиболее эффективных способов возведения наружных стен гражданских зданий. Это объясняется высокими теплофизическими характеристиками и механической прочностью данного материала [1–4]. Блоки из ячеистого бетона обеспечивают высокую энергоэффективность зданий, а также их долговечность и надежность [5–7]. Однако высокие показатели энергоэффективности кладки из газобетонных блоков при оценке теплозащитных свойств наружной стеновой конструкции существенно уменьшаются за счет перемычек для оконных и дверных проемов, отличающихся более высокими показателями теплопроводности. Для снижения теплопроводности перекрытия проемов применяются армированные перемычки из автоклавного газобетона [8; 9] и U-образные газобетонные блоки, однако стальной арматурный каркас внутри перемычек снижает теплотехническую однородность всей стеновой конструкции, а большой вес перемычки относительно газобетонных блоков повышает трудоемкость и машиноемкость монтажа конструктивного элемента.

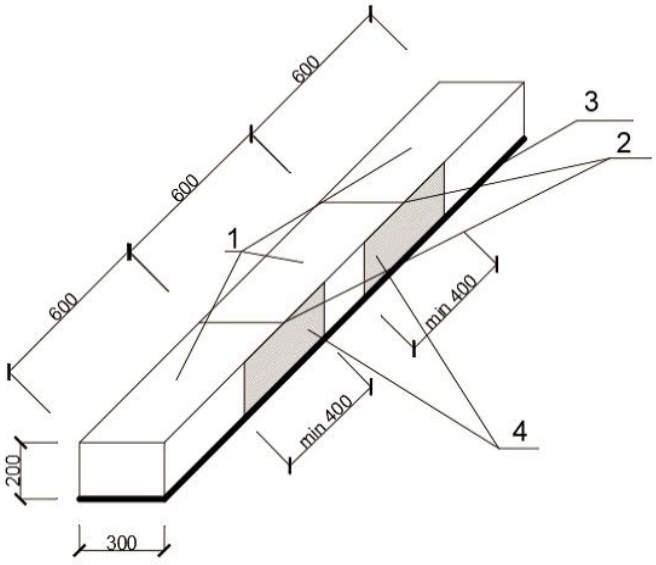
Для обеспечения требуемой теплотехнической однородность конструкции перекрытия оконных и дверных проемов без увеличения трудоемкости разработана перемычка газобетонная составная[1], включающая два либо три газобетонных блока (рис. 1, поз *1*) и шов (рис. 1, поз *2*) по торцам, выполненный на полиуретановом клее. Армирование перемычки выполнено в виде ленты (рис. 1, поз *3*) и частей ленты (рис. 1, поз *4*) из углеродных волокон, прикрепленных к газобетонным блокам.

С нижней стороны составной перемычки по всей ширине и длине с направлением волокон параллельно продольной оси составной перемычки прикреплена лента (рис. 1, поз *3*) из углеродных волокон при помощи эпоксидного клея. Также при помощи эпоксидного клея прикреплены части ленты (рис. 1, поз *4*) из углеродных волокон по ложковым сторонам ячеистобетонных брусковых элементов, по всей высоте газобетонного блока и симметрично относительно вертикального шва с направлением волокон перпендикулярно продольной оси составной перемычки.

[1] 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.

51SAVN523
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Для повышения прочностных характеристик в нижней части перемычки выполнен сквозной продольный паз с установленным в нем продольным стальным либо стеклокомпозитным стержнем.



1 — газобетонные блоки; 2 — вертикальный шов; 3 и 4 — ленты из углеродных волокон

Рисунок 1. *Составная газобетонная перемычка для оконных и дверных проемов (разработано автором)*

Методы

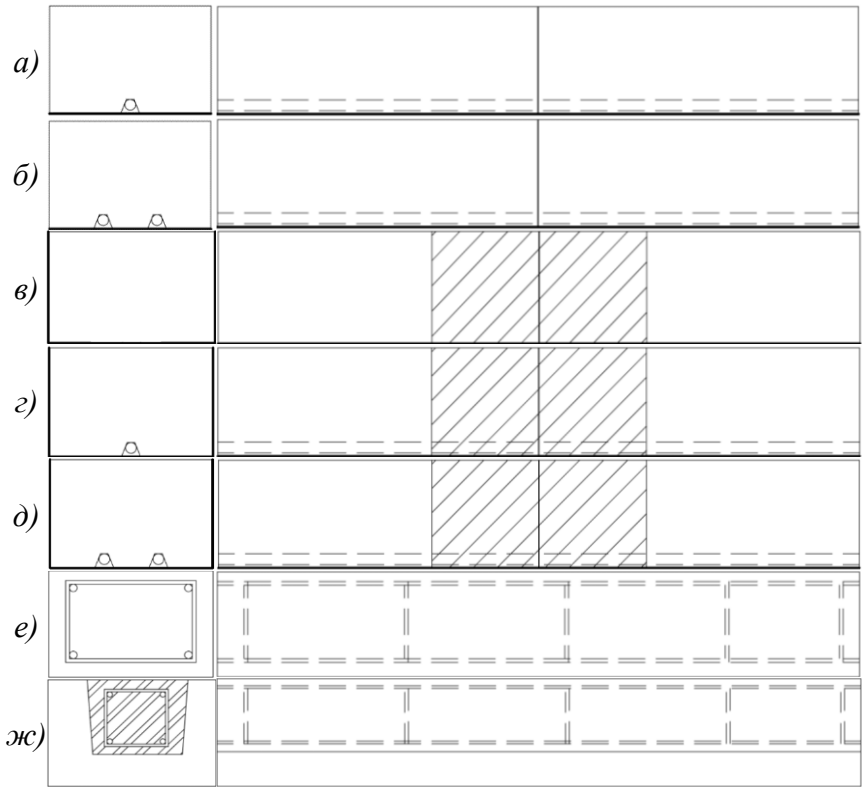
Для обоснования выбора типа армирования, повышающего прочностные свойства составной перемычки без значительного уменьшения теплозащитных свойств, был произведен расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции с учетом теплопроводных включений.

Для расчета рассматриваются фрагмент перемычки газобетонной составной, армированной одним стержнем (рис. 2 *а*), фрагмент перемычки, армированной двумя стержнями (рис. 2 *б*), фрагмент перемычки, армированной лентами из углеродных волокон по шву (рис. 2 *в*), фрагмент перемычки, армированной одним стержнем и лентами из углеродных волокон по шву (рис. 2 *г*), фрагмент перемычки, армированной двумя стержнями и лентами из углеродных волокон по шву (рис. 2 *д*), площадью 1 м^2 каждый. Рассматриваемые кладки состоят из газобетонных блоков *D*500 размером 200×300×600 мм. Блоки соединены по торцевым сторонам полиуретановым клеем толщиной 1 мм.

Стержневое армирование производится стальными либо композитными стержнями диаметром 10 мм. Ленты из углеродных волокон, прикрепленные с нижней стороны составной газобетонной перемычки, в расчете не учитывались, т. к. находятся вне тела газобетонных блоков и их влияние на сопротивление теплопередаче и продуваемость конструкции отсутствует. Ширина лент, прикрепленных к ложковым сторонам блоков в местах вертикальных швов для всех типов составных перемычек составляет 400 мм.

Также в рамках исследования рассматриваются армированная сплошная перемычка из газобетона маркой по средней плотности *D*500 (рис. 2 *е*), перемычка из U-образных блоков (рис. 2 *ж*) с расположенной в выемке арматурным каркасом, залитым бетоном марки М100.

51SAVN523
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com



а — перемычка, армированная одним стержнем; б — перемычка, армированная двумя стержнями; в — перемычка, армированная лентами из углеродных волокон по шву; г — перемычка, армированная одним стержнем и лентами из углеродных волокон по шву; д — перемычка, армированная двумя стержнями и лентами из углеродных волокон по шву; е — армированная газобетонная сплошная перемычка; ж — армированная перемычка из U-образных блоков

Рисунок 2. *Поперечный разрез и общий вид фрагментов составных перемычек из газобетонных блоков для определения приведенного сопротивления теплопередаче (разработано автором)*

Расчет приведенного сопротивления теплопередачи перемычек производится в соответствии с [10; 11].

Результаты

Рассматриваемые фрагменты перемычек представлены следующими видами однородной части конструкции:

- участок газобетонного блока;
- участок вертикального сквозного шва на полиуретановом клее;
- участок стержневого армирования в виде газобетонного блока со встроенным в него арматурными стержнями;
- участок внешнего полосового армирования в виде газобетонного блока с лентой из углеродных волокон, прикрепленной к ложковой стороне блока;
- участок выемки перемычки из U-образных блоков, состоящей из стенок из газобетона, арматурного каркаса из стальных стержней и залитого в выемку тяжелого бетона;
- участок выемки перемычки из U-образных блоков, состоящей из стенок из газобетона и залитого в выемку тяжелого бетона.

51SAVN523
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции рассчитываемого фрагмента определяется по формуле (1) [10; 11]:

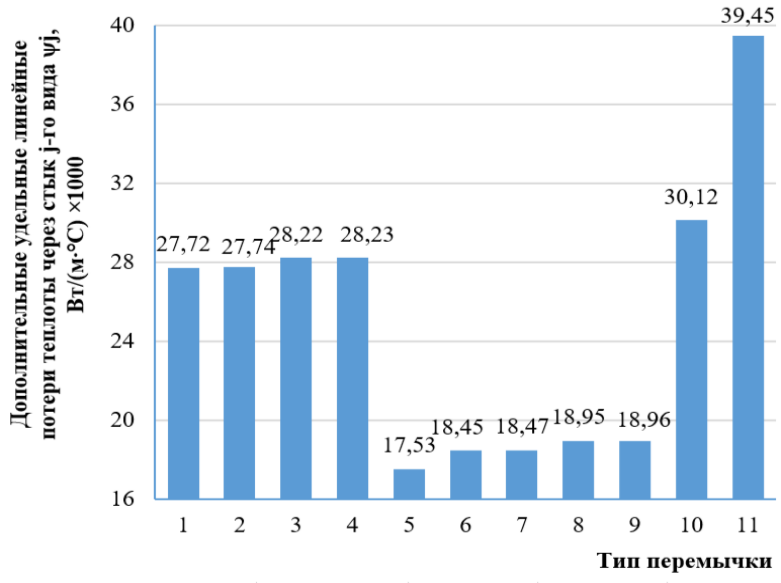
$$R^r_o = \Sigma A_i / (\Sigma A_i/R_{o,i} + \Sigma L_j\psi_j + \Sigma N_k K_k) \quad (1)$$

где A_i — площадь конструкции i-го вида в рассматриваемом фрагменте, м^2; L_j — протяженность всех стыков j-го вида в рассматриваемом фрагменте, м; N_k — число точечных теплотехнических неоднородностей k-го вида в рассматриваемом фрагменте, шт.; $R_{o,i}$ — сопротивление теплопередаче однородной части конструкции i-го вида, (м^2·°С)/Вт ; ψ_j — дополнительные удельные линейные потери теплоты через стык j-го вида, Вт/(м·°С); K_k — дополнительные удельные потери теплоты через точечную теплотехническую неоднородность k-го вида, Вт/°С.

Поскольку точечные теплотехнические однородности в рассматриваемых конструкциях отсутствуют, показатели N_k и K_k = 0.

Определяется приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента газобетонной перемычки, армированной одним стержнем, фрагмента перемычки, армированной двумя стержнями, фрагмента перемычки, армированной лентами из углеродных волокон по шву, фрагмента перемычки, армированной одним стержнем и лентами из углеродных волокон по шву, фрагмента перемычки, армированной двумя стержнями и лентами из углеродных волокон по шву, фрагмента армированной сплошной перемычки и фрагмент армированной перемычки из U-образных блоков. Дополнительные удельные линейные потери теплоты через стык j-го вида рассматриваемых фрагментов представлен на рисунке 3.

Из данных, представленных на рисунке 3, видно, что максимальные дополнительные удельные потери теплоты у фрагментов перемычек без внешнего полосового армирования, поскольку ленты из углеродных волокон, прикрепленные к газобетонным блокам в местах вертикальных швов, снижают продуваемость составной конструкции.



1 — перемычка с одним стальным стержнем; 2 — то же с одним стеклокомпозитным стержнем ;3 — то же с двумя стальными стержнями; 4 — то же с двумя стеклокомпозитными стержнями; 5 — то же с лентами из углеродных волокон по шву; 6 — то же с одним стальным стержнем и лентами из углеродных волокон по шву; 7 — то же с одним стеклокомпозитным стержнем и лентами из углеродных волокон по шву; 8 — то же с двумя стальными стержнями и лентами из углеродных волокон по шву; 9 — то же с двумя стеклокомпозитными стержнями и лентами из углеродных волокон по шву; 10 — армированная сплошная перемычка; 11 — составная перемычка из U-образных блоков

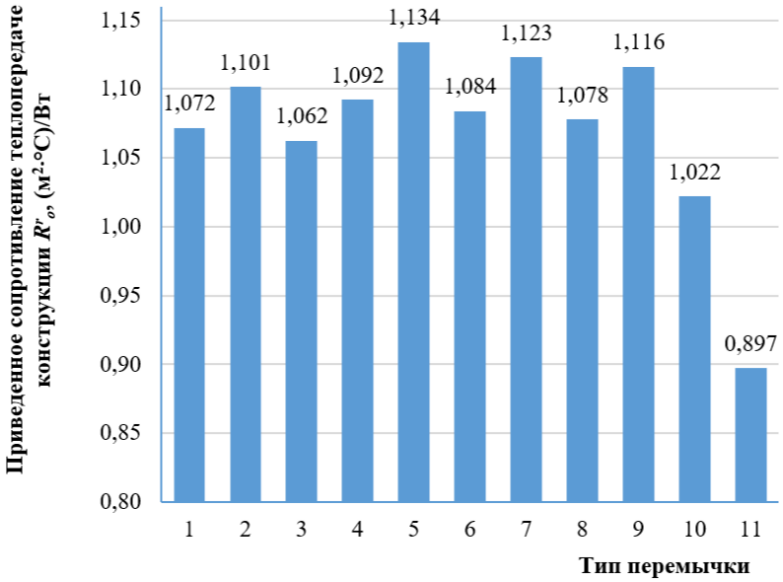
Рисунок 3. *Дополнительные удельные линейные потери теплоты через стык j-го вида фрагментов перемычек (разработано автором)*

51SAVN523
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Наименьшее значение дополнительных удельных потерь теплоты у перемычки, армированной лентами из углеродных волокон, что указывает на влияние стержневого армирования на теплотехническую однородность конструкции несмотря на то, что армирование стальными и стеклокомпозитными стержнями имеют различные показатели теплопроводности. Также следует отметить, что фрагменты перемычек с идентичным типом армирования имеют практические равные удельные потери теплоты, что указывает на то, что на теплотехническую однородность влияет соотношение площадей однородных частей конструкции.

Составная перемычка из U-образных блоков имеет наибольшие дополнительные удельные потери теплоты, поскольку конструкция данной перемычки содержит однородную часть конструкции, представленную в виде выемки с арматурным каркасом, заполненной тяжелым бетоном, достаточно большой площади, за счет чего увеличивается протяженность стыков однородных частей конструкции, способствующих потере теплоты.

На рисунке 4 представлены результаты исследования приведенного сопротивления теплопередаче фрагментов перемычек.



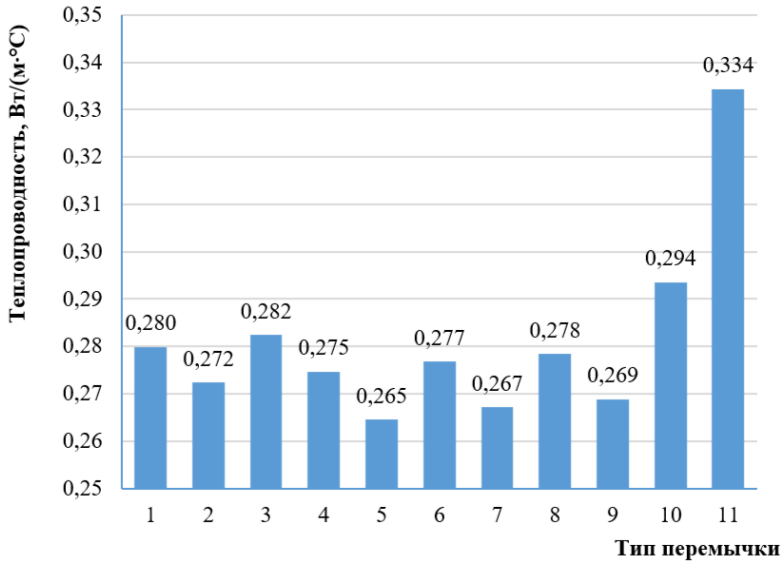
1 — перемычка с одним стальным стержнем; 2 — то же с одним стеклокомпозитным стержнем ;3 — то же с двумя стальными стержнями; 4 — то же с двумя стеклокомпозитными стержнями; 5 — то же с лентами из углеродных волокон по шву; 6 — то же с одним стальным стержнем и лентами из углеродных волокон по шву; 7 — то же с одним стеклокомпозитным стержнем и лентами из углеродных волокон по шву; 8 — то же с двумя стальными стержнями и лентами из углеродных волокон по шву; 9 — то же с двумя стеклокомпозитными стержнями и лентами из углеродных волокон по шву; 10 — армированная сплошная перемычка; 11 — составная перемычка из U-образных блоков

Рисунок 4. *Приведенное сопротивление теплопередаче фрагментов перемычек (разработано автором)*

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагментов составных перемычек, армированных стальными либо композитными стержнями без применения внешнего полосового армирования, зависит непосредственно от количества стержней в газобетонном блоке (рис. 4). При этом материал арматурного стержня незначительно влияет на приведенное сопротивление теплопередаче перемычки.

Результаты исследования теплопроводности составных газобетонных перемычек представлены на рисунке 5.

51SAVN523
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com



1 — перемычка с одним стальным стержнем; 2 — то же с одним стеклокомпозитным стержнем; 3 — то же с двумя стальными стержнями; 4 — то же с двумя стеклокомпозитными стержнями; 5 — то же с лентами из углеродных волокон по шву; 6 — то же с одним стальным стержнем и лентами из углеродных волокон по шву; 7 — то же с одним стеклокомпозитным стержнем и лентами из углеродных волокон по шву; 8 — то же с двумя стальными стержнями и лентами из углеродных волокон по шву; 9 — то же с двумя стеклокомпозитными стержнями и лентами из углеродных волокон по шву; 10 — армированная сплошная перемычка; 11 — составная перемычка из U-образных блоков

Рисунок 5. *Теплопроводность фрагментов перемычек (разработано автором)*

Из данных, представленных на рисунках 4 и 5, следует, что стержневое армирование как теплопроводное включение снижает теплотехнические характеристики исследуемых конструкций. При этом армирование стальными стержнями снижает теплозащитные свойства перемычек на 3–6 % по сравнению со стержневым армированием стеклокомпозитной арматурой в связи с высокой теплопроводностью стали. Наиболее теплоэффективным типом армирования перемычек является внешнее полосовое армирование лентами из углеродных волокон, поскольку показатели приведенного сопротивления теплопередаче на 5–8 % показателей составных перемычек с другим типом армирования. Однако в случае необходимости повышения прочностных характеристик составной перемычки за счет устройства стержневого армирования в тело газобетонных блоков следует применять стеклокомпозитную арматуру с высокими показателями теплозащиты.

По отношению к сплошной армированной перемычке у составной перемычки из газобетонных блоков, армированной лентами из углеродных волокон по шву, показатели теплопроводности выше на 11 %; по отношению к составной перемычке из U-образных блоков — на 26 % за счет отсутствия теплопроводных включений в виде арматурного каркаса и тяжелого бетона в теле перемычки.

Обсуждение и выводы

Автором разработана энергоэффективная составная газобетонная перемычка для оконных и дверных проемов с различным типом армирования, позволяющая снизить деформацию ограждающей конструкции, используя полиуретановый клей для крепления стальных и стеклокомпозитных стержней, а также для внешнего полосового армирования. Для оценки эффективности данной перемычки был проведен расчет ее сопротивления теплопередаче, учитывая различные варианты армирования, что позволило сделать выводы.

51SAVN523
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Внешнее армирование в виде ленты из углеродных волокон, жестко прикрепленной с нижней стороны составной газобетонной перемычки по всей ее площади с направлением волокон параллельно продольной оси, обеспечивает необходимые прочностные характеристики, соответствующие требованиям к ячеистобетонным перемычкам, при этом сохраняя ее теплоизоляционные свойства. Применение полиуретанового клея для заполнения вертикальных швов по краям составной перемычки обусловлено его низкой теплопроводностью и совместимостью с ячеистым бетоном, что способствует повышению эффективности данной конструкции.

Отдельные части ленты из углеродных волокон, закрепленные к боковым сторонам брусковых элементов в местах вертикальных швов, помимо усиления сдвиговой жесткости таких швов, снижают проницаемость воздуха через составную перемычку, улучшая ее теплоизоляционные свойства.

Наиболее теплоэффективным типом армирования перемычек является внешнее полосовое армирование лентами из углеродных волокон, поскольку показатели приведенного сопротивления теплопередаче на 5–8 % выше показателей аналогичных перемычек с другим типом армирования, и на 11–26 % выше показателей традиционно применяемых перемычек (армированной сплошной перемычки и составной перемычки из U-образных блоков).

ЛИТЕРАТУРА

1. Grinfeld G.I. Perfomance Characteristics of Autoclaved Aerated Concrete with Density 400 kg/cub.m // Construction of Unique Buildings and Structures. — 2013. — No. 5(10). — Pp. 28–57.
2. Гущин С.В., Семиненко А.С., Чхао Шень Мировые тенденции развития энергосберегающих технологий // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. — 2020. — № 5. — С. 31–43.
3. Карпов Д.Ф. Применение активного и пассивного теплового контроля в дефектоскопии строительных материалов и изделий, ограждающих конструкций зданий и сооружений // Строительные материалы и изделия. — 2019. — № 4, — С. 39–44.
4. Peng P.F., Qin X.M., Wu Y.S. Performance Study on Masonries of Different Aerated Concrete Blocks // Key Engineering Materials. — 2014. — No. 633. — Pp. 299–302.
5. N. Harmati, Ž. Jakšić, N. Vatin, Energy consumption modelling via heat balance method for energy performance of a building // In: Procedia Engineering. — 2015. — Pp. 786–794.
6. Stritih U. Heat Transfer Enhancement in Latent Heat Thermal Storage System for Buildings // Energy and Buildings. — 2003. — No. 35(11). — Pp. 1097–1104.
7. Girault M., Petit D. Identification methods in nonlinear heat conduction. Part II: inverse problem using a reduced model // Int. Journal of Heat and Mass. — 2005. — No. 48(1). — Pp 119–133.
8. 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.

51SAVN523
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

9. 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.

10. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Marushko M.V., Ryabchevsky I.S. Energy-efficient double-row masonry of the exterior walls in the buildings made of cellular concrete blocks // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. — 2020. — No 913, — P. 022044.

11. Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Suleymanov K.A. Energy efficiency improvement of aerated concrete block wall fences // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. — 2020. — No 945. — P. 012006.

Suleymanova Lyudmila Alexandrovna
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1180-558X
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=445219
WoS: https://www.webofscience.com/wos/author/rid/I-3971-2018
SCOPUS: https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55876997500

Obaidi Adham Abdulsattar Hameed
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russia
E-mail: kloud09@mail.ru

Study of the heat-shielding characteristics of composite lintels made of aerated concrete blocks

Abstract. The article is devoted to the study of the effectiveness of various methods of reinforcing composite aerated concrete lintels intended for window and door openings in the construction of civil buildings. Aerated concrete blocks attract the attention of builders due to their high thermal and mechanical characteristics. However, the issue of thermal protection remains relevant, especially when using reinforced lintels, which can create thermal bridges and degrade the overall energy efficiency of buildings.

The authors have developed a composite aerated concrete lintel for window and door openings, including two or three aerated concrete blocks and a seam at the ends made with polyurethane glue. The lintel reinforcement is made in the form of tape and parts of carbon fiber tape attached to aerated concrete blocks.

This paper provides a comparative analysis of different methods of reinforcing aerated concrete lintels, including steel rods and glass-composite reinforcement, as well as external strip reinforcement using carbon fiber tapes. The results of the study allow us to conclude that external strip reinforcement with carbon fiber tapes is the most effective method. Parts of the tape made of carbon fibers, rigidly attached to the flange sides of the bar elements in the place of vertical seams, in addition to increasing the shear rigidity of the seams made with polyurethane glue, reduce the airflow of the composite lintel, increasing its heat-shielding properties.

The most thermally efficient type of lintel reinforcement is external strip reinforcement with carbon fiber tapes, since the reduced heat transfer resistance is 5–8 % higher than that of similar lintels with another type of reinforcement, and 11–26 % higher than the indicators of traditionally used lintels (reinforced solid lintel and composite U-block lintels).

The study also reveals the influence of reinforcement on the thermal homogeneity of a structure, highlighting that the choice of reinforcement type and the area ratio of homogeneous parts of a structure can significantly influence the overall efficiency.

Keywords: aerated concrete lintels; reinforcement; carbon fibers; thermal insulation; energy efficiency; glass-composite reinforcement; thermal homogeneity