



В. Н. АЛЕКСЕЕНКО
О. Б. ЖИЛЕНКО

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК ПЕРЕКРЫТИЙ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

INFLUENCE OF CONDITIONS FOR FASTENING WOODEN FLOOR BEAMS ON THE MECHANICAL SAFETY OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS

Рассматривается вопрос эксплуатации и приспособления объектов культурного наследия XVIII – XIX вв. к новому функциональному назначению. Проблема заключается в несоответствии основных конструктивных и объемно-планировочных параметров требованиям действующих норм. Применение для объектов культурного наследия типовых приемов усиления стен, как правило, искажает аутентичность не только конструктивных решений и применяемых материалов, но и приводит к необратимым изменениям фасадов и планировки помещений. На основании проведенных исследований разработан метод повышения механической безопасности каменных стен, объектов культурного наследия анкерными креплениями с деревянными балками перекрытий. При этом сохраняется аутентичность объекта с минимальным инженерным вмешательством в его несущую систему.

Ключевые слова: объект культурного наследия, здание, конструкции, восстановление, усиление, аутентичность, новое функциональное назначение

Здания, признанные объектами культурного наследия, в подавляющем большинстве относятся к периоду возведения XVIII – XIX вв. Проблема эксплуатации и приспособления таких зданий к новому функциональному назначению заключается в несоответствии основных конструктивных и объемно-планировочных параметров требованиям действующих норм.

The article discusses the issue of exploitation and adaptation of cultural heritage objects of the 18th – 19th centuries to a new functional purpose. The problem lies in the non-compliance of the basic design and space-planning parameters with the requirements of current standards. The use of standard methods of strengthening walls for cultural heritage sites, as a rule, distorts the authenticity of not only the design solutions and materials used, but also leads to irreversible changes in the facades and layout of the premises. Based on the research, have developed a method for increasing the mechanical safety of stone walls and cultural heritage sites using anchors with wooden floor beams. At the same time, the authenticity of the object is preserved with minimal engineering intervention in its supporting system.

Keywords: cultural heritage site, building, structures, restoration, strengthening, authenticity, new functional purpose

Это объясняется невозможностью зодчих прошлых веков предвидеть будущие изменения нормативных требований. Но и современным проектировщикам игнорировать развитие нормативных документов, в том числе ужесточающих регламенты вертикальных и горизонтальных нагрузок, недопустимо [1, 2]. Подобные объекты культурного наследия, благодаря

искусству и интеллекту своих создателей, как правило, обладают отменным балансом постоянных нагрузок и в настоящее время самостоятельно «борются» за свое дальнейшее существование, при этом предъявляя нынешнему поколению молчаливые, но незыблемые аргументы длительной безаварийной эксплуатации, вопреки требованиям действующих норм, разработанных для нового строительства.

Применение для объектов культурного наследия типовых приемов усиления стен, как правило, искажает аутентичность не только конструктивных решений и применяемых материалов, но и приводит к необратимым изменениям фасадов и планировок помещений [3–5].

Авторами на основании проведенных исследований разработан метод повышения механической безопасности каменных стен, объектов культурного наследия анкерными креплениями с деревянными балками перекрытий. При этом сохраняется аутентичность объекта с минимальным инженерным вмешательством в его несущую систему [6–12].

Методика натуральных испытаний и правила определения несущей способности анкерных креплений балок перекрытий к продольным стенам из бутовой кладки основаны на положениях ГОСТ 32047-2012 «Кладка каменная. Метод испытания на сжатие». Сущность данного метода состоит в том, что проводимыми испытаниями анкерных креплений на продольную нагрузку, прикладываемую к анкеру вдоль его оси, определяют сопротивление крепления нагрузке и деформации, соответствующим характерным для него предельным состояниям, а затем обработкой результатов испытаний вы-

числяют несущую способность анкеров и площадь распределительных стальных пластин. При этом определяющим критерием является прочность кладки на сжатие (в том числе местное смятие). Допускаемый уровень усилий в анкерных креплениях должен исключить появление необратимых деформаций и трещинообразования в швах бутовой кладки.

Авторами проведены натурные физические и численные эксперименты на одном из объектов (рис. 1). Определена прочность каменных материалов стен. Рассчитаны допускаемые размеры стальных распределительных пластин, исключающие развитие необратимых деформаций и трещинообразования в швах кладки. В этих целях использованы общие методы экспериментальных и теоретических исследований: анализ, синтез, дедукция, индукция, аналогия.

На основании анализа и обработки полученных результатов определены следующие характеристики.

Физико-механические свойства камня природного известняка, используемого для кладки стен, определены испытанием каменного элемента 100x100 мм; $h = 100$ мм; объемный вес 1890. Испытание проведено в соответствии с актуализированной редакцией ГОСТ 8.136-74 на гидравлическом прессе МИП-50Э. На основании анализа и обработки полученных результатов определены прочностные характеристики камня природного известняка (табл. 1).

Физико-механические свойства арматуры класса А 500С, используемой при изготовлении анкеров, определены испытанием стержней длиной 350 мм. Испытание проведено



Рис. 1. Вид главного фасада
Fig. 1. Main facade

Таблица 1. Физико-механические свойства камня природного известняка кладки стен
Table 1. Physico-mechanical properties of natural limestone stone for masonry walls

Геометрические характеристики $a \times b \times h$, м	Масса m , кН	Объемный вес ρ , кг/м ³	Разрушающая нагрузка F , кН	Предел прочности на сжатие σ , МПа	Марка камня
0,10 × 0,10 × 0,10	0,0185	1890	94,3	9,43	М 75

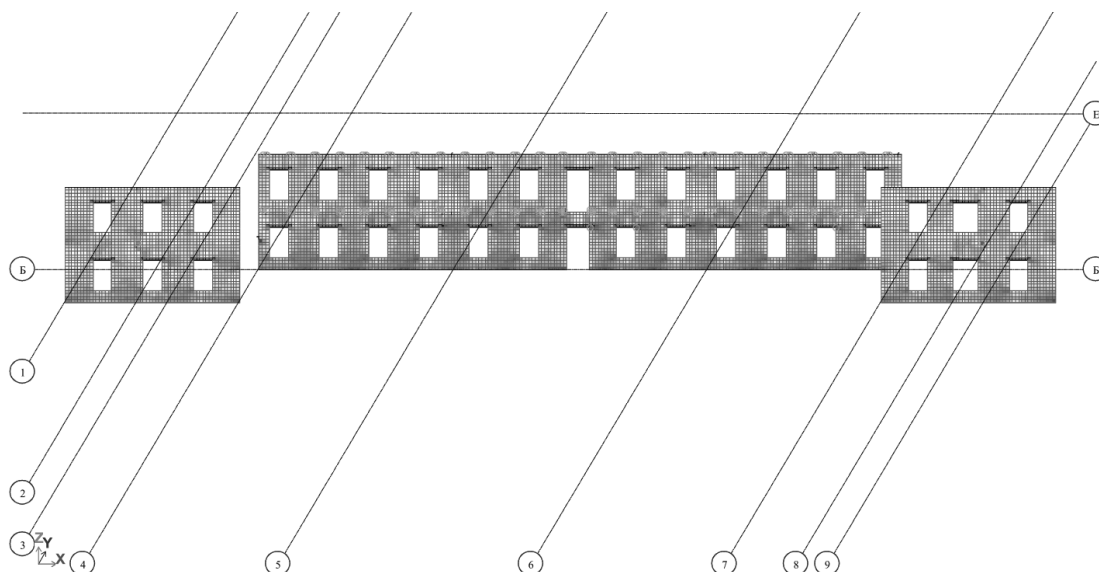


Рис. 2. Схема расположения пластических шарниров и потенциальных зон локальных разрушений
 Fig. 2. Layout of plastic hinges and potential zones of local destruction

в соответствии с актуализированной редакцией ГОСТ 1497-84 на разрывной машине, дополнительно оборудованной ДЭП/6-2Д-500С-2.

На основании анализа и обработки полученных результатов определены следующие прочностные и деформативные характеристики арматуры: физический предел текучести σ_y , временное сопротивление σ_u , модуль упругости E_s , предельные относительные деформации ϵ_{uk} . Установлено соответствие классу А 500С.

Прочность растворов кладки стен определена на образцах, взятых из швов в соответствии с требованиями ГОСТ 5802-86 (актуализированная редакция) «Растворы строительные. Методы испытаний». Прочность раствора бутовой кладки по толщине стен (составляющей 700 мм) изменчива. В наружной версте кладки стен прочность раствора с добавлением извести колеблется в пределах от М10 до М25 марки по прочности на сжатие. Во внутренней версте кладки стен прочность раствора соответствует марке по прочности на сжатие М4. Применение в дальнейших исследованиях этого объекта культурного наследия какой-либо интегрированной прочности кладочного раствора некорректно. Целесообразно использовать наиболее осторожные значения прочности – минимальные, определенные разрушающими лабораторными испытаниями образцов.

Пространственный расчет несущей системы (рис. 2) выявил зоны локальных разрушений, сосредоточенные в местах опирания балок перекрытий первого и чердачного этажей.

Вскрытие перекрытий первого этажа выявило деревянные балки, установленные с ша-

гом 800 мм (рис. 3). Остаточная несущая способность балок достаточна для безопасной эксплуатации. Прогибы потолков в помещениях первого этажа – в пределах значений, допускаемых современными нормами. Отклонения полов помещений второго этажа от горизонтальной плоскости – в пределах значений, допускаемых современными нормами.

Для обеспечения лучшей пространственной работы стен и балочных перекрытий целесообразно выполнить следующее. Объединить стены при помощи анкерных креплений с деревянными балками перекрытий первого и чердачного этажей. В целях сохранения аутентичности фасадов распределительные стальные пластины маскируются в штрабах,



Рис. 3. Вид вскрытия перекрытия первого этажа
 Fig. 3. View of the opening of the first floor ceiling

закрываемых впоследствии фрагментами каменной нарезки.

По результатам экспериментов определены предельно допускаемые напряжения в кладке от стальных распределительных пластин анкерных креплений деревянных балок и продольных стен. Установлено, что отклонение оси стального анкера от продольной оси деревянной балки на величину до 27° практически не влияет на характер и уровень напряжений под распределительной пластиной. Результаты исследований представлены графически на рис. 4.

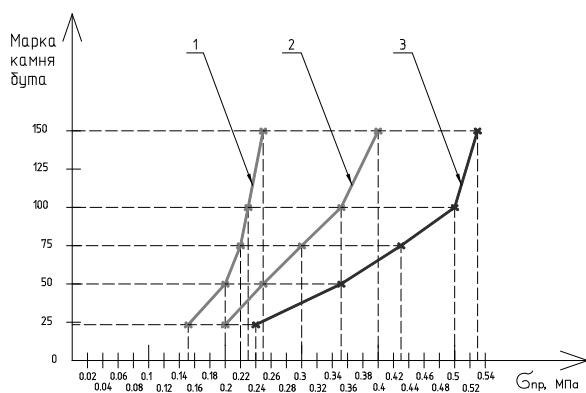


Рис. 4. Допускаемые напряжения в бутовой кладке стен от стальных распределительных пластин анкерных креплений деревянных балок, исключая необратимые деформации и трещинообразование в швах при прочности кладочного раствора: 1 – соответствующего марке М4; 2 – соответствующего марке М10; 3 – соответствующего марке М25

Fig. 4. Allowable stresses in rubble masonry walls from steel distribution plates and anchor fastenings of wooden beams, excluding irreversible deformations and cracking in the seams with the strength of the masonry mortar: 1 – corresponding to grade M4; 2 – corresponding to grade M10; 3 – corresponding to grade M25.

Предлагаемая схема (рис. 5) анкерного закрепления позволила ликвидировать потенциальные пластические шарниры и локальные зоны разрушений за счет повышения пространственной работы системы стены-перекрытия.

При разработке предложений по расчету и конструированию элементов анкерных креплений приоритетными условиями явились следующие: 1) исключить ухудшение совместной работы материалов; 2) уровень допускаемых напряжений не должен приводить к необратимым деформациям кладки и раскрытию швов.

Установлено, что определяющими факторами вышеприведенных условий является прочность кладочного раствора, а также геометрические размеры и форма (камни рваного бута или чистой тески) природных камней. По результатам исследований конкретного объекта в табл. 2 представлены рекомендуемые значения площади распределительных стальных пластин толщиной 8 мм с учетом вышеизложенных допущений.

Таблица 2. Площадь распределительных стальных пластин толщиной 8 мм для анкерных креплений деревянных балок к стенам при шаге балок 800 мм, см²
Table 2. Area of distribution steel plates 8 mm thick for anchoring wooden beams to walls with a beam spacing of 800 mm, cm²

Марка кладочного раствора	Марка бутового камня				
	M25	M50	M75	M100	M150
M4	390	293	266	255	234
M10	293	234	195	167	147
M25	234	167	136	117	107

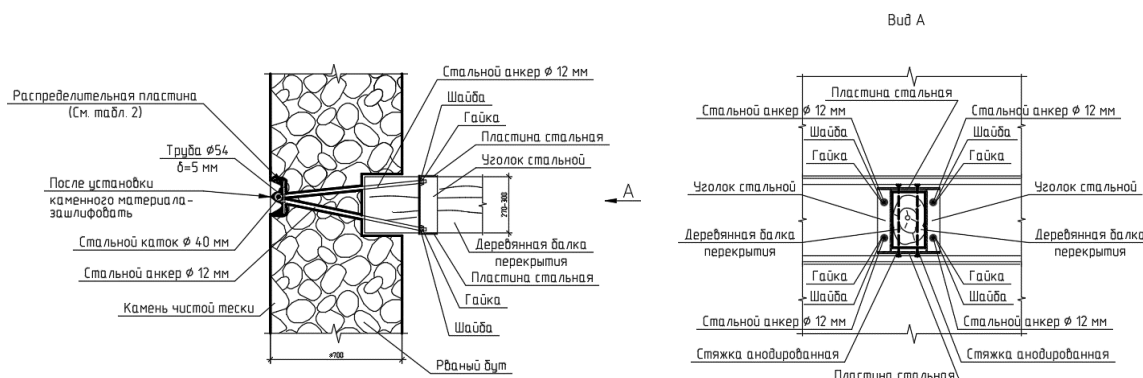


Рис. 5. Схема закрепления деревянных балок перекрытий с каменными стенами
Fig. 5. Scheme for fastening wooden floor beams with stone walls

В связи с природной изменчивостью структуры камней природного известняка, образовавшегося в качестве продукта отложения, целесообразно оперировать факторами совместной работы элементов анкерных креплений только в упругой стадии работы. Попытки учета неупругой работы элементов могут привести к неоправданному и весьма опасному завышению проектных прочностных характеристик анкерных соединений в природном известняке.

Выводы. 1. Анкерное закрепление деревянных балок в стенах существенно повышает уровень механической безопасности объектов культурного наследия.

2. На основе экспериментальных исследований разработаны предложения по расчету и проектированию анкерных креплений деревянных балок перекрытий и стен.

3. В связи с естественной изменчивостью структуры камней природного известняка, образовавшегося в качестве продукта отложения, учет неупругой работы элементов анкерных креплений и бутовой кладки может привести к неоправданному и весьма опасному завышению проектных прочностных характеристик.

4. При выполнении расчета и конструирования анкерных креплений деревянных балок и стен из природных камней иной геометрии необходимо выполнение контрольных испытаний, уточняющих фактические параметры совместной работы.

5. Предложенные авторами конструктивные решения позволяют скрыть элементы усиления, сохранив аутентичность фасадов объекта культурного наследия, а также достичь допускаемого нормами уровня механической безопасности объекта культурного наследия с минимальным объемом инженерного вмешательства и, соответственно, уровнем материальных затрат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 5567-2013. Порядок организации и ведения инженерно-технических исследований на объектах культурного наследия.
- СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Минрегион России. М.: ОАО «ЦПП», 2011. 167 с.
- Guerreiro J., Gago A.S., Ferreira J., Proença J. An innovative anchoring system for old masonry buildings. *Journal of Building Engineering*. 2017. P. 184–195.
- Guerreiro J., Gago A.S., Ferreira J., Proença J. An innovative anchoring system for old masonry buildings. *Journal of Building Engineering*. 2017. P. 184–195.
- Kelly Streeter P.E., Keith Luscinski. Mechanical Anchor Strength in Stone Masonry. *STRUCTURE magazine*. 2013. P. 14–16.
- Устройство усиления купола кладочной структуры. Патент на полезную модель RU 188063 30.11.2017 / Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б.
- Alekseenko V., Zhilenko O. Seismic stability of the restored architectural monument // *Magazine of Civil Engineering*. 2016. N. 7. P. 31–38. DOI: 10.5862/MCE.67.4.
- Alekseenko V., Zhilenko O. Bearing capacity of pasted anchors in the masonry walls of natural limestone // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. N. 81(5). P. 52–63. DOI: 10.18720/MCE.81.6.
- Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Опыт реставрации объектов культурного наследия в сейсмических районах // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 12 (39). С. 57–75.
- Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Восстановление поврежденных коррозией конструкций гражданских зданий на обводненных грунтах западного побережья Республики Крым // *Градостроительство и архитектура*. 2016. №4(25). С. 13–18. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.04.2.
- Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Прогнозная оценка сейсмостойкости незавершенных строительством объектов недвижимости // *Градостроительство и архитектура*. 2019. Т.9, № 3. С. 4–11. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.1.
- Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Сохранение аутентичности и приспособление объекта культурного наследия – компромисс или конфликт // *Градостроительство и архитектура*. 2021. Т.11, № 1. С. 4–17. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.1.

REFERENCES

- GOST 5567-2013. The procedure for organizing and conducting engineering and technical research at cultural heritage sites.
- SP 14.13330.2018. Stroitelstvo v seysmicheskikh rayonakh. Minregion Rossii. Moscow. TsPP. 2011. 167 p.
- Guerreiro J., Gago A.S., Ferreira J., Proença J. An innovative anchoring system for old masonry buildings. *Journal of Building Engineering*. 2017. P. 184–195.
- Guerreiro J., Gago A.S., Ferreira J., Proença J. An innovative anchoring system for old masonry buildings. *Journal of Building Engineering*. 2017. P. 184–195.
- Kelly Streeter, P.E., Keith Luscinski. Mechanical Anchor Strength in Stone Masonry. *STRUCTURE magazine*. 2013. P. 14–16.
- Alekseenko V., Zhilenko O. Device for strengthening the dome of the masonry structure. utility model patent [Ustrojstvo usilenija kupola kladochnoj struktury]. Patent RF, no. 188063 30.11, 2017.
- Alekseenko V., Zhilenko O. Seismic stability of the restored architectural monument. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. N. 7. P. 31–38. DOI: 10.5862/MCE.67.4
- Alekseenko V., Zhilenko O. Bearing capacity of pasted anchors in the masonry walls of natural limestone. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. N. 81(5). P. 52–63. DOI: 10.18720/MCE.81.6

9. Alekseenko V., Zhilenko O. Experience in the restoration of cultural heritage sites in seismic regions. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij* [Construction of unique buildings and structures], 2015, no. 12 (39), pp. 57–75. (in Russian)

10. Alekseenko V.N., Zhilenko O.B. Reconstruction of corrosion-damaged structures of civil buildings on wet ground of the Republic of Crimea western coast. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2016. no. 4(25), pp. 13–18. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2016.04.2

11. Alekseenko V.N., Zhilenko O.B. Forecasting Seismic Resistance of Real Estate Unfinished Construction. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019, vol. 9, no. 3, pp. 4–11. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.1

12. Alekseenko V.N., Zhilenko O.B. Preservation of authenticity and adaptation of a cultural heritage site - compromise or conflict. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 1, pp. 4–17. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.1

Об авторах:

АЛЕКСЕЕНКО Василий Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры геотехники и конструктивных элементов зданий Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского 295493, Россия, г. Симферополь, ул. Киевская, 181 E-mail: AVN108@mail.ru

ALEKSEENKO Vasily N.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Geotechnics and Building Elements Chair Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky 295493, Russia, Simferopol, Kievskaya st., 181 E-mail: AVN108@mail.ru

ЖИЛЕНКО Оксана Борисовна

кандидат технических наук, доцент кафедры геотехники и конструктивных элементов зданий Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского 295493, Россия, г. Симферополь, ул. Киевская, 181 E-mail: o.b.zhilenko@mail.ru

ZHILENKO Oksana B.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Geotechnics and Building Elements Chair Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky 295493, Russia, Simferopol, Kievskaya st., 181 E-mail: o.b.zhilenko@mail.ru

Для цитирования: Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б. Влияние условий закрепления деревянных балок перекрытий на механическую безопасность объектов культурного наследия // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, № 4. С. 4–9. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.04.01.

For citation: Alekseenko V.N., Zhilenko O.B. Influence of conditions for fastening wooden floor beams on the mechanical safety of cultural heritage objects. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2024, vol. 14, no. 4, pp. 4–9. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2024.04.01.