

М. А. Бахмисова, Е. Г. Гоник, Л. А. Сакмарова

РАСЧЕТ МНОГОСЛОЙНОЙ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ СТЕНЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ СИЛ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

Аннотация. В работе выполнен расчет на несущую способность многослойной ограждающей конструкции стены с жесткими связями при действии внешних сил и температуры. Для исследования и расчета была запроектирована и рассчитана наружная ограждающая конструкция нового здания. Расчет выполнен согласно [4-7].

Ключевые слова: многослойная ограждающая конструкция, несущая способность, расчет, нагрузки.

Сакмарова Лариса Алексеевна, кандидат педагогических наук, заведующий кафедрой архитектуры и дизайна среды, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия; e-mail: lara.sakmarova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1457-7383>; AuthorID: 733505

Гоник Екатерина Григорьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия; e-mail: katty.gonik@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6021-1390>; AuthorID: 841879

Бахмисова Мария Алексеевна, аспирант кафедры архитектуры и дизайна среды, Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия; e-mail: masha_a94@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2066-7932>; AuthorID: 923740

для цитирования: Бахмисова М. А., Гоник Е. Г., Сакмарова Л. А. Расчет многослойной ограждающей конструкции стены при воздействии внешних сил и температуры // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2024. № 2(60). С. 60–70. DOI: 10.37972/chgpu.2024.60.2.005 EDN: BRASJN

Статья опубликована на условиях лицензии *Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)*.

M. A. Bakhmisova, E. G. Gonik, L. A. Sakmarova

THE CALCULATION OF A MULTILAYER ENCLOSING WALL STRUCTURE UNDER THE INFLUENCE OF EXTERNAL FORCES AND TEMPERATURE

I.N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, Russia

Abstract. The study presents a calculation of the load-bearing capacity of a multi-layer wall enclosure structure with rigid connections under the influence of external forces and temperature. For the purpose of analysis and calculation, the external enclosing structure of a new building was designed and calculated. The calculation was performed in accordance with [4-7].

Keywords: Multilayer enclosure structure, load-bearing capacity, calculation, loads.

Larisa A. Sakmarova, Ph. D.; e-mail: lara.sakmarova@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-1457-7383>; AuthorID: 733505

Ekaterina Gonik G., Ph. D.; e-mail: katya.gonik@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-6021-1390>; AuthorID: 841879

Maria Bakhmisova A., Post Graduate Student; e-mail: masha_a94@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-2066-7932>; AuthorID: 923740

to cite this article: Bakhmisova M. A., Gonik E. G., Sakmarova L. A. The calculation of a multilayer enclosing wall structure under the influence of external forces and temperature // Vestn. Chuvash. Gos. Ped. Univ. im. I.Ya. Yakovleva Ser.: Mekh. Pred. Sost. 2024. No 2(60). p. 60–70. DOI: 10.37972/chgpu.2024.60.2.005 EDN: BRASJN

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение. В настоящее время наружные стены зданий необходимо проектировать таким образом, чтобы они обеспечивали требуемую несущую способность, теплотехнические характеристики конструкций и температурно-влажностный режим согласно [1–8]. Наружные несущие стены, состоящие из нескольких слоев, могут разрушаться в процессе эксплуатации при несоблюдении требований [4].

1. Цель работы. Определение несущей способности наружной стены жилого здания с жесткими связями при действии внешних нагрузок и температуры.

Объектом для исследования было выбрано здание, построенное в г. Чебоксары. Объемно-планировочные решения жилого дома разработаны в соответствии с градостроительными, функциональными и технологическими требованиями [5]. Проектируемый объект имеет размеры в плане по осям 56,23x71,69м. Конфигурация здания имеет блочную структуру и состоит из 4 блок-секций. В блок-секциях “А-Г” – 9 жилых этажей. Высота типового этажа – 2,7 м (от пола до низа перекрытия), высота 9-го этажа – 3,0 м (от пола до низа перекрытия).

Наружные ограждающие конструкции – стены надземных этажей выполнены из крупноформатных пустотных керамических камней Римкер 2,15 НФ М150 F50 ($\gamma = 900 \text{ кг/м}^3$, $\lambda_B = 0,23 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$). Перевязка лицевого слоя с основной кладкой – жесткая, один тычковый ряд на 4 ряда лицевой кладки. Толщина наружных стен 640 мм.

Перекрытия и покрытия выполнены из сборных железобетонных плит - многопустотных предварительно напряженных стенового без опалубочного формирования по серии ИЖ 998 выпуск 1, 2, 3 толщиной 220мм. Плиты опираются на наружную ограждающую конструкцию.

Кровля над чердаком – инверсионная с внутренним водостоком, из наплавленного рулонного битумно-полимерного материала “Техноэласт” в 2 слоя; утеплитель кровли – экструдированный пенополистирол ($\gamma = 35 \text{ кг/м}^3$, $\lambda/B = 0,032 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$), пароизоляция - наплаваемый рулонный битумно-полимерный материал “Технониколь”, для создания уклона используется керамзитовый гравий ($\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$), поверх которого устраивается армированная стяжка из цементно-песчаного раствора М150.

2. Расчет простенка наружной стены первого этажа. Проанализировав всю наружную стену здания рис.1, к расчету был принят простенок 1 этажа шириной 1160 мм, обозначенный узлом 1. Стена является несущей. Нормативная объемная масса (плотность) кладки: $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3 = 12\text{кН/м}^3$.

3. Сбор нагрузок на простенок. Расчетные нагрузки для простенка определены согласно [6] и приведены в таблице 1.

Расчет ведется по методике, описанной в [4].

Расчетная высота:

$$H = H_{ЭТ} - 300(\text{толщина пола этажа}) = 3000 - 300 = 2700\text{мм.} \quad (1)$$

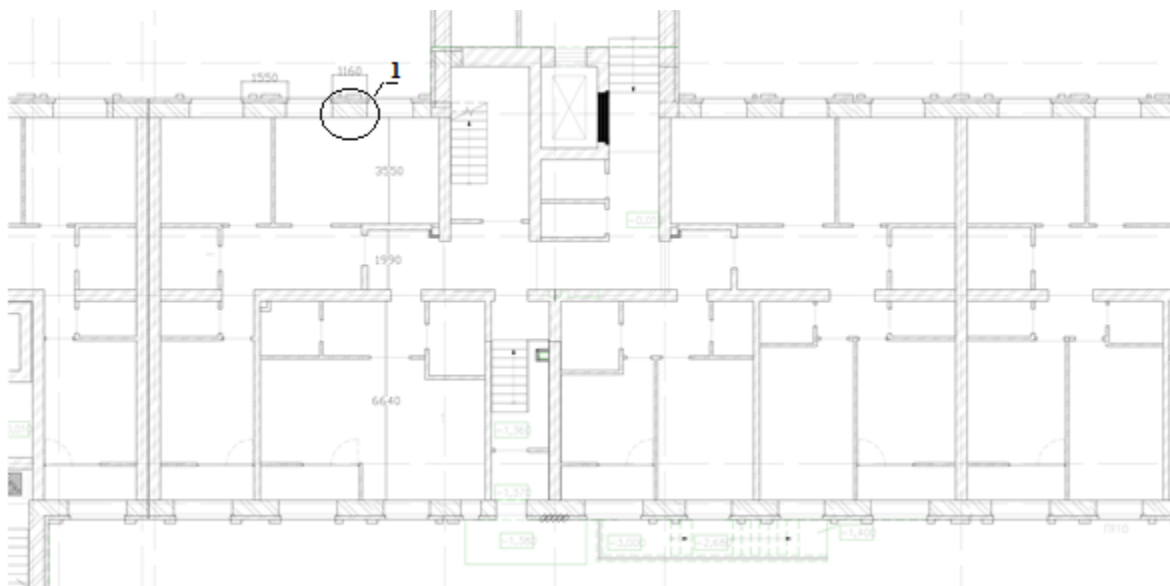


Рис. 1. Фрагмент плана секционного многоквартирного жилого дома.

Длина расчетного участка будет, согласно рис.1:

$$L_k = 1550/2 + 1160 + 1550/2 = 2710 \text{ мм.} \quad (2)$$

Глубина грузовой площади сбора нагрузок на простенок с покрытия и перекрытий каждого этажа:

$$L_{\text{пр}} = \frac{3550 + 200 + 1990}{2} = 2870 \text{ мм.} \quad (3)$$

Грузовая площадь:

$$S = L_{\text{пр}} \cdot L_{\text{п}} = 2,87 \cdot 2,71 = 7,78 \text{ м}^2. \quad (4)$$

Вес от покрытия:

$$N_{\text{покр}} = 9462 \cdot 7,78 = 73,6 \text{ кН} \quad (5)$$

Вес от перекрытий, рис.2:

$$N_{\text{перекр}} = 8980 \cdot 7,78 \cdot 9 (\text{кол-во этажей}) = 628,8 \text{ кН.} \quad (6)$$

Вес стены:

– вес парапетной части $\delta = 510$ мм с высотных отметок от +29,080 до +30,955:

$$0,51 \cdot (30,955 - 29,080) \cdot 2,71 \cdot 12 = 31,1 \text{ кН} \quad (7)$$

– вес стены за вычетом проемов для остекления:

$$0,64 \cdot (2,71 \cdot (29,080 - 2,46) - 1,79 \cdot 1,55 \cdot 8) \cdot 12 = 383,6 \text{ кН} \quad (8)$$

– вес кладки стены

$$N_{\text{кл}} = 31,1 + 383,6 = 414,7 \text{ кН.} \quad (9)$$

Нагрузки	Нормативная нагрузка, Па	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетная нагрузка, Па
Покрытие			
Собственный вес железобетонных плит покрытия $\delta = 220$ мм	4000	1,1	4400
Пароизоляция - наплаваемый рулонный битумно-полимерный материал "Технониколь"	2	1,3	2,6
Утеплитель- пенополистирол ($\gamma = 35$ кг/м ³ , $\lambda/B = 0,032$ Вт/м ⁰ С), $\delta = 280$ мм	90	1,3	117
Разуклонка -керамзитовый гравий 400кг/м ³ , $\delta = 10-150$ мм	40	1,3	52
Стяжка из цементно-песчаного раствора М150 ($\delta = 40$ мм), армированная сеткой	800	1,3	1040
Гидроизоляция - наплаваемый рулонный битумно-полимерный материал "Техноэласт" в 2 слоя	108	1,3	140,4
Итого:	5040	–	5752
Временная нагрузка в чердачном помещении	700	1,3	910
Снеговая нагрузка	2000	1,4	2800
Итого:	2700	–	3710
ВСЕГО:	7740	–	9462
Междуэтажные перекрытия			
Железобетонная плита $\delta = 220$ мм	4000	1,1	4400
Утеплитель- пенополистирол ($\gamma = 35$ кг/м ³ , $\lambda/B = 0,032$ Вт/м ⁰ С), $\delta = 50$ мм	20	1,3	26
Стяжка из цементного раствора толщиной $\delta = 25$ мм	450	1,3	585
Линолеум на мастике $\delta = 5$ мм	52	1,3	67,6
Вес от перегородок	1500	1,3	1950
Итого:	6022	–	7030
Временная нагрузка	1500	1,3	1950
ВСЕГО:	7522	–	8980

Таблица 1.

Вес стены с учетом штукатурки и заполнения оконных проемов:

$$N_{CT} = 1,075 \cdot 414,7 = 445,8 \text{ кН.} \quad (10)$$

Суммарная нормальная сила N в расчетном сечении H простенка:

$$N = 73,6 + 628,8 + 445,8 = 1148,2 \text{ кН.} \quad (11)$$

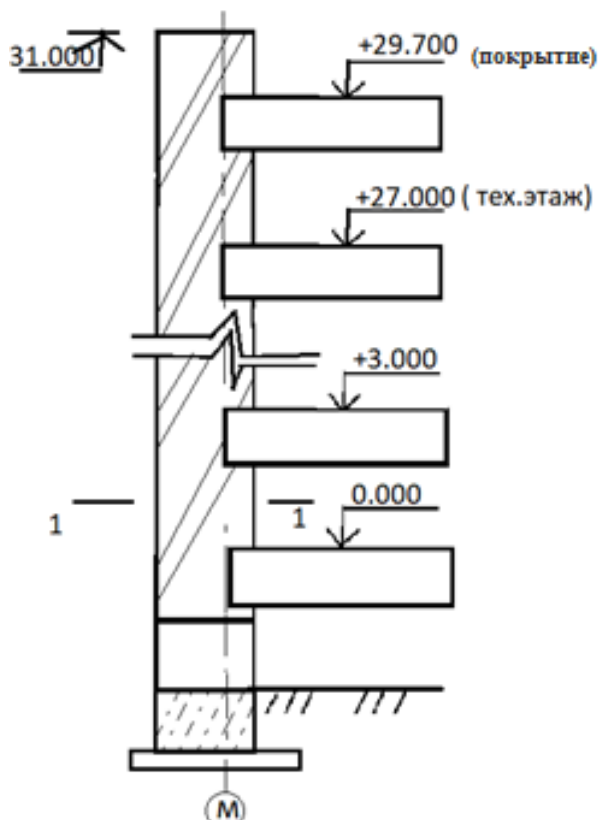


Рис. 2. Разрез по вертикали наружной стены.

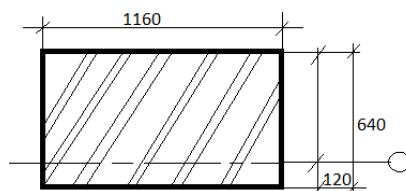


Рис. 3. Разрез простенка. Расчетное сечение.

Определение изгибающего момента M и эксцентриситета e_0 в расчетном сечении 1-1

Нагрузка от перекрытия 1 этажа:

$$N_{1ЭТ} = 8980 \cdot 7,78 = 69,86 \text{ кН.} \quad (12)$$

Изгибающий момент M пер в уровне опирания плиты перекрытия 1 этажа:

$$M_{\text{пер}} = N_{1ЭТ} \cdot e = 69,86 \cdot 0,28 = 19,6 \text{ кН} \cdot \text{м}. \quad (13)$$

Расчетная высота простенка: $H = 2,7 \text{ м}$

Момент M в расчетном сечении 1-1 от нагрузки с перекрытия и с учетом момента от веса пояса стены над окнами 1 этажа.

$$M = 19,6 \cdot (1,8/2,7) = 13,07 \text{ кН} \cdot \text{м}, \quad (14)$$

где $H_1 = 1,8$ – расстояние до сечения 1-1.

Эксцентриситет e_0 в сечении 1-1:

$$e_0 = 13,07/1148,2 = 0,011 \text{ м} \leq 0,35h = 0,35 \cdot 0,64 = 0,224 \text{ м}. \quad (15)$$

Условие выполняется, следовательно расчет простенка необходимо производить только по несущей способности.

Расчет простенка выполняется согласно [4] по формуле 7.4 как внецентренно сжатых элементов неармированных каменных конструкций:

$$N \leq m_g \cdot \varphi_1 \cdot R_{\text{ТР}} \cdot A_c \cdot \omega. \quad (16)$$

Из 4 находим требуемое расчетное сопротивление неармированной кладки:

$$R_{\text{ТР}} = N / (m_g \cdot \varphi_1 \cdot R_{\text{ТР}} \cdot A_c), \quad (17)$$

где $\omega = 1$ – коэффициент, принимаемый по таблице 7.2 [4], $m_g = 1$ – коэффициент, учитывающий влияние длительной нагрузки при $h \geq 30 \text{ см}$.

Коэффициент продольного изгиба по 7.6 [4]:

$$\varphi_1 = (\varphi + \varphi_c) / 2. \quad (18)$$

Упругая характеристика $\alpha = 1200 \cdot 0,7 = 840$ для кладки из крупноформатных керамических камней при марках раствора 25-200.

Гибкость приведенного простенка:

$$\lambda_h = (H/h) = 2,7/0,64 = 4,22 \quad (19)$$

Гибкость сжатой части сечения простенка:

$$\lambda_{hc} = H / (h - 2e_0) = 2,7 / (0,64 - 2 \cdot 0,011) = 4,37 \quad (20)$$

По таблице 7.1 [4] находим:

$$\varphi = 0,959 (\lambda_{hc} = 4,22)$$

$$\varphi_c = 0,962 (\lambda_{bc} = 4,37)$$

$$\varphi_1 = \frac{\varphi + \varphi_c}{2} = \frac{0,959 + 0,962}{2} = 0,96. \quad (21)$$

Площадь сжатой части сечения A_c при прямоугольной эпюре напряжений, определяется из условия, что ее центр тяжести совпадает с точкой приложения расчетной продольной силы N .

$$A_c = A \left(1 - \frac{2e_0}{h} \right) = 0,742 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,011}{0,64} \right) = 0,716 \text{ м}^2 \quad (22)$$

Площадь простенка, рис.3.:

$$A = 1,16 \cdot 0,64 = 0,742 \text{ м}^2.$$

Требуемое расчетное сопротивление кладки:

$$R_{\text{тр}} = \frac{N}{m_g \cdot \varphi_1 \cdot A_c \cdot \omega} = \frac{1148,2}{1 \cdot 0,96 \cdot 0,716 \cdot 1} = 1,67 \text{ МПа}. \quad (23)$$

В принятой наружной стене использовали крупноформатный керамический камень марки М150 на растворе марки М100. По таблице 1 [4] расчетное сопротивление сжатию кладки: $R = 2,4$ МПа. Принятое сопротивление больше требуемого расчетного сопротивления.

$$R_{\text{тр}} \leq R, \quad (24)$$

$$1,67 \leq 2,4.$$

Условие выполняется, следовательно несущая способность наружной стены при действии вертикальных силовых внешних нагрузок обеспечивается.

Дополнительное напряжение будет также создаваться от действия температуры. Напряжения будут максимальными в зимний период года от низких температур. При действии температуры напряжение будет считаться по формулам [9]:

$$\sigma_t = E\alpha\Delta t = 0,49 \text{ МПа}, \quad (25)$$

где $\alpha = 0,000065 \text{ град}^{-1}$ – коэффициент линейного расширения кладки.

Модуль деформации кладки

$$E = 0,5E_0 = 1663 \text{ МПа}. \quad (26)$$

Модуль упругости кладки

$$E_0 = aR_u = 3326 \text{ МПа}, \quad (27)$$

где $a = 840$ – упругая характеристика по таблице 1 [4].

Изменение температуры по толщине стены определим по графику изополя температур, построенным в ПК Лира-САПР, рис.4.

$$\Delta t = 28,03 + 17,52 = 45,55^\circ\text{C}.$$

Напряжения, возникающие от внешних сил и температуры меньше, чем расчетное сопротивление кладки наружной стены. Следовательно, прочность наружной стены с жесткими связями обеспечивается.

Расчет наружной стены на действие внешних сил и температуры, был выполнен в программном комплексе Лира-САПР рис.5.

Мозаика температур
Единицы измерения - °C

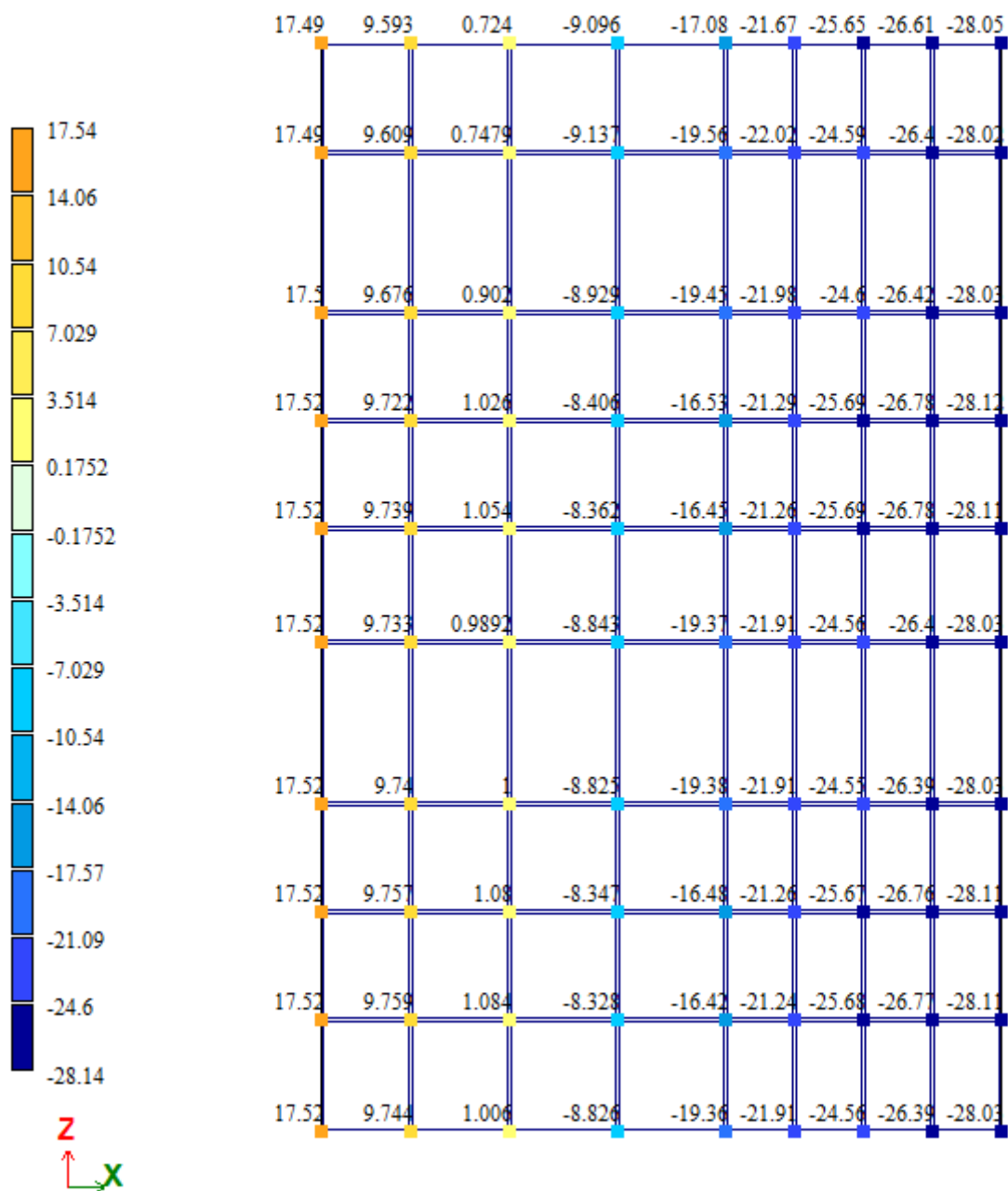


Рис. 4. Изополя температур (фрагмент).

Максимальное напряжение возникает в уровне первого этажа здания и равно 1,488МПа. Полученные данные отличаются на 11% от вышеприведенного

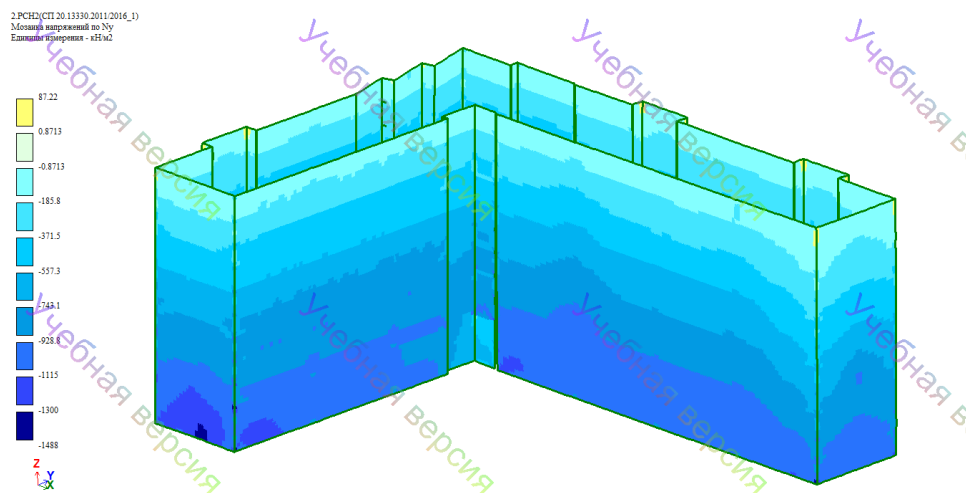


Рис. 5. Мозаика напряжений от действия внешних сил и температуры.

расчета. Принятое расчетное сопротивление кладки больше, чем напряжения, возникающие от действия внешних сил и температуры.

4. Выводы.

- (1) Рассчитан простенок с учетом требований [4-7]. Условие по несущей способности выполняется.
- (2) Совместное напряжение, возникающие от внешних сил и температуры меньше, чем расчетное сопротивление кладки наружной стены. Следовательно, прочность наружной стены с жесткими связями обеспечивается.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Вклад авторов равноценен.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. The authors' contributions are equal.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Петров М.В., Бахмисова М.А. Разработка многослойной ограждающей конструкции и проверка прочности подсистемы при температурных воздействиях // Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020: Материалы V Междунар. (XI Всерос.) конф. Чебоксары : ИД «Среда», 2020. С. 97–104.

- [2] Бахмисова М.А., Сакмарова Л.А. Цифровизация, информационное моделирование и проектирование в учебном процессе // Новые компетенции цифровой реальности: теория и практика их развития у обучающихся. Чебоксары : Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 2022. С. 22–30.
- [3] Бахмисова М.А., Гоник Е.Г., Сакмарова Л.А., Плотников А.Н. Гибкие связи в многослойной ограждающей конструкции // Строительство и застройка: жизненный цикл - 2022: Материалы VI Международной (XII Всероссийской) конференции. Чебоксары : Общество с ограниченной ответственностью «Издательский дом «Среда», 2022. С. 30–37.
- [4] СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП П-22-81*. 2020.
- [5] СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*. 2016.
- [6] СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. 2016.
- [7] СП 327.1325800.2017 «Стены наружные с лицевым кирпичным слоем. Правила проектирования, эксплуатации и ремонта». 2017.
- [8] Ищук М.К. Прочность и трещиностойкость каменной кладки наружных многослойных стен : Дисс. . . кандидата наук / М.К. Ищук ; Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. 2020.
- [9] Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов: Учебник для вузов. 3-е изд. испр. изд. Москва : Высш. шк., 2003. 560 с.

REFERENCES

- [1] Petrov M.V., Bakhmisova M.A. Development of a Multilayer Enclosure Structure and Subsystem Strength Check under Temperature Effects // Construction and Development: Life Cycle – 2020: Proceedings of the V International (XI Russian) Conference. Cheboksary : ID "Sreda 2020. P. 97–104.
- [2] Bakhmisova M.A., Sakmarova L.A. Digitalization, Information Modeling and Design in the Educational Process // New Competencies of Digital Reality: Theory and Practice of Their Development in Students: Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Conference. Cheboksary : Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, 2022. P. 22–30.
- [3] Bakhmisova M.A., Gonik E.G., Sakmarova L.A., Plotnikov A.N. Flexible Connections in a Multilayer Enclosure Structure // Construction and Development: Life Cycle - 2022: Proceedings of the VI International (XII Russian) Conference. Cheboksary : LLC "Publishing House Sreda 2022. P. 30–37.
- [4] SP 15.13330.2020. Stone and Reinforced Stone Structures. Updated Version of SNiP P-22-81*. 2020.
- [5] SP 42.13330.2016. Urban Planning. Layout and Development of Urban and Rural Settlements. Updated Version of SNiP 2.07.01-89*. 2016.
- [6] SP 20.13330.2016. Loads and Impacts. Updated Version of SNiP 2.01.07-85*. 2016.
- [7] SP 327.1325800.2017. External Walls with a Facing Brick Layer. Design, Operation, and Repair Guidelines. 2017.
- [8] Ishuk M.K. Strength and Crack Resistance of Masonry of External Multilayer Walls : Ph. D. thesis / M.K. Ishuk ; Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, specialty 05.23.01 - Structural Engineering, Buildings, and Constructions. 2020.
- [9] Alexandrov A.V., Potapov V.D., Derzhavin B.P. Strength of Materials: A Textbook for Universities. 3rd ed., revised edition. Moscow : Vysshaya Shkola, 2003. 560 p.