

УДК 624.016
DOI 10.52684/2312-3702-2021-36-2-5-10

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КОМПЛЕКСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

М. В. Новиков, О. А. Сотникова, А. Н. Гойкалов

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Представлены результаты испытаний сжатых элементов кладки из мелких ячеистых блоков с пенобетонными сердечниками при кратковременном действии осевой нагрузки. Установлен характер разрушения опытных элементов с различными схемами армирования и степень совместной работы монолитного пенобетона с газосиликатной кладкой в комплексной конструкции. Проведена оценка прочности данных комплексных элементов конструкций и показана эффективность их применения для повышения несущей способности кладки стен и столбов в строительстве зданий малой и средней этажности. Прирост прочности сжатых элементов, вследствие армирования сердечников пространственными каркасами составил от 10,5 до 12,5 %, отклонение теоретических значений прочности центрально сжатых комплексных сечений от экспериментальных не превышало 10 %. Выявлен полутора-двукратный резерв прочности сплошной и усиленной пенобетонными сердечниками кладки в случае ее применения в несущих стенах пятиэтажного здания.

Ключевые слова: комплексная конструкция, сердечник, каменная кладка, монолитный пенобетон, газосиликатные блоки, несущая способность, прочность, сжатый элемент.

BEARING CAPACITY OF COMPLEX STRUCTURES OF CELLULAR CONCRETE

M. V. Novikov, O. A. Sotnikova, A. N. Goikalov

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Results of tests of compressed masonry elements from small cellular blocks with foam concrete cores with short-term action of axial load are presented. The nature of the destruction of experimental elements with various reinforcement schemes and the degree of joint work of monolithic foam concrete with gas silicate masonry in a complex structure is established. The strength of these complex structural elements was evaluated and the effectiveness of their application was shown to increase the load-bearing capacity of masonry of walls and pillars in the construction of buildings of small and medium storeys. The strength gain of the compressed elements, due to the reinforcement of the cores with spatial frames, ranged from 10,5 to 12,5 %, the deviation of the theoretical strength values of the centrally compressed complex sections from the experimental ones did not exceed 10 %. One and a half-two-fold reserve of strength of solid and reinforced by foam concrete cores of masonry in case of its application in bearing walls of five-storey building was revealed.

Keywords: complex structure, core, masonry, monolithic foam concrete, gas silicate blocks, bearing capacity, strength, compressed element.

Вводная часть

Условия современного строительства диктуют новые требования к применяемым материалам и технологиям. Сегодня разделение несущих и теплоизолирующих функций строительных материалов в конструкциях зданий является основой концепции теплоэффективного здания и повышения уровня его тепловой защиты [1–5]. Принимая это во внимание, в последнее время значительно возросла роль ячеистых газо- и пенобетонов, которые находят все более широкое и комплексное применение, не только как теплоизоляционный, но и как эффективный конструкционный материал для несущих конструкций зданий [6–14].

Возросший спрос на этот высокоэффективный строительный материал возник благодаря совокупности сочетания в нем таких качеств, как высокие теплоизоляционные свойства при достаточной прочности, малый вес, высокие показатели долговечности, огнестойкости, шумоизоляции, воздухо- и паропроницаемости, а также легкая механическая обрабатываемость, экологическая чистота, технологичность и ряд других. Одновременно следует признать, что в современном строительстве здания с несущими стенами из мелких ячеистых блоков, как правило, ограничиваются пятью этажами, а в сейсмически опасных районах они могут быть только одно- и двухэтажными. В связи с этим

часто встает вопрос об их усилении для повышения этажности зданий [15–16]. Одним из способов усиления и увеличения несущей способности кладки стен и столбов из блоков ячеистого бетона является создание комбинированной конструкции с железобетонными сердечниками из пенобетона. Использование пенобетона вместо обычного тяжелого бетона позволит снизить вес и повысить теплозащитные свойства стен, увеличить их сопротивляемость сейсмическим воздействиям и придать большую однородность конструкции здания.

Такой вид усиления каменных конструкций, так называемых комплексных конструкций, представляющих сочетание каменной кладки с железобетоном, впервые был предложен проф. П.Л. Пастернаком. В дальнейшем, исследования напряженно-деформированного состояния такого рода конструкций получили развитие в работах В.П. Некрасова, Л.И. Онищика, В.А. Камейко, С.В. Полякова, С.А. Семенцова, С.В. Кожаринова, П.Л. Еременка, В.М. Бондаренко, Т.И. Барановой и других ученых [17–24]. Опыт применения стен и столбов из кирпичной кладки, усиленных монолитными железобетонными включениями (сердечниками), показал высокую эффективность данного решения. Однако переносить эти данные и сведения применительно к новому виду изделий из газосиликата и пенобетона

невозможно без проведения всесторонних исследований их прочностных и деформативных свойств. В связи с этим изучение совместной работы кладки из газосиликата и монолитного пенобетона в комплексной конструкции и влияния различных схем армирования на прочность при сжатии данных элементов являются предметом настоящих исследований.

Основная часть

Для натурных испытаний на осевое сжатие кратковременной нагрузкой было изготовлено три серии опытных элементов (по пять образцов в каждой) сечением 250×250 мм, высотой 1000 мм (рис. 1). Опытные элементы представляли собой каменную кладку из мелких газосиликатных блоков, которая являлась несъемной опалубкой при бетонировании внутренней полости-сердечника пенобетоном без армирования и с армированием. Пенобетонный сердечник имел сечение 150×150 мм.

Состав и технология приготовления монолитного пенобетона (поризованного бетона) даны в работах [1, 10]. Используемая технология, кроме простоты производства пенобетона, обладает множеством других положительных качеств. Например, в процессе его приготовления легко удастся придать этому материалу требуемую плотность и прочность путем изменения подачи количества воздухововлекающей добавки. В результате возможно получение изделий плотностью от 800 до 1600 кг/м³.



Рис. 1. Общий вид серии комплексных элементов в процессе изготовления

Армирование пенобетонных сердечников осуществлялось сварными пространственными арматурными каркасами с продольной арматурой Ø 8 мм из стали классов А400 и А240. Перечные стержни каркасов выполнены Ø 5 мм класса В500. Шаг поперечных стержней принят равным 120 мм. Одна серия опытных элементов имела косвенное (поперечное) армирование паяными сетками из проволоки Ø 1,2 мм с ячейкой 28 мм.

Для изготовления опытных элементов были использованы стеновые мелкие газосиликатные блоки класса прочности на сжатие В2, марки по средней плотности D500, клеевой состав марки 50

и монолитный пенобетон класса прочности на сжатие В2,5, марки по средней плотности D900. Тем самым было выполнено требование СП 339.1325800.2017 «Конструкции из ячеистых бетонов» по минимальному классу бетона, а именно: «для каменных конструкций следует предусматривать ячеистые бетоны классов по прочности на сжатие не ниже В1,5, для бетонных и железобетонных конструкций - не ниже В1».

В качестве базового элемента служили образцы в виде сплошной не армированной кладки из мелких газосиликатных блоков.

Испытания опытных элементов на осевое сжатие проводились на установке Instron 1500HDS в центре коллективного пользования ВГТУ им. проф. Ю.М. Борисова (рис. 2). Возраст образцов к моменту испытаний составлял 28–30 суток. Нагружение опытных образцов, с предварительным центрированием по физической оси, производилось ступенями до их разрушения. Измерение продольных и поперечных деформаций выполнялось индикаторами часового типа МИГ-1 с ценой деления 0,001 мм, которые были установлены на базе 250 мм и 200 мм соответственно. Также величина деформаций контролировались тензометрическими датчиками сопротивления типа PL-120-11 с базой измерения 120 мм, наклеенными на боковые поверхности образцов в середине их высоты. Регистрация сигналов с датчиков осуществлялась тензометрической измерительной станцией MGCplus AB22A, подключенной к ПК. Места появления, ширина раскрытия и высота трещин фиксировались визуально-инструментальным способом.

При изготовлении опытных элементов были отформованы контрольные образцы-кубы из пенобетона размером 100×100×100 мм и выпилены образцы-кубы из газосиликатных блоков размером 70×70×70 мм. Испытание контрольных образцов-кубов производилось на установке Instron мод. 5982, результаты испытаний даны в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытания кубов из ячеистого бетона на сжатие

Вид бетона	Размер ребра куба, мм	Средняя плотность, кг/м ³	Средняя прочность, МПа	Масштабный коэффициент α	Приведенная прочность бетона, МПа
Газосиликатный бетон D500 В2	70	534	3,21	0,9	2,9
Монолитный пенобетон D900 В2,5	100	908	3,25	0,95	3,1

Испытания показали прирост несущей способности опытных элементов, усиленных армированными сердечниками по сравнению с

базовыми элементами из сплошной кладки газосиликатными блоками (табл. 2). В большей степени прирост дает армирование пенобетонного сердечника пространственными каркасами (10,5–12,5 %) нежели введение поперечной паяной сетки в горизонтальные растворные швы

кладки (1,5 %). Несущая способность не армированных комплексных элементов на 4,5 % меньше базовых элементов. Совместная работа сердечника из монолитного пенобетона с кладкой из газосиликата в комплексной конструкции в среднем обеспечена их сцеплением на 80 %.

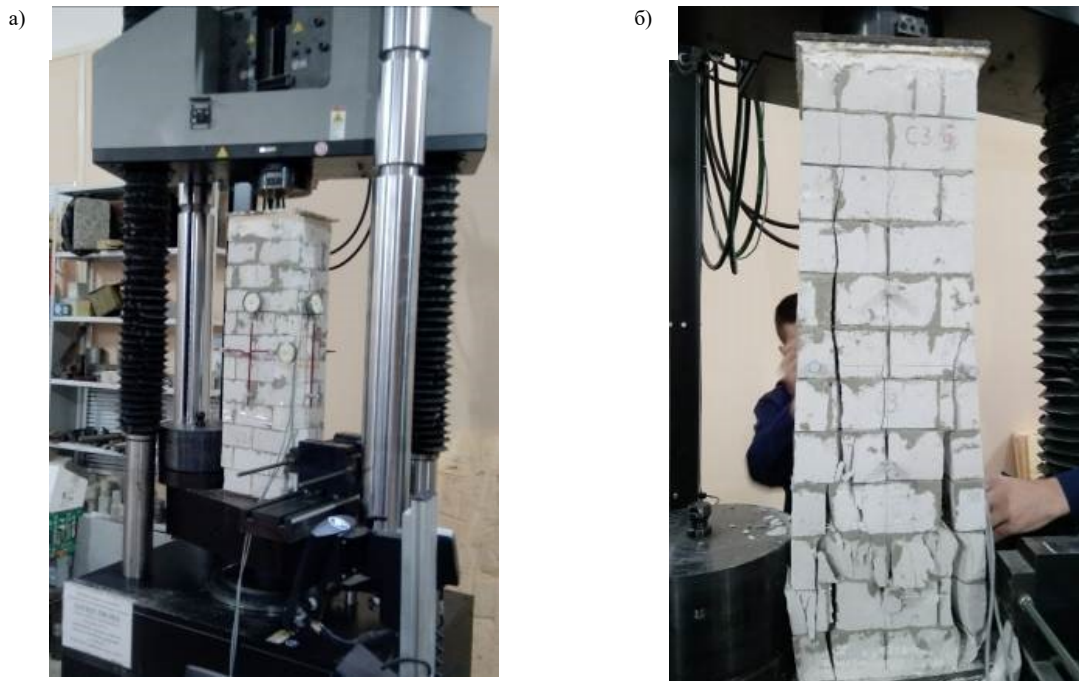


Рис. 2. Общий вид комплексного элемента до (а) и после (б) испытаний на сжатие в установке Instron 1500HDS

Таблица 2

Экспериментальные характеристики опытных элементов

Марка	Эскиз и состав сечения элемента	% армирования	Разрушающая нагрузка N _р , кН	Предел прочности кладки R _к , МПа	Расчетное сопротивление кладки R, МПа
КЭ-1	<p>1 – кладка газосиликатными блоками D500 В2 на клеевом составе М50</p>	-	125,0	2,0	0,89
КЭ-2	<p>2 – монолитный сердечник из пенобетона D900 В2,5</p>	-	119,6	1,91	-

Продолжение таблицы 2

Марка	Эскиз и состав сечения элемента	% армирования	Разрушающая нагрузка N_{br} , кН	Предел прочности кладки R_b , МПа	Расчетное сопротивление кладки R , МПа	Марка
КЭ-3		3 – сетки поперечного армирования с яч. 28 мм, \emptyset 1,2 мм	0,1	126,8	2,03	-
КЭ-4		4 – арматурный каркас из продольных стержней $4\emptyset 8A400$ и поперечных хомутов $\emptyset 5B500$	0,89	140,7	2,25	-
КЭ-5		5 – арматурный каркас из продольных стержней $4\emptyset 8A240$ и поперечных хомутов $\emptyset 5B500$	0,89	138,2	2,21	-

Следует отметить, что виду затрудненного бетонирования и контроля качества уплотнения пенобетона, существенного эффекта от поперечного армирования сетками комплексных элементов не наблюдалось, в отличие от ранее выполненных исследований [25–26], где прирост несущей способности сплошной кладки в зависимости от процента поперечного армирования сварными сетками составил от 8 до 24 % по сравнению с неармированной кладкой. В связи с чем, максимальное значение расчетного сопротивления кладки с поперечным армированием R_{sk} было ограничено величиной 1,24R.

При сжатии комплексной конструкции наряду с продольными возникают и поперечные деформации, которые вызывают образование продольных трещин. Первые трещины обычно возникали в швах между газосиликатной кладкой и пенобетоном в нижних рядах кладки при нагрузке, равной 0,75–0,9 от разрушающей. При дальнейшем росте нагрузки количество трещин увеличивалось, они росли в длину и ширину, разделяя кладку вместе с защитным слоем пенобетона на части вокруг каркаса сердечника (рис. 3). Потеря

устойчивости железобетонного сердечника приводила к разрушению всей конструкции.

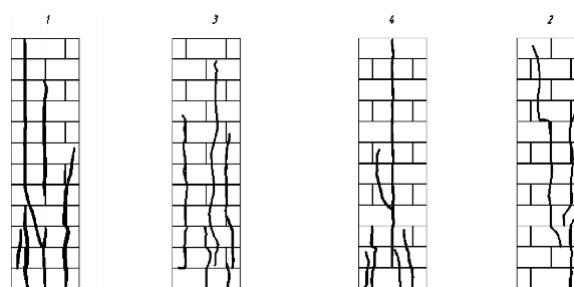


Рис. 3. Трещины по граням опытного элемента № 2 марки КЭ-4 при его разрушении

Разрушение комплексных элементов, где в работу включена сетка поперечного армирования, происходило главным образом от раздавливания отдельных блоков в рядах между сетками. Наличие сеток в горизонтальных швах препятствовало объединению мелких трещин в крупные вертикальные трещины, разделяющие кладку на отдельные столбики.

Работа неармированных элементов заканчивалась появлением сквозной вертикальной

трещины, фактически на каждой из граней сжатого элемента. Трещина начинала развиваться в отдельных блоках над вертикальными растворными швами, далее, объединяясь с расположенными под ней растворными швами, разрывала опытный элемент на четыре практически равных столбика. Окончательное разрушение опытного элемента происходило от фактического распада, вследствие потери устойчивости отдельных столбиков, каждый из которых был внецентренно нагружен.

В общем случае, по результатам испытания сжатых элементов комплексных конструкций, можно выделить 4 стадии их напряженно-деформированного состояния: I – до появления вертикальных трещин, II – после образования локальных трещин в пределах 1-2 рядов кладки, III – объединение локальных трещин в магистральные, расчленяя кладку на отдельные части и IV – стадия разрушения.

Расчет на прочность комплексных конструкций осуществлялся аналогично армокаменным конструкциям с продольным армированием и добавлением бетона по формуле:

$$N \leq N_U = \varphi_{\kappa} m_g (\gamma_c R A + \gamma_b R_b A_b + \lambda_{sc} R_{sc} A_{sc}), \quad (1)$$

где R , R_b и R_{sc} – расчетные сопротивления сжатию соответственно газосиликатной кладки, пенобетона и сжатой арматуры; A , A_b и A_{sc} – площадь сечения газосиликатной кладки, пенобетона и сжатой арматуры; γ_c , γ_b , γ_{sc} – коэффициент условия работы газосиликатной кладки, пенобетона и сжатой арматуры (приняты на основании эксперимента); m_g – коэффициент условий работы комплексного элемента; φ_{κ} – коэффициент продольного изгиба комплексной конструкции, определяемый с учетом приведенной упругой характеристики комплексного сечения α_{κ} :

$$\alpha_{\kappa} = E_{0\kappa,red} / R_{uk,red} = 764. \quad (2)$$

Приведенный модуль упругости и приведенное временное сопротивление комплексного сечения определяются по формулам:

$$E_{0\kappa,red} = \frac{E_0 I + E_b I_b}{I + I_b} = 1720 \text{ МПа}; \quad (3)$$

$$R_{uk,red} = \frac{R_u A + R_{b,m} A_b}{A + A_b} = 2,25 \text{ МПа}, \quad (4)$$

где E_0 , E_b – начальные модули упругости кладки и пенобетона; I , I_b – моменты инерции сечений кладки и пенобетона; R_u , $R_{b,m}$ – временные

сопротивления сжатию газосиликатной кладки и пенобетона.

Сопоставление результатов расчета прочности сжатых комплексных сечений по (1) с экспериментальными значениями дало приемлемые результаты с отклонением не более 10 %.

Учитывая, что напряжения в несущих стенах пятиэтажного здания составляют в среднем 0,5 МПа на 1 п.м. стены, можно предположить полутора-двукратный резерв прочности, который обеспечивает сплошная и тем более усиленная пенобетонными сердечниками кладка.

Заключение

Основываясь на полученных данных, можно заключить, что применение армированного сердечника из монолитного пенобетона в кладке из мелких газосиликатных блоков является эффективным средством повышения ее несущей способности. Величина прироста прочности опытных элементов, вследствие армирования сердечников пространственными каркасами составляет от 10,5 до 12,5 %. Момент появления первых видимых трещин в сжатых комплексных элементах соответствует нагрузке, равной 0,75–0,9 от разрушающей.

Методика расчета прочности центрально сжатых комплексных сечений по (1) с принятыми на основании эксперимента коэффициентами условий работы кладки, пенобетона и сжатой арматуры γ_c , γ_b , γ_{sc} , дает приемлемые результаты с отклонением от экспериментальных значений, не превышающем 10 %.

Существенный эффект от поперечного армирования сетками в экспериментах не наблюдался вследствие технологических причин изготовления опытных элементов. Принимая это во внимание, рекомендуется для сердечника повысить класс пенобетона по прочности на сжатие до В5–7,5, использовать для поперечного армирования сварную кладочную сетку вместо паяной и контролировать качество укладки пенобетона в несъемную опалубку из кладки с «густым» ее армированием поперечными сетками.

В случае применения в несущих стенах пятиэтажного здания кладки из блоков ячеистого бетона, усиленной пенобетонными сердечниками, их прочность будет обеспечена с запасом в 1,5-2 раза. Также укажем, что применение газосиликатной кладки взамен кирпича и тяжелого бетона делает здание более легким и, соответственно, легче переносящим сейсмические нагрузки при сотрясении.

Список литературы

1. Славчева Г.С., Чернышов Е.М., Новиков М.В. Теплоэффективные пенобетоны нового поколения для малоэтажного строительства // Строительные материалы. 2017. № 7. С. 20-24.
2. Ухова Т.А., Фискинд Е.С. Комплексное применение неавтоклавно-поробетона и порофибробетона в возведении малоэтажных жилых домов // Технологии бетонов. 2012. № 5-6 (70-71). С. 71-72.
3. Давидюк А.А., Фискинд Е.С., Гусарь О.А., Балакирева В.В. Преимущества в производстве и применении блоков из ячеистого бетона // Строительные материалы. 2018. № 12. С. 41-43.

4. Новиков М.В., Зарубина А.А. Оценка энергоэффективности кладки наружных стен из крупноформатных теплоэффективных блоков // Академическая наука – проблемы и достижения: матер. XIV Междунар. науч.-практ. конф. Том 3. - North Charleston, USA: CreateSpace, 2017. С. 65-73.
5. Гринфельд Г.И. Эксплуатационные характеристики автоклавного газобетона марки по средней плотности D400 // Интернет-журнал "Строительство уникальных зданий и сооружений". 2013. №5 (10). С. 28-57.
6. Периев Ю.С., Фролов Н.В. О возможностях применения пенобетонных камней для кладки несущих стен малоэтажных жилых зданий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 6. С. 25-28.
7. Грановский А.В., Джамуев Б.К., Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И. Экспериментальное определение нормального и касательного сцепления кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на различных клеевых составах // Строительные материалы. 2015. № 8. С. 22-25.
8. Гусев Н.И., Аюпова З.В. Стены отопляемых зданий из пенобетона, их преимущества и недостатки // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. 2015. № 1 (1). С. 37-40.
9. Гринфельд Г.И. Деформативность и прочность сцепления кладки из автоклавного газобетона в зависимости от его плотности и прочности // Технологии бетонов. 2016. № 5-6. С. 12-14.
10. Новиков М.В., Чернышов Е.М., Славчева Г.С. Механические свойства цементного поризованного бетона при одноосном сжатии с учетом закономерностей его ползучести // Строительные материалы. 2016. № 11. С. 26-31.
11. Novikov M.V., Prokshits E.E., Goykalov A.N. Creep and Long-Time Strength of Compression Elements from Foam Concrete // Solid State Phenomena. 2018. Vol. 284. pp. 936-943.
12. Новиков М.В. Оценка долговечности стеновых элементов из поризованного бетона естественного твердения // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: матер. Всерос. науч.-техн. конф., посвящ. 75-летию засл. деятеля науки РФ, акад. РААСН, д.т.н., проф. Селяева В. П. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2019. С. 225-231.
13. Новиков М.В., Чернышов Е.М., Славчева Г.С. Прочность нормальных сечений изгибаемых элементов из поризованного бетона естественного твердения // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2020. № 1 (44). С. 83-88.
14. Novikov, M.V. Strain-Stress Distribution of Structural Components from Foam Concrete for Monolithic Construction / M.V. Novikov, E.M. Chernyshov, E.E. Prokshits // Key Engineering Materials. 2021. Vol. 887. pp. 711-717.
15. Сотникова О.А., Новиков М.В., Гойкалов А.Н. Усиление кладки стен пенобетонными сердечниками // Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций: сб. науч. статей XXIV научно-методической конференции. – СПб., 2020. С. 107-112.
16. Салогуб Л.П., Новиков М.В., Савицкая А.А. Особенности проектирования и строительства сейсмостойких зданий // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2019. № 4(37). С. 33-40.
17. Пастернак П.Л. Комплексные конструкции. Каменные конструкции, усиленные железобетоном. – М.: Стройвоениздат, 1948. 90 с.
18. Поляков С.В. Центральное сжатие комплексных сечений // Бюллетень строительной техники. 1948. № 12.
19. Кожаринов С.В. О несущей способности фрагментов стен комплексной конструкции при горизонтальной нагрузке // Сейсмостойкость зданий и сооружений: сб. трудов ЦНИИСК. Вып. 26. – М.: Стройиздат, 1972.
20. Каменные и армокаменные конструкции. Примеры расчета: Учеб. пособие для вузов. Под ред. Л.П. Полякова. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1980. 144 с.
21. Еременок П.Л., Еременок И.П. Каменные и армокаменные конструкции: Учебник для вузов. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1981. 224 с.
22. Бондаренко В.М. Расчет эффективных многокомпонентных конструкций / В.М. Бондаренко, А.Л. Шагин. – М.: Стройиздат, 1987. 175 с.
23. Попков Ю.В. Прочность сжатых железобетонных комплексных конструкций на основе вибропрессованных бетонных камней / Ю.В. Попков, В.В. Гринев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Прикладные науки. 2006. № 9. С. 8-16.
24. Чылбак А.А. Исследование напряженно-деформированного состояния кирпичной кладки с железобетонными сердечниками // Вестник Тувинского государственного университета. Вып. 3. Технические и физико-математические науки. 2019. № 3 (50). С. 51-59.
25. Гойкалов А.Н. Несущая способность стен из мелких ячеистобетонных блоков с косвенным армированием // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2005. № 12. С. 20-21.
26. Goykalov A.N., Novikov M.V., Gulak L.I. Research on the Strength of Compressed Masonry Elements From Cellular Concrete Blocks With Transverse Reinforcement // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol.753 (2020). С. 032041.

© М. В. Новиков, О. А. Сотникова, А. Н. Гойкалов

Ссылка для цитирования:

Новиков М. В., Сотникова О. А., Гойкалов А. Н. Несущая способность комплексных конструкций из ячеистых бетонов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАOU AO BO «АГАСУ», 2021. № 2 (36). С. 5–10.

УДК 721.012:624.01

DOI 10.52684/2312-3702-2021-36-2-10-15

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ЗДАНИЯ НА ЕГО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

М. В. Рубцова, Э. Е. Семенова

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Рассматривается влияние вариантов конфигураций планов зданий во взаимосвязи их пространственных характеристик на их энергопотребление. Обосновывается актуальность исследования объемно-планировочных решений форм зданий с учетом энергоэффективности. В качестве объекта исследования авторами были выбраны наиболее распространенные объемно-пространственные конфигурации форм зданий с учетом энергоэффективности. Рассматриваются примеры анализа основных объемно-планировочных параметров здания и предпосылок их влияния на его теплопотери с предоставленными графическими материалами, позволяющими узнать зависимость изменения площади ограждающих конструкций от изменения площади этажа. Данное сравнение проведено в целях определения энергоэффективного и рационально скомпонованной объемно-планировочного решения с учетом принципов энергосбережения для строительства зданий.

Ключевые слова: энергоэффективность, объемно-планировочное решение, теплопотери, коэффициент компактности, энергопотребление.