

УДК 699.841

DOI [10.37153/2618-9283-2022-3-40-54](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-3-40-54)

Сейсмический риск и ущерб

Сейсмостойкость исторических зданий с деревянным каркасом и каменным заполнением в Европе

Альдреби З.А.¹

¹ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I». Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация: В статье выполняется обзор традиционных типов зданий, в которых использован деревянный каркас с каменным заполнением, встречающихся в Италии, Португалии, Турции, Греции, Испании и других странах, и рассматривается их сейсмостойкость. Хотя конструкции отличаются друг от друга с точки зрения деталей, их структурная система в основном одинаковая: деревянная конструктивная система несет в основном горизонтальные нагрузки, в то время как кладка поддерживает вертикальные гравитационные нагрузки. Исследование включает краткий отчет о сейсмичности территории каждой страны, где встречается тип строительства зданий с деревянно-каменным каркасом, приводится описание конструктивных систем этих зданий, описаны случаи, доказывающие их сейсмостойкость, сделаны выводы.

Ключевые слова: деревянный каркас с каменным заполнением, сейсмичность, землетрясение, сейсмостойкость, древняя сейсмоизоляция, тектоническая плита

Для цитирования: Альдреби З.А. Сейсмостойкость исторических зданий с деревянным каркасом и каменным заполнением в Европе // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2022. №3. С.40–54,

DOI: [10.37153/2618-9283-2022-3-40-54](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-3-40-54)

Seismic risk and damage

Seismic Resistance of Historic Buildings with Timber Frame and Stone Infill in Europe

Aldrebi Z.A.¹

¹Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract: This article provides an overview of the traditional types of buildings that use a stone-filled timber frame found in Italy, Portugal, Turkey, Greece, Spain, etc. and considers their seismic resistance. Although the structures differ from each other in terms of details, their structural system is basically the same: the timber structural system bears mostly horizontal loads, while the masonry supports vertical gravity loads. This study includes a brief account of the seismicity of each country where this type of timber-stone frame building occurs and a description of the structural systems of these buildings is given, cases proving their seismic resistance are described, and conclusions are drawn.

@ Альдреби З.А., 2022

Keywords: stone-filled timber frame, seismicity, earthquake, seismic resistance, ancient base isolation system, tectonic plate

For citation: Aldrebi Z.A. Seismic Resistance of Historic Buildings with Timber Frame and Stone Infill in Europe [*Seismostoiikoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii* = *Earthquake engineering. Constructions Safety*], 2022, no. 3, pp.40–54,

DOI: [10.37153/2618-9283-2022-3-40-54](https://doi.org/10.37153/2618-9283-2022-3-40-54)

Введение

Древесина – это твердый, волокнистый материал, изготавливаемый из значительной части ствола и ветвей деревьев и являющийся универсальным и одним из старейших строительных материалов [4–7], так как она доступна естественным образом и идеально подходит для различных применений. Деревянные дома (рис.1) с каменной кладкой [3] встречаются на протяжении многих веков по всему миру [14–15] и в Европе в частности. Обычно они были построены из деревянного каркаса, заполненного кладкой из глиняного кирпича или бутового камня. Это обусловлено тремя причинами: дешевизной этих материалов и их доступностью; лучшей сейсмостойкостью [1–2, 8], чем у конструкций без включения дерева; они выглядят более эстетично, чем построенные из других материалов.

Поскольку Европа подвержена многочисленным сейсмическим [10,14] воздействиям (рис.1), то сейсмостойкость зданий и сооружений на ее территории должна быть проанализирована, в том числе не только на новых объектах, разработанных в соответствии с более строгими нормами, но также и на старинных.

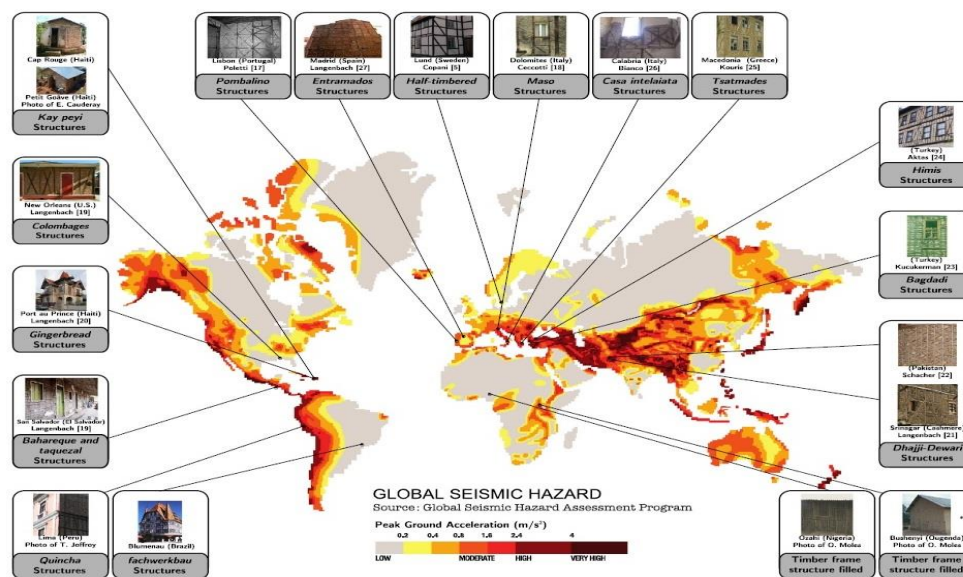


Рисунок 1 – Карта распространения зданий с деревянным каркасом и каменным заполнением по всему миру с указанием сейсмической опасности каждого региона их расположения

Figure 1 – Map of the distribution of stone-filled timber frame buildings around the world, with indicating the seismic hazard of each region of their location

Лучшим примером является древнеримский город Herculaneum (Геркуланум), который был погребен под лавой после извержения вулкана Везувия в 79 г. до н.э. Археологи нашли там целое двухэтажное деревянно-каменное здание (рис.2), которое было идентифицировано как дом “Opus Craticium” («Опус Кратикум») [15], иначе говоря, дом с деревянным каркасом.

Дома с деревянным каркасом и каменным заполнением распространены почти по всей Европе, так как строители в те времена считали их более сейсмостойкими, чем дома с другими системами. Их строительство было продиктовано сейсмической активностью территории Европы, отличающейся землетрясениями с различной степенью интенсивности и многочастотным составом [10, 14–15].



Рисунок 2 – Дом «Опус Кратикум» в древнеримском городе Геркуланум

Figure 2 – The house “Opus Craticium” in the ancient Roman city of Herculaneum

Сейсмическая активность (таблица 1) в Европе [10, 14–15] отличается от страны к стране. В некоторых странах землетрясения происходят очень редко, в то время как в других случаются часто с большей или меньшей интенсивностью. На рисунке 3 показаны основные мировые тектонические плиты, а на рисунке 4 – карта сейсмической опасности Европы за период с 1998 по 2007 г. Как видно из рисунка 4, сейсмическая активность сосредоточена в основном в Юго-Восточной Европе, но и в остальных ее

частях сейсмические источники также присутствуют и способны вызвать разрушительные землетрясения, например, в Португалии, которая находится на границе между Африканской и Евразийской плитами.

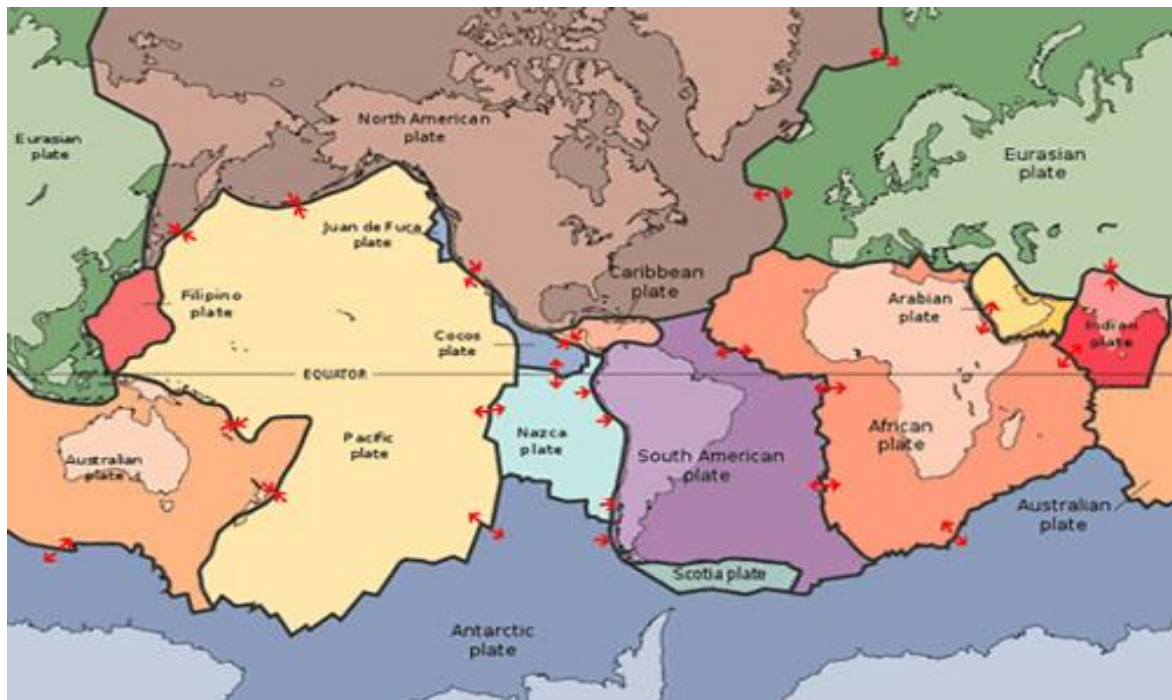


Рисунок 3 – Основные мировые тектонические плиты

Figure 3 – The main world tectonic plates

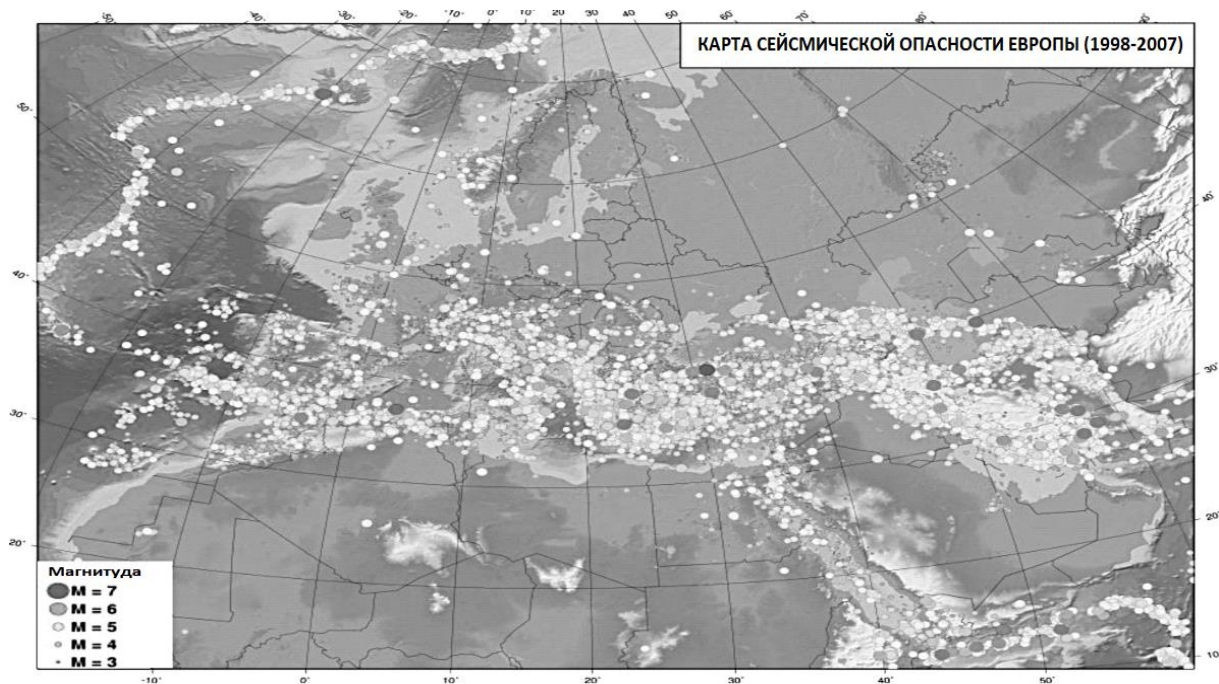


Рисунок 4 – Карта сейсмической опасности Европы (1998–2007 гг.)

Figure 4 – Map of the seismic hazard of Europe (1998–2007)

Таблица 1 – Список самых разрушительных исторических землетрясений в Европе

Table 1 – List of the most destructive historical earthquakes in Europe

| Дата | Страна | Место события землетрясения | Количество жертв, (чел.) | Магнитуда, (М) |
|---------------|------------|-----------------------------|--------------------------|----------------|
| 11.01.1693 г. | Италия | г. Катания | ≈ 60.000 | ≈7.4 |
| 01.11.1755 г. | Португалия | г. Лиссабон | ≈70.000 | ≈8.7 |
| 05.02.1783 г. | Италия | Область Калабрия | ≈35.000 | ≈6.9 |
| 28.12.1908 г. | Италия | г. Мессина | ≈86.000 | ≈7.5 |
| 13.01.1915 г. | Италия | г. Авеццано | ≈33.000 | ≈7.0 |
| 29.03.1954 г. | Испания | Провинция Гранада | Нет данных | ≈7.8 |
| 04.03.1977 г. | Румыния | г. Бухарест | ≈1581 | ≈7,2 |
| 17.08.1999 г. | Турция | Провинция Коджаэли | ≈20.000 | ≈7.4 |
| 12.11.1999 г. | Турция | Провинция Дюздже | ≈830 | ≈7,2 |

Португалия подвержена двум типам сейсмических воздействий, определяемым уровнем максимального ожидаемого пикового ускорения грунта (PGA).

1-й тип – землетрясение большой магнитуды на большом эпицентральной расстоянии и длительной продолжительности, как правило, происходящее в результате землетрясения, возникающего в зоне слияния Евразийской и Африканской плит;

2-й тип – землетрясение средней магнитуды на небольшом эпицентральной расстоянии и короткой продолжительности, как правило, вызванное землетрясением в разломе в долине Тежу, недалеко от Лиссабона.

История сейсмичности территории Португалии содержит много землетрясений небольшой магнитуды, но наиболее разрушающим и важным остается землетрясение 1755 г., где сейсмическая интенсивность на юге страны в регионе Алгарве оценивалась в IX–X баллов по шкале Меркалли [10, 14–15].

Территория *Греции* также является сейсмически активной, на которую приходится более половины сейсмической энергии европейского континента. Антисейсмическая грамотность древних строителей подтверждается адекватным поведением 200-летних деревянно-каркасных зданий на греческом острове Лефкас во время землетрясения 14 августа 2003 г. магнитудой 6,2 и максимальным горизонтальным пиковым ускорением грунта 0,42 g. Ни одно из зданий не разрушилось, в отличие от железобетонных, тем самым подтвердив, что это очень эффективная сейсмостойкая система [10, 14–16, 22].

Несмотря на то, что в наши дни сейсмостойкое строительство является очень развитым, уникальный характер землетрясений по-прежнему застаёт людей врасплох. Последнее крупное землетрясение в *Италии*, которое случилось в городе и одноименной коммуне Л’Акуила 6 апреля 2009 г., магнитудой 6,3 по шкале Рихтера, еще раз продемонстрировало этот непредсказуемый и уникальный характер. Горизонтальное пиковое ускорение грунта (PGA) составляло от 0,34 g до 0,67 g, а

вертикальное от 0,22 g до 0,42 g. Хотя в новом итальянском сейсмическом коде 2008 года с периодом повторяемости землетрясений 475 лет определены значения 0,30–0,35 g для горизонтального пикового ускорения грунта и 0,18 g для вертикального [10, 14–15, 18].

История сейсмичности территории *Испании* отмечена глубокими землетрясениями в районе провинции Гранады на юге страны. Лучшим примером является землетрясение, которое произошло в 1954 году, магнитудой 7,8 по шкале Рихтера, на глубине около 640 километров. Тем не менее, землетрясение, произошедшее 11 мая 2011 г. с эпицентром около г. Лорка на юго-востоке Испании, случилось на глубине 2-х километров с магнитудой 5,1 по шкале Рихтера и нанесло значительный ущерб, став причиной гибели нескольких человек [10, 14–15].

Территория *Турции* является наиболее сейсмоопасной – на протяжении веков здесь произошло множество землетрясений (рис.4). Большинство землетрясений случались в восточной части страны, но очень сильные землетрясения происходили и в других частях Турции. В истории этой страны известны многочисленные крупные разрушающие землетрясения, предпоследнее крупное магнитудой 7,4 произошло в провинции Коджаэли 17 августа 1999 года (таблица 1), оно стало причиной гибели большого количества людей и причинило серьезный материальный ущерб [10, 14–15].

Деревянные строения присутствуют во многих странах Европы и на других континентах, например, в *Португалии* существуют помбалеvские [17] здания (рис. 5), которые представляют собой сооружения высотой не более четырех этажей с аркадами на уровне первого этажа и с каменными стенами и фасадами, обрамленными деревянным каркасом, так называемыми “frontais” (рис.6, а), которые вместе с деревянными балками перекрытий образуют клетку “gaiola” (рис.6, б) и внутренние перегородки “tabiques” (рис.6, с). Все эти конструктивные элементы в совокупности создают антисейсмическую защиту и составляют устойчивую конструкцию. Они были названы в честь Маркиза де Помбаль, заказавшего их строительство после землетрясения 1755 года, разрушившего город Лиссабон, так как он хотел, чтобы здания имели сейсмостойкую конструкцию, способную противостоять подобным разрушительным землетрясениям [12–13, 20–21].

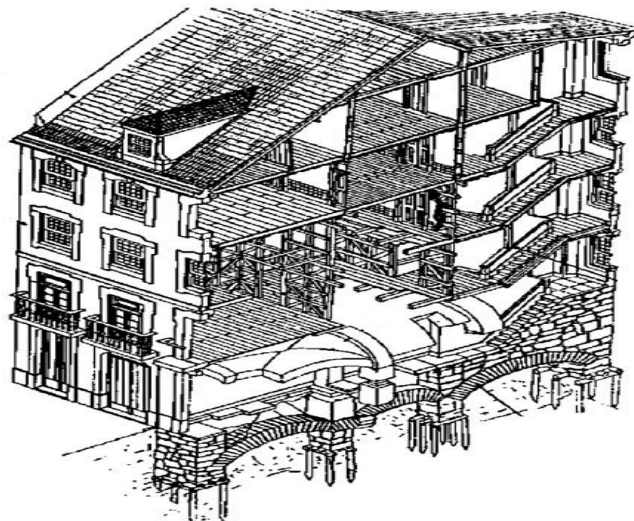


Рисунок 5 – Португальское здание в помбалеvском архитектурном стиле

Figure 5 – Portuguese building in the Pombaline architectural style

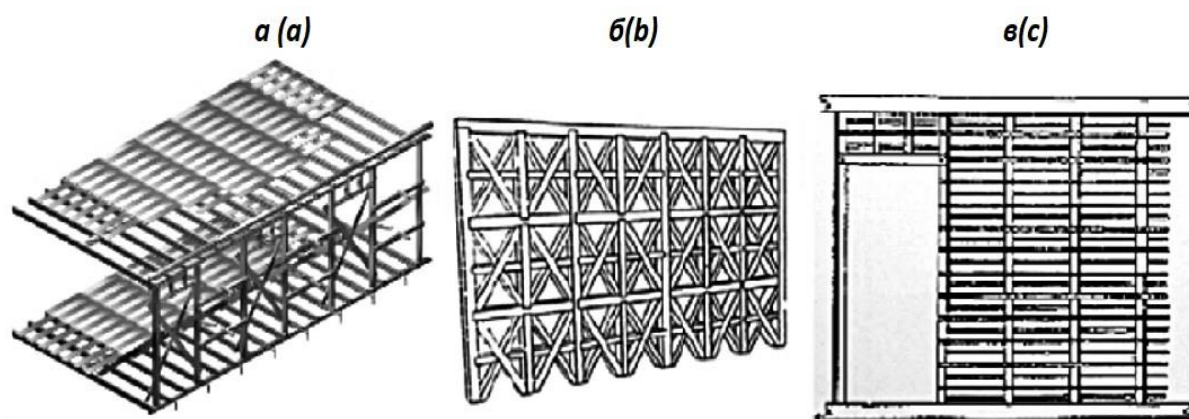


Рисунок 6 – Типы стен помбалинских зданий:
a – клетка (gaiolas); *b* – фасад (frontais); *c* – внутренняя перегородка (tabiques)

Figure 6 – Types of walls of Pombarine buildings:
a – cell (gaiolas); *b* – facade (frontais); *c* – internal partition (tabiques)

Стена в конструктивной системе Помбалино состоит из деревянной рамы и каменного заполнения. Геометрия рамы состоит из горизонтальных и вертикальных элементов, а также диагональных раскосов в форме буквы X, как показано на рис. 7. Соединения между этими элементами рамы показаны на рисунке 8. Заполнение стены обычно представляет собой бутовую или кирпичную кладку, но также может состоять из других материалов, таких как глина и сено, в зависимости от их доступности на месте строительства [17].



Рисунок 7 – Стена в конструктивной системе «Помбалино»

Figure 7 – The wall in the structural system “Pombarino”

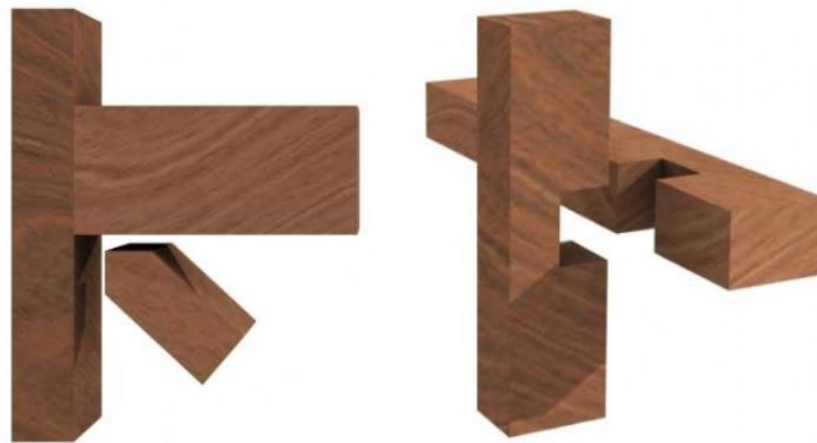


Рисунок 8 – Соединения между элементами деревянной рамы стены в конструктивной системе «Помбалино»

Figure 8 – Joint connections between the elements of the timber frame of the wall in the “Pombalino” structural system

Проведенные исследования и испытания на сейсмостойкость помбалиновой стены (рис. 9–10), выполненные учеными из Европы [16, 20–21], показали, что стена смогла рассеять энергию в течение многих циклов, при этом не потеряв свою структурную целостность.

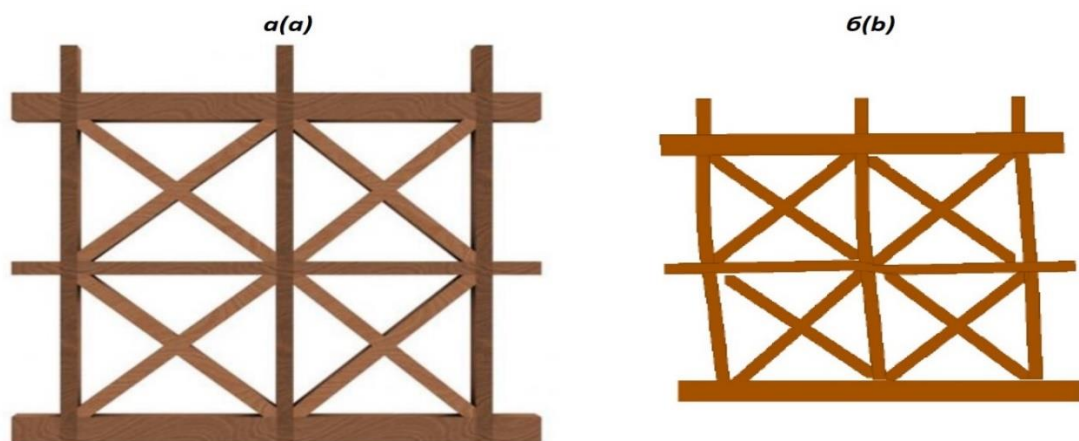


Рисунок 9 – Деревянная рама стены в конструктивной системе «Помбалино»: а – до испытаний; б – поведение стены во время испытаний

Figure 9 – Timber frame of the wall in the structural system “Pombalino”: a – before testing; b – wall behavior during testing

Петли гистерезиса испытанной стены, показанные на рисунке 10 (б), свидетельствуют о хорошей способности конструкции к деформации и рассеиванию энергии [20].

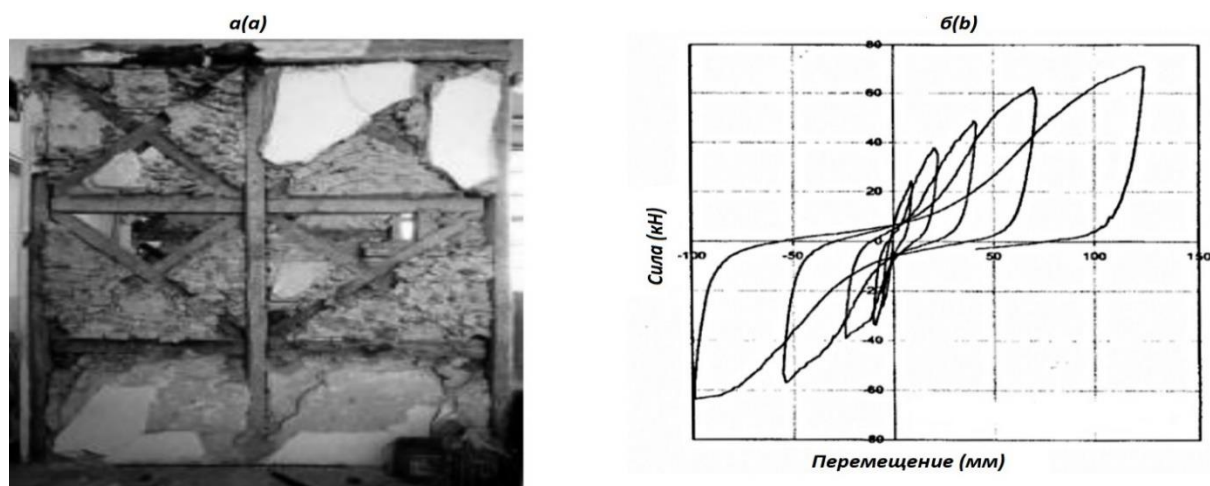


Рисунок 10 – Помбалиновая стена, подвергнутая испытаниям:
 а – помбалиновая стена; б – диаграмма зависимости «сила – перемещение»

Figure 10 – The pombaline wall that has been tested:
 а – pombaline wall; б – diagram of the dependence “force – displacement”

Деревянные каркасные дома в Греции, имеющие двойную несущую систему с каменной кладкой и деревянным каркасом, отличаются некоторыми уникальными особенностями. В этих зданиях цокольные этажи имеют каменные стены толщиной 0,5–0,7 м, а верхние этажи выполнены из однослойной кладки толщиной 0,10–0,15 м, обрамленной деревянным каркасом. То есть первый этаж кардинально отличается от верхнего [16, 22]. Как показано на рисунке 11 (а–б), первой несущей системой является каменная кладка, второй – деревянный каркас, и если каменная кладка выходит из строя (рис.11, в), то деревянный каркас активируется, чтобы выдерживать нагрузку, тем самым предотвращая полное обрушение конструкций.

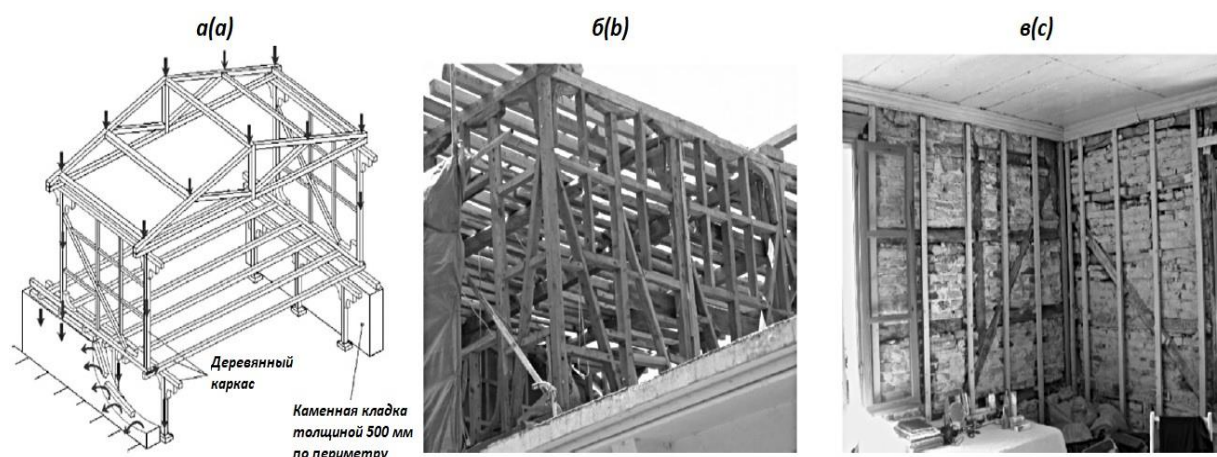


Рисунок 11 – Дома с деревянным каркасом в Греции:
 а – цокольный этаж из каменной кладки; б – деревянный каркас; в – деревянный каркас с каменным заполнением

Figure 11 – Timber-framed houses in Greece:
 а – basement floor made of masonry; б – timber frame; в – timber frame with stone infill

Еще один особый элемент, обнаруженный в этих греческих постройках, это подфундамент (рис.12). Считается, что такая конструкция представляет собой своего рода старинную систему сейсмоизоляции. Это конструктивное решение использовалось в начале 19 века, и теперь его можно найти в центре старого города Лефкас, на одноименном острове, известном самой высокой сейсмичностью в Греции [16].

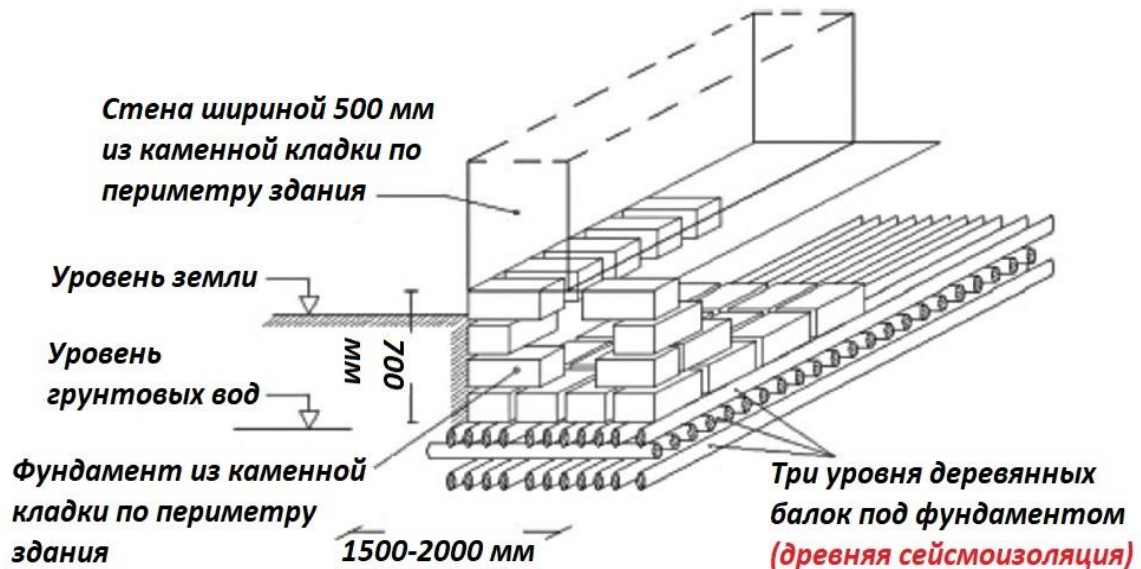


Рисунок 12 – Сейсмоизолированный фундамент дома с деревянным каркасом в Греции (XIX век)

Figure 12 – Seismically isolated foundation of a timber-framed house in Greece (19th century)

В Турции существуют деревянные каркасные дома, которые были построены с помощью строительной техники *himiş* (химиш). «Химиш» представляет собой комбинированную строительную систему, в которой цокольный этаж в основном состоит из каменной кладки, а верхние этажи и крыша из дерева. Эта техника распространена не только в Турции, но и в некоторых балканских странах.

Интересный факт продемонстрирован на рисунках 13 (здания в Индии) и 14 (здания в Турции): здание с железобетонным каркасом и каменным заполнением слева (рис.13, *a*) было достроено, в то время как в здании справа (рис.13, *б*) только ж. б. каркас был завершен. Как видно из рисунка 13, землетрясение разрушило только здание слева, где ж/б каркас был с каменным заполнением (рис.13, *a*), а здание справа (рис. 13, *б*) с голым ж/б каркасом уцелело.

Обрушившееся железобетонное здание (рис.14, *б*) рядом с уцелевшим зданием «*himiş*» (рис.14, *a*) в Турции [4, 6, 13] после землетрясения, которое произошло в городе Дюздже на северо-западе страны 12 ноября 1999 года, магнитудой около 7,2 или интенсивностью IX баллов по шкале Меркалли, демонстрирует устойчивость деревянного каркаса с каменным заполнением по сравнению с новым зданием из железобетонного каркаса небольшой высоты по соседству. Представляется интересным сравнить событие на рисунке 14 с событием на рис. 13, где каменное заполнение, вероятно, вызвало обрушение (рис.13, *a*), а на другом (рис.14, *a*) каменное заполнение и

деревянный каркас хорошо работали совместно против сейсмических воздействий [9, 11, 19].



Рисунок 13 – Два здания с железобетонным каркасом в г. Бхудж, Индия, после землетрясения в штате Гуджарат в 2001 г.:
a – здание с ж/б каркасом и каменным заполнением; *б* – здание с ж/б каркасом без каменного заполнения

Figure 13 – Two reinforced concrete framed buildings in Bhuj, India after the 2001 Gujarat earthquake:
a – a building with a reinforced concrete frame and stone infill; *b* – a building with a reinforced concrete frame without stone infill



Рисунок 14 – Два здания в г. Дюздже, Турция, после землетрясения в ноябре 1999 г.:
a – здание «hımış» с деревянным каркасом и каменным заполнением; *б* – здание с железобетонным каркасом

Figure 14 – Two buildings in the city of Düzce, Turkey, after the November 1999 earthquake:
a – a building «hımış» with a timber frame and stone infill; *b* – a building with a reinforced concrete frame

После Измитского землетрясения, которое произошло 17 августа 1999 года на северо-западе Турции, магнитудой около 7,4 по шкале Рихтера, в городе Адапазары, дом традиционной деревянно-каркасной постройки (*hımış*) (рис.15, *а*) выстоял, в то время как железобетонный многоквартирный дом (рис.15, *б*), расположенный рядом с ним, рухнул полностью [9,19]. Это еще одно свидетельство сейсмостойкости деревянных домов такой конструкции.

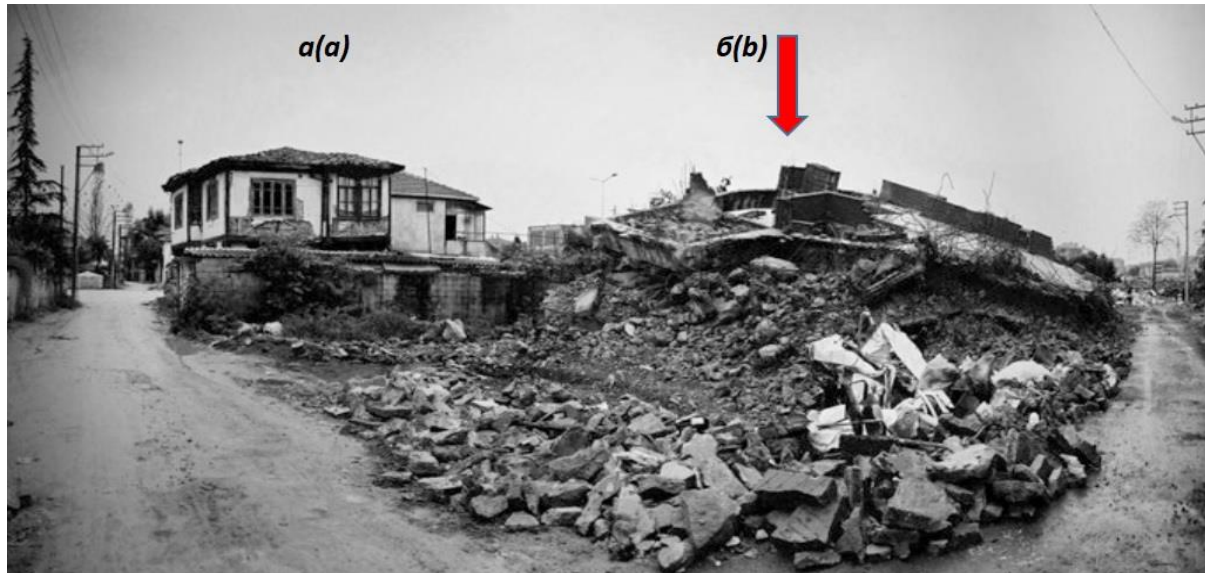


Рисунок 15 – Два здания в городе Адапазары, Турция, после Измитского землетрясения в августе 1999 г.:

a – деревянное здание «*hımış*»; *б* – рухнувшее железобетонное здание

Figure 15 – Two buildings in the city of Adapazarı, Turkey, after the Izmit earthquake in August 1999:

a – a timber building «*hımış*»; *b* – collapsed reinforced concrete building

Заклучение

Основываясь на анализе состояния повреждений вышеперечисленных традиционных деревянных каркасных зданий, расположенных в регионах с высокой сейсмической активностью, было замечено, что эта конструктивная система демонстрирует хорошее поведение во время землетрясений. Деревянные каркасные конструкции с каменным заполнением сочетают в себе лучшие качества каменной кладки и дерева, обеспечивая лучшую устойчивость зданий к сейсмическим воздействиям. Для большинства зданий такого типа роль каменной кладки состоит в том, чтобы нести вертикальные нагрузки, представляя собой основную систему сопротивления. Как только эта система выходит из строя, деревянная конструкция начинает работать. Также каменная кладка призвана повышать сейсмостойкость, так как она рассчитана также и на восприятие горизонтальных сил. В ней растворные швы между камнями спроектированы так, чтобы они были слабыми, чтобы движение кирпичей во время землетрясения позволило энергии в достаточной мере рассеиваться, тем самым минимизируется ущерб, иначе говоря, традиционные здания с деревянным каркасом и каменным заполнением демонстрируют гибкость, способность рассеивать энергию и могут выдерживать многочисленные циклы сейсмических нагрузок.

И, наконец, представляется необходимым, чтобы будущие исследования для более надежной оценки сейсмической безопасности существующих типов деревянных зданий, рассмотренных в этой работе, были сосредоточены на более целостных методах оценки, учитывающих деревянную и каменную составляющие, а также комплекс различных факторов, которые не были учтены, например, физическое старение, деградация материала, структурные изменения, кумулятивное влияние прошлых землетрясений и т. д.

Список литературы

1. Белинская Т.И., Турков А.В., Хапин А.В. Обоснование целесообразности применения деревянных конструкций в сейсмостойком строительстве // Сейсмостойкие конструкции зданий и сооружений в Киргизии. Сборник научных трудов. Фрунзе. 1990. С. 32–35.
2. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Актуализир. ред. СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах». М.: Стандартинформ, 2018 – 116 с.
3. СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализир. ред. СНиП II-22-81* (с Изменениями № 1,2. М.: ЦНИИСК имени В.А. Кучеренко, 2020. 131 с.
4. СП 451.1325800.2019 Здания общественные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования. М.: Стандартинформ, 2020. 16 с.
5. СП 452.1325800.2019 Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования. М.: ЦНИИСК имени В.А. Кучеренко, 2019. 46 с.
6. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализир. ред. СНиП II-25-80 (с Изменениями N 1, 2, 3). М.: ЦНИИСК имени В. А. Кучеренко, 2017. 105 с.
7. Хрулев В.М., Мартынов К.Я., Лукачев С.В., Шутов С.М. Деревянные конструкции и детали. Справочник строителя / Под ред. В.М. Хрулева. М.: Стройиздат, 1983. 284 с.
8. Шаблинский Г.Э., Завалишин С.И., Жаворонок И.В., Швей Е.М., Грошев М.Е. Исследование сейсмостойкости деревянных полносборных домов // Сейсмостойкое строительство. 1999. № 4. С. 25–28.
9. Aktaş Y.D., Akyüz U., Türer A., Erdil B., Güçhan N.S. Seismic Resistance Evaluation of Traditional Ottoman Timber-Frame Hımiş Houses: Frame Loadings and Material Tests. *Earthquake Spectra* 30: 1711–1732 (2013).
10. Ambraseys N.N., Jackson J.A. 1981. Earthquake hazard and vulnerability in the northeastern Mediterranean: The Corinth earthquake sequence of February–March 1981. *Disasters* 5(4): 355–368.
11. Cerasi M. 1998. The formation of ottoman house types: a comparative study in interaction with neighboring cultures. *Muqarnas* 15: 116–156.
12. EN 1998-1: 2004. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, European Committee for Standardization, Brussels, 232 p.
13. EN 1998-3: 2005. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 3: Assessment and retrofitting. European Standard. CEN, Brussels, 91p.
14. Grunthal G. Seismic hazard assessment for Central, North and Northwest Europe: GSHAP Region 3. *Ann. Geophys. Vol. 42 No. 6* (1999).
15. Langebach R. From “Opus Craticium” to the “Chicago frame”: earthquake-resistant traditional construction. *Int. J. Arch. Heritage* 1, 29–59 (2007).

16. Makarios T., Demosthenous M. Seismic response of traditional buildings of Lefkas Island Greece. *Eng. Struct.* 28, 264–278 (2006).
17. Meireles H., Bento R., Cattari S., Lagomarsino S. A hysteretic model for “frontal” walls in Pombalino buildings. *Bull. Earthq. Eng.* 10(5), 1481–1502 (2012).
18. Poletti E., Vasconcelos G. Seismic behaviour of traditional timber frame walls: experimental results on unreinforced walls. *Bull. Earthq. Eng.* 13, 885–916 (2015).
19. ahin-Güçhan N. 2007. Observations on earthquake resistance of traditional timber framed houses in Turkey. *Building and Environment* 42: 840–851.
20. Santos S. Tests of Pombalino walls. Lisbon, LNEC; 1997. Nota Técnica N° 15/97-NCE (In Portuguese).
21. Vieux-champagne F., Sieffert Y., Grange S., Polastri A., Ceccotti A., Daudeville L. Experimental analysis of seismic resistance of timber-framed structures with stones and earth infill. *Engineering Structures*, 69 (3), 102–115 (2014).
22. Vintzileou E., Zagkotsis A., Repapis C., Zeris C. Seismic behaviour of the historical structural system of the island of Lefkada, Greece. *Constr. Build. Mater.* 21, 225–236 (2007).

References

1. Belinskaya T.I., Turkov A.V., Khapin A.V. Justification of the expediency of using wooden structures in earthquake-resistant construction. *Earthquake-resistant structures of buildings and structures in Kyrgyzstan. Collection of scientific papers.* Frunze, 1990, pp. 32–35. (In Russian).
2. Khrulev V.M., Martynov K.Ya., Lukachev S.V., Shutov S.M. *Wooden structures and details. Builder's Handbook / Ed. V. M. Khruleva.* M.: Stroyizdat, 1983. 284 p. (In Russian).
3. SP 14.13330.2018. *Construction in seismic areas. Updating Ed. SNIIP II-7-81* "Construction in seismic regions".* M.: Standartinform, 2018.116 p. (In Russian).
4. SP 15.13330.2020. *Stone and reinforced masonry structures. Updater. ed. SNIIP II-22-81 * (with Amendments No. 1.2).* M.: TsNIISK named after V.A. Kucherenko, 2020. 131 p. (In Russian).
5. SP 451.1325800.2019 *Public buildings with wooden structures. Design rules.* M.: Standartinform, 2020.16 p. (In Russian).
6. SP 452.1325800.2019 *Residential multi-apartment buildings using wooden structures. Design rules.* M.: TsNIISK named after V.A. Kucherenko, 2019. 46 p. (In Russian).
7. SP 64.13330.2017. *Wooden structures. Updater. Ed. SNIIP II-25-80 (with Amendments N 1, 2, 3).* M.: TsNIISK named after V.A. Kucherenko, 2017.105 p. (In Russian).
8. Shablinsky G.E., Zavalishin S.I., Zhavoronok I.V., Shvey E.M., Groshev M.E. Study of seismic resistance of wooden prefabricated houses. *Seismic-resistant construction*, 1999, no. 4, pp. 25–28. (In Russian).
9. Aktaş Y.D., Akyüz U., Türer A., Erdil B., Güçhan N.S. Seismic Resistance Evaluation of Traditional Ottoman Timber-Frame Hımiş Houses: Frame Loadings and Material Tests. *Earthquake Spectra* 30: 1711–1732 (2013).
10. Ambraseys N.N., Jackson J.A. 1981. Earthquake hazard and vulnerability in the northeastern Mediterranean: The Corinth earthquake sequence of February–March 1981. *Disasters* 5(4): 355–368.
11. Cerasi M. 1998. The formation of ottoman house types: a comparative study in interaction with neighboring cultures. *Muqarnas* 15: 116–156.

12. EN 1998-1: 2004. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, European Committee for Standardization, Brussels, 232 p.
13. EN 1998-3: 2005. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 3: Assessment and retrofitting. European Standard. CEN, Brussels, 91 p.
14. Grunthal G. Seismic hazard assessment for Central, North and Northwest Europe: GSHAP Region 3. Ann. Geophys. Vol. 42 No. 6 (1999).
15. Langebach R. From “Opus Craticium” to the “Chicago frame”: earthquake-resistant traditional construction. Int. J. Arch. Heritage 1, 29–59 (2007).
16. Makarios T., Demosthenous M. Seismic response of traditional buildings of Lefkas Island Greece. Eng. Struct. 28, 264–278 (2006).
17. Meireles H., Bento R., Cattari S., Lagomarsino S. A hysteretic model for “frontal” walls in Pombalino buildings. Bull. Earthq. Eng. 10(5), 1481–1502 (2012).
18. Poletti E., Vasconcelos G. Seismic behaviour of traditional timber frame walls: experimental results on unreinforced walls. Bull. Earthq. Eng. 13, 885–916 (2015).
19. ahin-Güçhan N. 2007. Observations on earthquake resistance of traditional timber framed houses in Turkey. Building and Environment 42: 840–851.
20. Santos S. Tests of Pombalino walls. Lisbon, LNEC; 1997. Nota Técnica N° 15/97-NCE (In Portuguese).
21. Vieux-champagne F., Sieffert Y., Grange S., Polastri A., Ceccotti A., Daudeville L. Experimental analysis of seismic resistance of timber-framed structures with stones and earth infill. Engineering Structures, 69 (3), 102–115 (2014).
22. Vintzileou E., Zagkotsis A., Repapis C., Zeris C. Seismic behaviour of the historical structural system of the island of Lefkada, Greece. Constr. Build. Mater. 21, 225–236 (2007).

Информация об авторе/Information about author

Альдреби Зиад Ахмад, преподаватель-исследователь, инженер-строитель, аспирант, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I». Санкт-Петербург, Российская Федерация. ziald67@gmail.com

Aldrebi Ziad Ahmad, lecturer-researcher, civil engineer, postgraduate, “Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University”. Saint Petersburg, Russian Federation. ziald67@gmail.com