

Конструктивные решения, применимые для реставрации деревянных хозяйственных построек, на примере лавки купцов Глухаревых в г. Переславле-Залесском

Виталина Сергеевна Скворцова, Андрей Юрьевич Ушаков

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Сохранение культурного наследия — актуальная задача современного общества. О его необходимости говорится и в Указе Президента РФ от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации»: «...укрепление традиционных российских духовно-нравственных ценностей, сохранение культурного и исторического наследия народа России». Ясно и осознание российским обществом важности сохранения архитектурного культурного наследия нашей страны. Проводятся добровольные экспедиции и другие мероприятия в целях сохранения объектов культурного наследия, а также старых домов, не входящих в этот реестр. Изучение лавки купцов Глухаревых является частью историко-архитектурного исследования Рыбацкой слободы в г. Переславле-Залесском. В этом месте все еще сохранен исторический облик, а также особенности, связанные с исторически сложившейся промысловой специализацией слободы. Исследование посвящено одной из старых хозяйственных построек слободы — торговой лавке. Этот объект — редкая ценная постройка. Она в аварийном состоянии и требует срочного вмешательства специалистов. Рассмотрены методы, применимые для реставрации деревянных хозяйственных построек. Оценена возможность использования каждого метода для лавки купцов Глухаревых, а также предложены проектные решения конструкций и определено наиболее рациональное решение. Выбор метода реставрации определяет продолжительность, трудозатраты, экономические затраты на проведение работ и зависит главным образом от состояния постройки, а также от ее охранного статуса.

Материалы и методы. Проанализированы старые дома Рыбацкой слободы, архивные источники, научные труды, нормативные документы. Выполнено натурное исследование постройки, в ходе которого сделаны обмеры, фотофиксация, оценено состояние конструкций, проведен их расчет.

Результаты. Исследованы варианты усиления конструкций кровли лавки и подобраны сечения конструкций для самого оптимального варианта.

Выводы. Самым оптимальным вариантом оказалось усиление кровли стойками и подкосами сечением 30 × 30 и 40 × 40.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: реставрация, деревянное зодчество, Переславль-Залесский, конструктивные предложения в реставрации, Рыбацкая слобода, реконструкция, расчет

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Скворцова В.С., Ушаков А.Ю. Конструктивные решения, применимые для реставрации деревянных хозяйственных построек, на примере лавки купцов Глухаревых в г. Переславле-Залесском // Строительство: наука и образование. 2025. Т. 15. Вып. 2. Ст. 3. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.3

Автор, ответственный за переписку: Андрей Юрьевич Ушаков, 903714@mail.ru.

Constructive solutions applicable for restoration of wooden household buildings on the example of the shop of the Glukharev merchants in Pereslavl-Zalesky

Vitalina S. Skvortsova, Andrey Yu. Ushakov

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Preservation of cultural heritage is an urgent task of modern society. Its necessity is also stated in the Decree of the President of the Russian Federation dated 02.07.2021 № 400 “The National Security Strategy of the Russian Federation”: “...strengthening of traditional Russian spiritual and moral values, preservation of cultural and historical heritage of the people of Russia”. It is also clear that Russian society is aware of the importance of preserving the architectural cultural heritage of our country. Voluntary expeditions and other activities are carried out in order to preserve cultural heritage objects, as well as old houses that are not included in the register. The research of Glukharev merchants' shop is a part of the historical and architectural research of the Rybatskaya Sloboda in Pereslavl-Zalesky. In this place the historical ap-

pearance is still preserved as well as features connected with the historically developed trade specialization of the sloboda. The research is devoted to one of the old economic buildings of the sloboda — a trading shop. This object is a rare valuable building. It is in an emergency condition and requires urgent intervention of specialists. The methods applicable to the restoration of wooden outbuildings are considered. The possibility of using each method for the shop of the Glukharev merchants is evaluated, and also design solutions of structures are proposed and the most rational solution is determined. The choice of the restoration method determines the duration, labour and economic costs of the work and depends mainly on the condition of the building and its conservation status.

Materials and methods. Old houses of Rybatskaya Sloboda, archival sources, scientific works, normative documents were analyzed. A field study of the building was carried out, in the course of which measurements were made, photo-fixation was made, the condition of the structures was assessed, and the calculation of the structures was carried out.

Results. The options for reinforcing the bench roof structures were investigated and the cross-sections of the structures were selected for the most optimal option.

Conclusions. The best option turned out to be the roof reinforcement with struts and underpinings with cross sections of 30 × 30 and 40 × 40.

KEYWORDS: restoration, wooden architecture, Pereslavl-Zalessky, constructive proposals in restoration, Rybatskaya Sloboda, reconstruction, calculation

FOR CITATION: Skvortsova V.S., Ushakov A.Yu. Constructive solutions applicable for restoration of wooden household buildings on the example of the shop of the Glukharev merchants in Pereslavl-Zalessky. *Construction: Science and Education*. 2025; 15(2):3. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2025.2.3

Corresponding author: Andrey Yu. Ushakov, 903714@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы сохранения деревянного наследия раскрыты во многих трудах российских и зарубежных научных деятелей. В статье А.Б. Бодэ рассмотрены и оценены подходы к реставрации [1–3]. Также об этом писали Е.В. Ходаковский, А.С. Щенков, М.И. Коляда [4–7]. Хауке Хауптс описал связанные с природными условиями проблемы сохранения деревянного наследия в Норвегии [8]. Ноэми Манара, Лоренцо Россет, Франческо Замбелли, Андреа Занола представили способ отслеживания микроклимата вариационных автокодеров [9]. Ученые исследуют деревянное зодчество России и в Европе, находят пути восстановления конструкций [10–16]. Об объекте статьи — лавке купцов Глухаревых были опубликованы некоторые материалы [1, 2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Лавка купцов Глухаревых входит в состав двора купцов Глухаревых, состоящего в настоящее время из лавки и жилого дома. Двор располагается на территории исторической Рыбацкой слободы [1]. Рассматриваемая постройка не входит в реестр объектов культурного наследия, однако ранее жилой дом имел охранный статус. Историко-культурная ценность построек не была раскрыта, также не был разработан подход к реставрации и реконструкции объектов слободы. Лавка несет в себе историко-архитектурную и культурную ценности. Постройка имеет особенности, связанные с исторически сложившейся промышленной специализацией слободы.

Объект сохранился в своем первоначальном виде, никаких поздних наслоений снаружи и изнутри нет. В данном случае реставрировать постройку целесообразно, ориентируясь на ее первоначальный облик. Согласно обмерам, лавка в плане квадратная со сторонами 5, 7 м, высота лавки от уровня зем-

ли приблизительно 4 м. Такая конструкция проста для вывешивания домкратами.

Согласно «Принципам сохранения исторических деревянных построек» при работе с деревянным наследием необходимо придерживаться традиционных техник обработки дерева. Кроме того, замененная древесина должна быть из той же породы, что и подлинник, с такой же текстурой, уровнем влагосодержания¹. Используются такие технологии, как наращивание бревен по длине, установка коронок, вычинок с применением клеевых соединений [17]. Эти технологии нужны для сохранения наибольшего количества подлинного материала. Наращивание, коронки, вставки и вычинки применяются для сохранения пораженного деревянного материала. Все указанные ограничения, технологии требуются для того, чтобы сохранить и подлинный материал, и его облик. Но при этом действия не должны привести к путанице в будущем, что является подлинником, а что материалом проведенной реставрации и реконструкции.

Реконструкция и приспособление допускают внесение некоторых изменений в объекте. Так, например, для сохранения исторического облика и интерьера утепление стен на видимых поверхностях недопустимо. Однако возможно утепление чердака и пола, но только в случае обеспечения проветривания. В противном случае материал будет поражаться грибами и плесенью. Для утепления стен можно использовать традиционные методы. Исторически стены утепляли методом конопатки. Конопатили

¹ Принципы сохранения исторических деревянных построек // Международный совет по сохранению памятников и достопримечательных мест : принят 19 Генеральной Ассамблеей ИКОМОС в Индии, г. Дели, в декабре 2017 г. М. : Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры «Государственный историко-архитектурный и этнографический музей-заповедник «Киж», 2018.



Рис. 1. Западная стена



Рис. 2. Северная стена



Рис. 3. Восточная стена



Рис. 4. Южная стена

джутом, мхом, паклей, это позволяло устранить щели между бревнами, увеличив теплоизоляционную способность.

Предварительное обследование объекта дало понимание, какие повреждения есть в конструкци-

ях. Лавка в тяжелом аварийном состоянии. Фальцевая кровля имеет многочисленные повреждения. Часть жердей обрешетки также поражены гнилью (рис. 1–4). Средняя ферма с восточной стороны потеряла несущую способность. Имеются биопоражения стен, в том числе белым домовым грибом на нижних венцах южной стены и верхних венцах восточной стены. Бревна сруба поражены жуком. Потолок и одна из балок обрушены, часть одной балки имеет повреждения. В основном поражения на срубе локализуются в нижних венцах, под кровлей. Исключение составляет северная часть восточной стены и восточный угол южной стены, где регулярные протечки в кровле разрушили древесину по всей высоте. Кроме того, повреждения белым домовым грибом южной стены захватывают два нижних бревна. Согласно ГОСТ Р 70005–2022 следует удалять пораженный участок, захватывая один метр вокруг него. Древесина, поврежденная жуками, тоже подлежит удалению. Если заменить поврежденную древесину методом вычинки, то в результате возможны деформации сруба. В связи с этим необходимо прибегнуть к крайнему и нежелательному методу реставрации — переборке. Переборка сруба подразумевает разборку сруба с предварительной маркировкой бревен. Применение этого метода несет значительное вмешательство в подлинность конструкции. При разборке сруба бревна деформируются, из-за чего при сборке конструкции возможны утраты исторических следов от инструментов, незначительное изменение геометрии постройки. С другой стороны, при переборке постройки появляется возможность выявить повреждения, которые невозможно обнаружить при внешнем осмотре.

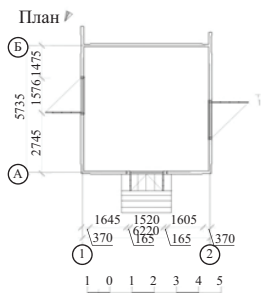


Рис. 5. Графическая реконструкция лавки, план 10

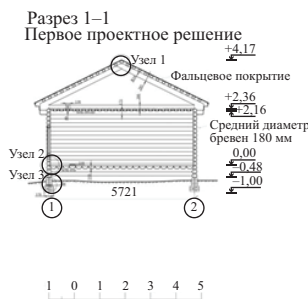


Рис. 6. Графическая реконструкция лавки, первое проектное решение 10

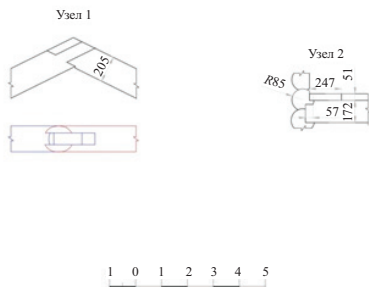


Рис. 7. Узел 1 и узел 2

Отдельно стоит обратить внимание на несохранившиеся складские помещения, которые составляли с лавкой одну постройку (рис. 5–7). Для их восстановления можно использовать в качестве примера аналоги, а также прибегнуть к архивным данным, если они есть. Кроме того, возможно применение метода археологической зачистки территории для выявления геометрии планов разрушенных построек.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Итак, метод реставрации определен — полная переборка объекта. Проект реставрации зависит и от будущего назначения лавки. Если планируется использовать объект для продолжительного пребывания людей, необходимо обеспечить теплоизоляцию и отопление.

Для обеспечения лучшей несущей способности конструкции, скрытой в интерьере, ее можно укрепить, но не повреждая подлинники. Например, возможна установка дополнительных конструкций для фермы: стоек, стяжек, подкосов. Такие решения допустимы в том случае, если имеющаяся конструкция действительно не обладает необходимой несущей способностью с целью сохранения существующего материала.

Обоснование оптимального метода усиления стропильных систем деревянной лавки

1. Основные виды усиления стропильных систем (рис. 8).

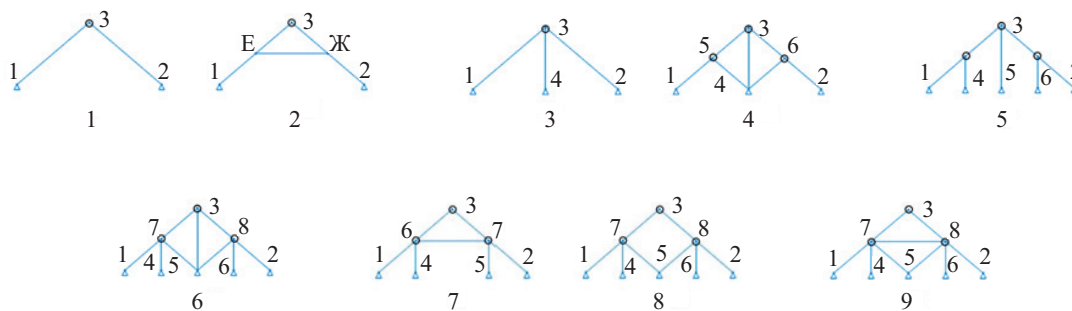


Рис. 8. Схемы стропильных систем

Опорные реакции при применении в лавке основных стропильных систем

Номер	Номер узлов	Вертикальная реакция	Горизонтальная реакция	Номер	Номер узлов	Вертикальная реакция	Горизонтальная реакция
1	А	23 047,41	+13 545,18	7	А	8765,16	+13 545,18
	Б	23 047,41	-13 545,18		Б	8765,16	-13 545,18
2	А	23 047,56	+21 784,41		Г	14 283,22	+21 784,41
	Б	23 047,56	-21 784,41		Д	14 283,22	-21 784,41
3	А	3862,51	-8851,94	8	А	9981,40	-8851,94
	Б	3862,51	+8851,94		Б	9980,09	+8851,94
	Г	38 373,55	-		Г	11 709,75	-
4	А	10 711,66	+7420,93		Д	2713,90	+7420,93
	Б	10 711,66	-7438,14	Е	11 710,58	-7438,14	
	Г	24 673,77	-	9	А	8982,38	-
5	А	5849,76	+1756,51		Б	11 707,57	+1756,51
	Б	5849,76	-1755,51		Г	4716,40	-1755,51
	Г	14 367,66	-		Д	11 709,40	-
	Д	5662,54	-		Е	8981,96	-
	Е	14 367,66	-	-	-	-	

2. Описание расчетных схем стропильных систем (табл.).

Анализ проведен методом конечных элементов в программном пакете САЕ Abaqus [18–20]:

- нагрузки: вертикальная распределенная нагрузка на поверхность стропильных ног — 5 Н/мм;
- цель — снизить поперечные реакции в опорах, распределить вертикальные реакции максимально равномерно по элементам стропильной системы;
- прочностные и деформационные характеристики берутся из СП «Деревянные конструкции»². Дерево — сосна.

3. Деформационная картина. Масштабный фактор значительно увеличен (рис. 9).

Опорные реакции показали, что оптимальным вариантом является схема под номером шесть. Она продемонстрировала наилучшие опорные реакции,

² СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80.

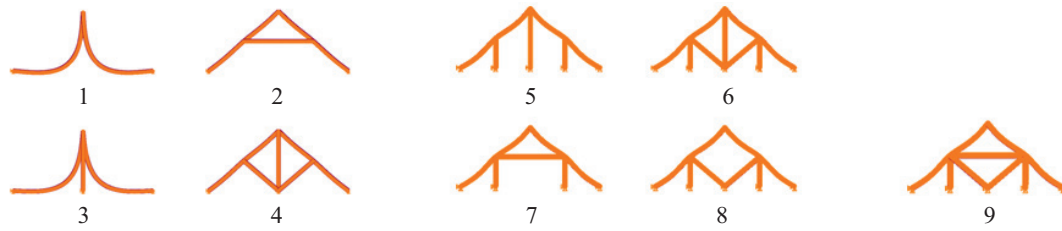


Рис. 9. Деформационная картина

которые также соответствуют требованию реставрации о сохранения интерьера.

Подбор сечения

В связи с тем, что это ценный объект, авторы используют старые технологии и материалы. В проектном решении остается кровля цинковая на жердях со стропильными фермами.

Действующие нагрузки. Снеговая нагрузка для IV снегового района — $2,0 \text{ кН/м}^2$: $200 \text{ кг/м}^2 \times 44,5 \text{ м}^2 = 8900 \text{ кг}$.

Нагрузка от веса кровли (рис. 10):

- от 29 жердей длиной 6,13 м средним диаметром 0,11 м: $0,058 \cdot 29 \cdot 470 \text{ кг/м}^2 = 790,54 \text{ кг}$;

- фальцевая кровля площадью $44,5 \text{ м}^2$: $44,5 \times 0,001 \cdot 7850 \text{ кг/м}^2 = 349,33 \text{ кг}$;

- две стропильные ноги длиной 3,58, средним диаметром 0,205 м: $0,225 \text{ м}^3/2 \cdot 470 \text{ кг/м}^2 = 211,5 \text{ кг}$.

Расчет настила ведем как балки по двухпролетной схеме. Расстояние между опорами равно шагу прогонов $l = 2,9 \text{ м}$.

Постоянная расчетная нагрузка: 9,84.

Итого, полная расчетная нагрузка: 12,64.

Количество стропильных систем — 3 шт. (рис. 11).

Нагрузка на среднюю ферму равна 40 % от всей нагрузки на стропильные фермы: $12,64 \cdot 17,8 + 2,115 \cdot 1,2 = 227,53 \text{ кг}$.

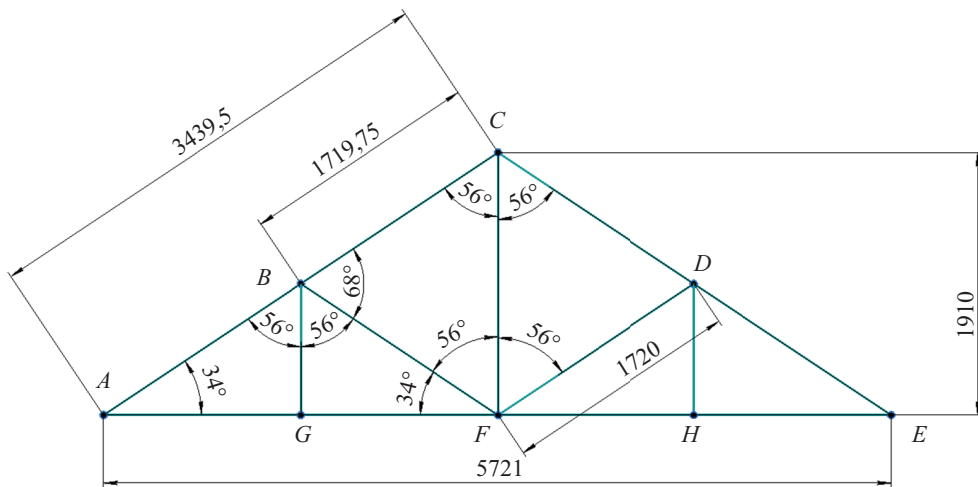


Рис. 10. Размеры стропил

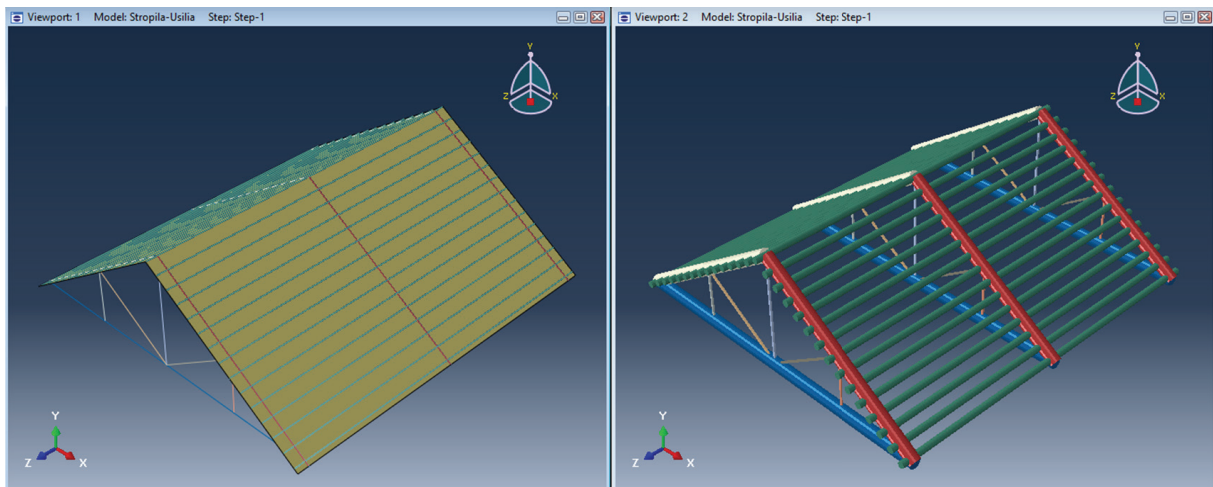


Рис. 11. Конечно-элементная модель

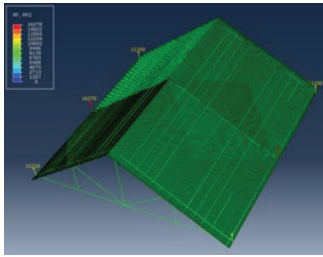


Рис. 12. Реакции в опорах

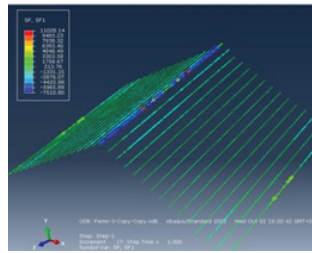


Рис. 13. Максимальная растягивающая сила на коньке $F = 11\,028,14$ Н

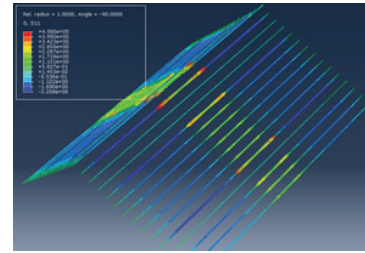


Рис. 14. Максимальные напряжения в сечении (растяжение) $\sigma = 4,5$ МПа

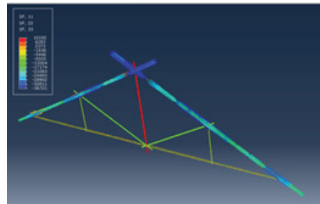


Рис. 15. Осевые силы в элементах стропильной фермы

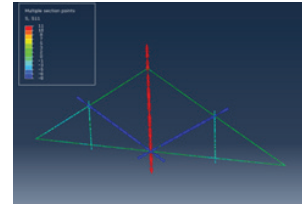


Рис. 16. Главные напряжения в сечении элементов стропильной системы

4. Размеры сечений элементов конструкции:
- стропильная нога $AC-CE$ — диаметр 205 мм;
 - стойки $BG-CF-DH$ — прямоугольный профиль 30×30 мм;
 - подкосы $BF-FD$ — прямоугольный профиль 30×30 мм;
 - нижняя перекладина AE — диаметр 200 мм.
5. Конечно-элементная модель (рис. 12–16).

Из модели видно, что самые нагруженные стропильные ноги находятся в середине крыши (рис. 12). В дальнейшем будем рассматривать только среднюю стропильную ферму (рис. 13).

1. Усилия в жердях прогона крыши (рис. 14).
Допустимые: $[\sigma] = 10$ МПа.

$\sigma < [\sigma]$ — условие прочности выполняется.
Коэффициент запаса $k = [\sigma]/\sigma = 10/4,5 = 2,22$.

2. Стропильная ферма (рис. 15, 16).

Усилия:

- стропильные ноги $AC-CE$: $N = 36\,721$ Н;
- стойка центральная CF : $N = 10\,192$ Н;
- стойка $BG-DH$: $N = 2230$ Н;
- подкос $BF-FD$: $N = 6942$ Н;
- балка AE : $N = 510$ Н.

Напряжения:

Стропильные ноги $AC-CE$: $\sigma = 3,2$ МПа.

Допустимые $[\sigma] = 10$ МПа.

$\sigma < [\sigma]$ — условие прочности выполняется.

Коэффициент запаса $k = [\sigma]/\sigma = 10/3,2 = 3,12$.

Стойка центральная CF : $\sigma = 11,3$ МПа.

Допустимые $[\sigma] = 10$ МПа.

$\sigma < [\sigma]$ — условие прочности не выполняется.

Коэффициент запаса $k = [\sigma]/\sigma = 10/11,3 = 0,88$.
Необходимо увеличение сечения, примем прямоугольное сечение вместо 30×30 мм 40×40 мм.

$\sigma = 10\,192 / (3,14 \cdot 40^2) = 6,37$ МПа.

$\sigma < [\sigma]$ — условие прочности выполняется.

Коэффициент запаса $k = [\sigma]/\sigma = 10/6,37 = 1,57$.

Стойки $BG-DH$: $\sigma = 2,5$ МПа.

Допустимые $[\sigma] = 10$ МПа.

$\sigma < [\sigma]$ — условие прочности выполняется.

Коэффициент запаса $k = [\sigma]/\sigma = 10/2,5 = 4$.

Подкос $BF-FD$: $\sigma = 7,7$ МПа.

Допустимые $[\sigma] = 10$ МПа.

$\sigma < [\sigma]$ — условие прочности выполняется.

Коэффициент запаса $k = [\sigma]/\sigma = 10/7,7 = 1,3$.

Нижняя перекладина AE : $\sigma = 1,7$ МПа.

Допустимые $[\sigma] = 10$ МПа.

$\sigma < [\sigma]$ — условие прочности выполняется.

Коэффициент запаса $k = [\sigma]/\sigma = 10/1$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лавка купцов Глухаревых — постройка, обладающая исторической ценностью, что накладывает ограничения в приспособлении и вариантах укрепления конструкций. Разработан вариант укрепления конструкций при условии восстановления потолка. Он скроет дополнительные конструкции в интерьере. С учетом этого, а также с точки зрения экономии материала, трудоемкости и технических свойств, наиболее оптимальным вариантом является совмещение стоек и подкосов (рис. 8, схема б) размерами 30×30 .

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Скворцова В.С., Частова В.Ю., Зинина О.А. Натурные исследования деревянной лавки купцов Глухаревых в г. Переславле-Залесском // Дни студенческой науки : сб. докл. науч.-техн. конф. по итогам науч.-исслед. работ студентов института строительства и архитектуры НИУ МГСУ. 2024.
2. Скворцова В.С., Частова В.Ю., Сальвиан С.М. Реконструкция лавки купцов Глухаревых в г. Переславль-Залесский // Дни студенческой науки : сб. докл. науч.-техн. конф. по итогам науч.-исслед. работ студентов института строительства и архитектуры НИУ МГСУ. 2024.
3. Bode A. Methods of the Restoration of Wooden Architectural Monuments in Russia // Proceedings of the 2019 International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations (АНТИ 2019). 2019. DOI: 10.2991/ahti-19.2019.66
4. Khodakovsky E. Wooden Church Architecture of the Russian North. Regional Schools and Traditions (14th – 19th centuries). London : Routledge, 2015. 192 p. DOI: 10.4324/9781315723181
5. Medvedeva M. The Imperial Archaeological commission (1859–1918) and cultural heritage management in Russia // Architectural Conservation and Restoration in Norway and Russia. 2017. Pp. 38–55. DOI: 10.4324/9781315276205-4
6. Коляда М.И. Памятник народного деревянного зодчества в селе Юковичи // Проблемы истории и культуры Северо-Запада РСФСР. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1977. С. 59–62.
7. Ходаковский Е.В. Деревянная церковная архитектура Русского Севера XIX – начала XX в. СПб., 2022. 799 с.
8. Haptops H. Historical timber and earthen constructions in Norway Vapour permeable surfaces — restoration challenges // 10th International Conference Diyarbakir Turkey. 2023.
9. Manara N., Rosset L., Zambelli F., Zanola A., Califano A. Natural climate reconstruction in the Norwegian stave churches through time series processing with variational autoencoders // International Journal of Building Pathology and Adaptation. 2024. Vol. 42. Issue 1. Pp. 18–34. DOI: 10.1108/ijbpa-01-2022-0017
10. Pryadko I., Lebedev I. Wood as a Material of Traditional Manor Building: Problems of Restoration, Conservation and Reconstruction // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1079. Issue 3. P. 032022. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/3/032022. EDN DLEATZ.
11. Khodakovsky E., Skjold Lexau S. Historic Wooden Architecture in Europe and Russia: Evidence, Study and Restoration. 2015. DOI: 10.1515/9783035605426
12. Partov D., Grekov P., Kantchev V., Petkov M., Nikolov R. Assessment and rehabilitation of the timber roof structure of the “Assumption of the Virgin” Church in Kustendil // Annual of the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy Sofia. 2018. Vol. 51. Issue 4. Pp. 125–138.
13. Gros A., Guillem A., De Luca L. Baillieux É., Duvocelle B., Malavergne O. et al. Faceting the post-disaster built heritage reconstruction process within the digital twin framework for Notre-Dame de Paris // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. Issue 1. DOI: 10.1038/s41598-023-32504-9
14. De Luca L. Digital Data Working Group: A n-dimensional analysis and memorisation ecosystem for the restoration of Notre-Dame // Journal of Cultural Heritage. 2022.
15. Bruseker G., Guillem A., Carboni N. Semantically Documenting Virtual Reconstruction: Building a Path to Knowledge Provenance // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2015. Vol. II-5/W3. Pp. 33–40. DOI: 10.5194/isprsannals-ii-5-w3-33-2015
16. Guillem A., Gros A., Abergel V., De Luca L. Reconstruction beyond Representation in Notre-Dame de Paris // 2023 IMEKO International Conference on Metrology for Cultural Heritage. 2023. DOI: 10.21014/tc4-ARC-2023.123
17. Кустерная М.В., Гашков И.Г., Мельников И.В., Невзицкая Т.В. Реставрация церкви Преображения Господня на острове Кижи. Петрозаводск : Издательство «Северный паломник», 2020. 160 с. EDN AGLMCT.
18. Кузнецов Т.А. Расчет балок с помощью программного комплекса «Abaqus» // Вестник ВГАВТ. 2016. № 47. С. 209–220. EDN WCAZJL.
19. Бульбович Р.В., Павлоградский В.В., Еременко П.П. Расчет напряженно-деформированного состояния тела из упругого ортотропного материала с помощью метода конечных элементов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. 2015. № 40. С. 92–105. DOI: 10.15593/2224-9982/2015.40.06. EDN TMJGMV.
20. Калонов Б.К., Саримсоқов С.Ш., Досалиев К.С. Исследования современных методов расчета деревянных конструкций в стационарном режиме // Экономика и социум. 2024. № 5–2 (120). С. 1114–1117. EDN WNAPIZ.

Поступила в редакцию 14 ноября 2024 г.

Принята в доработанном виде 13 декабря 2024 г.

Одобрена для публикации 17 декабря 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Виталина Сергеевна Скворцова** — студент; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ashasuy@yandex.ru;

Андрей Юрьевич Ушаков — кандидат технических наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; 903714@mail.ru.

Вклад авторов:

Скворцова В.С. — сбор и обработка материала, проведение исследования, написание текста статьи.

Ушаков А.Ю. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, написание исходного текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The problems of preserving wooden heritage are disclosed in many works of Russian and foreign scientists. The article by A.B. Bode considers and evaluates approaches to restoration [1–3]. E.V. Khodakovskiy, A.S. Schenkov, and M.I. Kolyada also wrote about it [4–7]. Hauke Haupts described the nature-related problems of preserving wooden heritage in Norway [8]. Noemi Manara, Lorenzo Rosset, Francesco Zambelli, Andrea Zanola presented a method for tracking microclimate variation autoencoders [9]. Scientists investigate wooden architecture in Russia and in Europe, finding ways to restore structures [10–16]. Some materials have been published about the object of the paper — the shop of the Glukharev merchants [1, 2].

MATERIALS AND METHODS

The shop of the Glukharev merchants is part of the Glukharev merchants' yard, which currently consists of a shop and a dwelling house. The courtyard is located on the territory of the historic Rybatskaya Sloboda [1]. The building under consideration is not included in the register of cultural heritage objects, but earlier the dwelling house had a protective status. The historical and cultural value of the buildings has not been disclosed, nor has an approach to the restoration and reconstruction of the sloboda objects been developed. The shop has historical-architectural and cultural values. The building has features related to the historically established trade specialization of the settlement.

The building has been preserved in its original form, and there are no later layers on the outside or inside. In this case, it is advisable to restore the building, orientated on its original appearance. According to the measurements, the bench is square in plan with sides of 5, 7 metres, the height of the bench from the ground level is approximately 4 metres. Such a construction is easy to suspend with jacks.

According to the “Principles for the Conservation of Historic Wooden Structures”, traditional woodworking techniques should be followed when dealing with wooden heritage. In addition, the replaced wood should be of the same species as the original, with the same

texture, moisture content¹. Technologies such as log length extensions, crowning, and gouges with glue joints are used [17]. These technologies are needed to preserve the greatest amount of authentic material. Extensions, crowns, inserts, and gouges are used to preserve the affected wood material. All the mentioned limitations, technologies are required to preserve both the authentic material and its appearance. However, these actions should not lead to future confusion as to what is authentic and what is material from restoration and reconstruction.

Reconstruction and adaptation allow some changes to be made to the object. For example, in order to preserve the historic appearance and interior, insulation of walls on visible surfaces is not allowed. However, it is possible to insulate the attic and the floor, but only if ventilation is ensured. Otherwise, the material will be affected by fungi and mould. Traditional methods can be used to insulate walls. Historically, walls were insulated using the caulking method. Caulking was done with jute, moss, wadding, it allowed to eliminate the gaps between the logs, increasing the insulation capacity.

Preliminary inspection of the site gave an understanding of the damage to the structures. The bench is in a severe state of disrepair. The standing seam roof has numerous damages. Some of the purlins are also affected by rot (Fig. 1–4). The middle truss on the east side has lost its load-bearing capacity. There are bioinfestations on the walls, including white house fungus on the lower crowns of the southern wall and the upper crowns of the eastern wall. The logs of the log cabin are infested with beetle. The ceiling and one of the beams have collapsed, part of one beam is damaged. The damage on the log cabin is mainly localized in the lower crowns, under the roof. The exception is the northern part of the east wall and the eastern corner of the south

¹ Principles for the conservation of historic wooden buildings. *International Council on the Conservation of Monuments and Sites : adopted by the 19th ICOMOS General Assembly in India, New Delhi, December 2017.* Moscow, Federal State Budgetary Institution of Culture “State Historical, Architectural and Ethnographic Museum-Reserve “Kizhi”, 2018.



Fig. 1. Western wall



Fig. 2. North wall



Fig. 3. East wall



Fig. 4. South wall

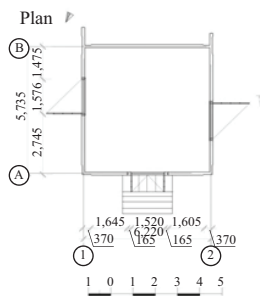


Fig. 5. Graphic reconstruction of the bench, plan 10

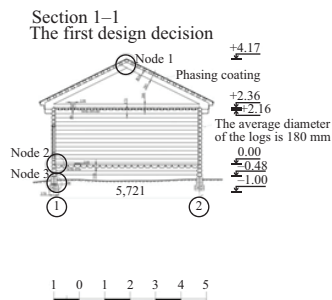


Fig. 6. Graphic reconstruction of the bench, first design solution 10

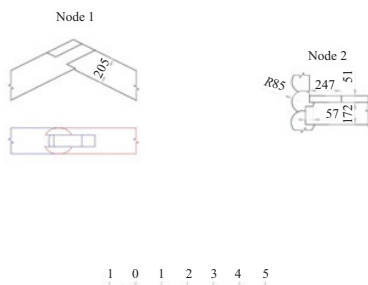


Fig. 7. Node 1 and node 2

wall, where regular leaks in the roof have destroyed the wood along the entire height. In addition, white house fungus damage to the south wall is taking over the bottom two logs. According to GOST R 70005–2022, the affected area should be removed, capturing one metre around it. Wood damaged by beetles should also be removed. If the damaged wood is replaced by mending, the log cabin may be deformed as a result. Therefore, it is necessary to resort to an extreme and undesirable method of restoration — bulkheading. Log cabin bulkheading implies disassembly of the log cabin with preliminary marking of the logs. The use of this method is a significant interference with the authenticity of the structure. When disassembling the log cabin, the logs are deformed, which may result in the loss of historical tool marks and minor changes in the geometry of the structure when reassembling it. On the other hand, when reassembling the structure, it is possible to reveal damage that cannot be detected by external inspection.

Special attention should be paid to the non-preserved storage rooms, which formed one building with the shop (Fig. 5–7). To reconstruct them, it is possible to use analogues as an example and also to use archival data, if available. In addition, it is possible to apply the method of archaeological mopping-up to reveal the geometry of the plans of the destroyed buildings.

RESULTS

So, the method of restoration has been determined — a complete reassembly of the object. The restoration project also depends on the future purpose of the bench. If it is planned to use the object for a long stay of people, it is necessary to provide thermal insulation and heating.

To ensure better load-bearing capacity of the structure hidden in the interior, it can be reinforced, but without damaging the originals. For example, it is possible to install additional structures for the truss: struts, ties, underpinnings. Such solutions are acceptable if the existing structure really does not have the necessary load-

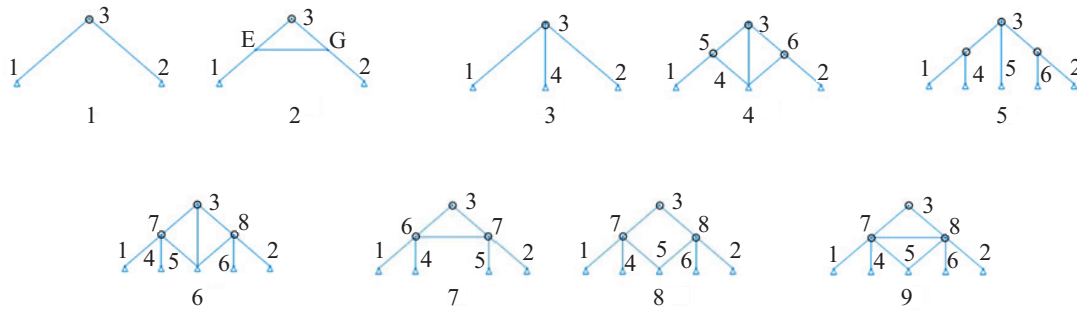


Fig. 8. Schemes of truss systems

bearing capacity in order to preserve the existing material.

Justification of the optimal method of strengthening the rafter systems of a wooden bench

1. Main types of rafter reinforcement (Fig. 8).

2. Description of design schemes of truss systems (Table).

The analysis was carried out by finite element method in the CAE Abaqus software package [18–20]:

- loads: vertical distributed load on the rafter surface — 5 N/mm;

- the aim is to reduce the transverse reactions in the supports and to distribute the vertical reactions as evenly as possible over the elements of the rafter system;

- strength and deformation characteristics are taken from the CP “Wooden structures”². The wood is pine.

3. Deformation pattern. The scale factor is significantly increased (Fig. 9).

² CP 64.13330.2017. Wooden structures. Updated edition of SNiP II-25–80.

Support reactions when using basic truss systems in the bench

Number	Node number	Vertical response	Horizontal response	Number	Node number	Vertical response	Horizontal response
1	A	23,047.41	+13,545.18	7	A	8,765.16	+13,545.18
	B	23,047.41	-13,545.18		B	8,765.16	-13,545.18
2	A	23,047.56	+21,784.41	8	G	14,283.22	+21,784.41
	B	23,047.56	-21,784.41		D	14,283.22	-21,784.41
3	A	3,862.51	-8,851.94	9	A	9,981.40	-8,851.94
	B	3,862.51	+8,851.94		B	9,980.09	+8,851.94
	G	38,373.55	-		G	11,709.75	-
4	A	10,711.66	+7,420.93	-	D	2,713.90	+7,420.93
	B	10,711.66	-7,438.14		E	11,710.58	-7,438.14
	G	24,673.77	-		A	8,982.38	-
5	A	5,849.76	+1,756.51	-	B	11,707.57	+1,756.51
	B	5,849.76	-1,755.51		G	4,716.40	-1,755.51
	G	14,367.66	-		D	11,709.40	-
	D	5,662.54	-		E	8,981.96	-
	E	14,367.66	-		-	-	-

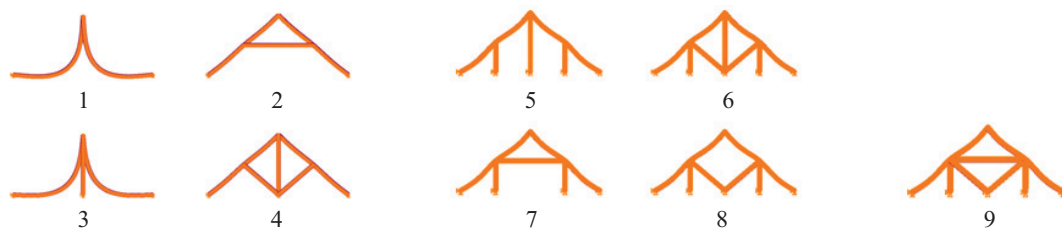


Fig. 9. Deformation pattern

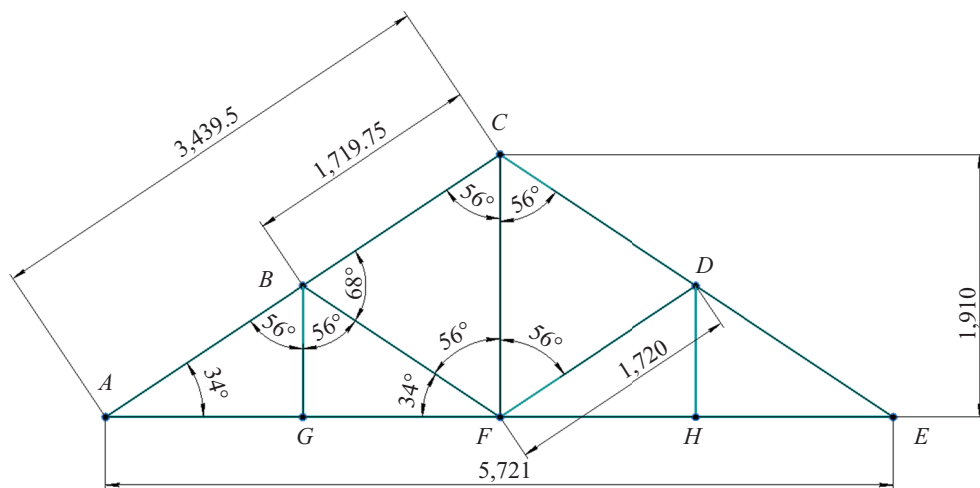


Fig. 10. Dimensions of rafters

The support reactions showed that scheme number six was the best option. It showed the best support reactions, which also fulfils the restoration requirement to preserve the interior.

Section selection

Due to the fact that this is a valuable object, the authors use old technologies and materials. The design solution remains zinc roofing on poles with trusses.

Effective loads. The snow load for snow region IV is 2.0 kN/m²: 200 kg/m² · 44,5 m² = 8,900 kg.

Load from the weight of the roof (Fig. 10):

- from 29 poles 6.13 m long with an average diameter of 0.11 m: 0.058 · 29 · 470 kg/m² = 790.54 kg;
- 44.5 m² standing seam roof: 44.5 · 0.001 × 7,850 kg/m² = 349.33 kg/m²;
- two rafters length 3.58, average diameter 0.205 m: 0.225 m³/2 · 470 kg/m³ = 211.5 kg.

The deck is calculated as a beam in a two-span scheme. The distance between the supports is equal to the purlin spacing $l = 2.9$ m.

Constant design load: 9.84.

Total full design load: 12.64.

Number of rafter systems — 3 pcs. (Fig. 11).

The load on the middle truss is equal to 40 % of the total load on the trusses: $12.64 \cdot 17.8 + 2.115 \cdot 1.2 = 227.53$ kg.

4. Dimensions of cross-sections of structural elements:

- rafter AC–CE — diameter 205 mm;
- BG–CF–DH posts — rectangular profile 30 × 30 mm;
- underpinnings BF–FD — rectangular profile 30 × 30 mm;
- bottom crossbar AE — diameter 200 mm.

5. Finite element model (Fig. 12–16).

The model shows that the most loaded rafters are located in the middle of the roof (Fig. 12). In the following we will consider only the middle truss (Fig. 13).

1. Forces in the roof purlins (Fig. 14).

Permissible: $[\sigma] = 10$ MPa.

$\sigma < [\sigma]$ — the strength condition is fulfilled.

The stock factor $k = [\sigma]/\sigma = 10/4.5 = 2.22$.

2. Rafter truss (Fig. 15, 16).

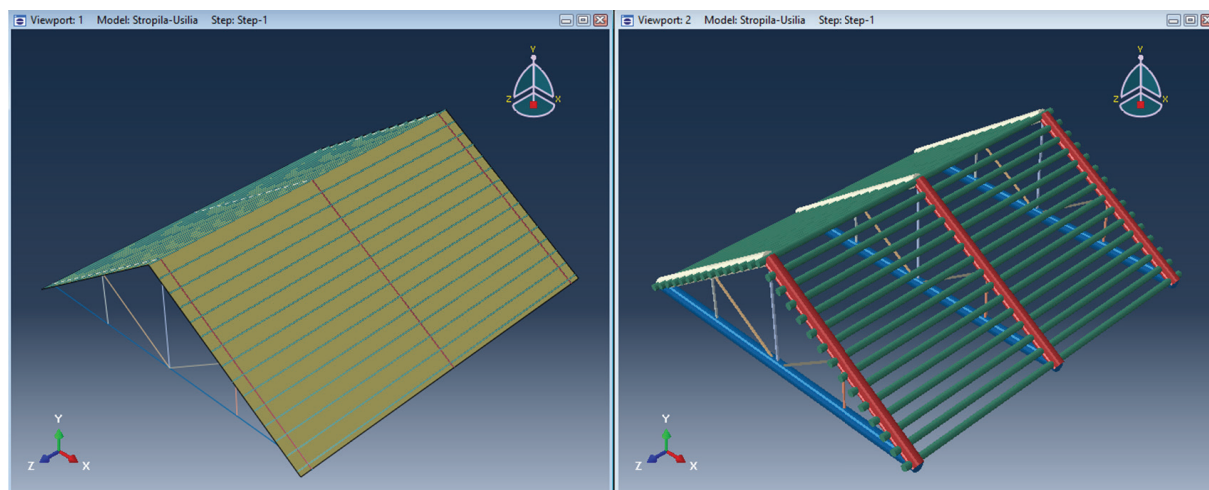


Fig. 11. Finite element model

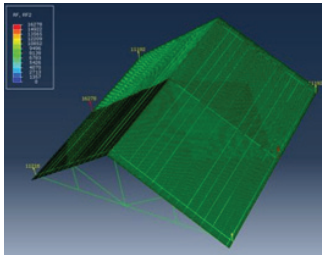


Fig. 12. Reactions in supports

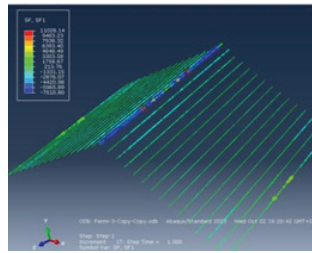


Fig. 13. Maximum tensile force at the ridge $F = 11,028.14$ H

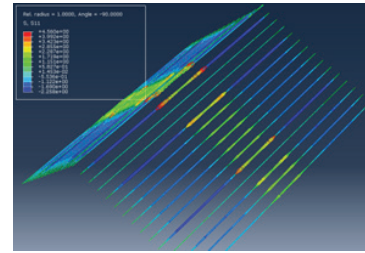


Fig. 14. Maximum stresses in section (tensile) $\sigma = 4.5$ MPa

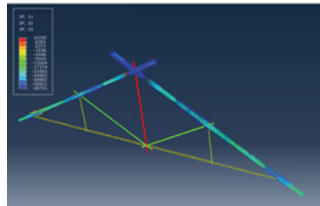


Fig. 15. Axial forces in truss elements

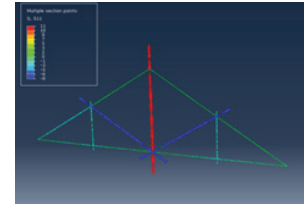


Fig. 16. Principal stresses in the cross-section of the elements of the rafter system

Forces:

- $AC-CE$ rafters: $N = 36,721$ H;
- CF centre stand: $N = 10,192$ H;
- $BG-DH$ rack: $N = 2,230$ H;
- $BF-FD$ strut: $N = 6,942$ N;
- beam AE : $N = 510$ N.

Voltages:

$AC-CE$ rafters: $\sigma = 3.2$ MPa.

Allowable $[\sigma] = 10$ MPa.

$\sigma < [\sigma]$ — the strength condition is fulfilled.

The stock factor $k = [\sigma]/\sigma = 10/3.2 = 3.12$.

Centre post SF : $\sigma = 11.3$ MPa.

Allowable $[\sigma] = 10$ MPa.

$\sigma < [\sigma]$ — the strength condition is not fulfilled.

The stock factor $k = [\sigma]/\sigma = 10/11.3 = 0.88$.

An increase in cross-section is required, adopt a rectangular cross-section instead of 30×30 mm 40×40 mm.

$\sigma = 10,192/(3.14 \cdot 40^2) = 6.37$ MPa.

$\sigma < [\sigma]$ — the strength condition is fulfilled.

The stock factor $k = [\sigma]/\sigma = 10/6.37 = 1.57$.

$BG-DH$ props: $\sigma = 2.5$ MPa.

Allowable $[\sigma] = 10$ MPa.

$\sigma < [\sigma]$ — the strength condition is fulfilled.

Stock factor $k = [\sigma]/\sigma = 10/2.5 = 4$.

$BF-FD$ strut: $\sigma = 7.7$ MPa.

Allowable $[\sigma] = 10$ MPa.

$\sigma < [\sigma]$ — the strength condition is fulfilled.

Stock factor $k = [\sigma]/\sigma = 10/7.7 = 1.3$.

Lower crossbar AE : $\sigma = 1.7$ MPa.

Allowable $[\sigma] = 10$ MPa.

$\sigma < [\sigma]$ — the strength condition is fulfilled.

Stock factor $k = [\sigma]/\sigma = 10/1$.

CONCLUSION

The shop of the Glukharev merchants is a building of historical value, which imposes limitations in adaptation and options for structural reinforcement. A variant of structural reinforcement has been developed, provided the ceiling is restored. It will hide additional structures in the interior. Taking this into account, as well as from the point of view of material saving, labour intensity and technical properties, the most optimal variant is the combination of struts and underpinnings (Fig. 8, sch. 6) with dimensions 30×30 .

REFERENCES

1. Skvortsova V.S., Chastova V.Yu., Zinina O.A. Full-scale studies of the wooden shop of the Glukharev merchants in Pereslavl-Zalessky. *Days of Student Science : collection of reports of the scientific and technical conference on the results of research works by students of the Institute of Construction and Architecture of the National Research University MGSU*. 2024. (rus.).
2. Skvortsova V.S., Chastova V.Yu., Salviyan S.M. Reconstruction of the Glukharev merchants' shop in Pereslavl-Zalessky. *Days of Student Science : collection of reports of the scientific and technical conference on the results of research works by students of the Institute of Construction and Architecture of the National Research University MGSU*. 2024. (rus.).

3. Bode A. Methods of the Restoration of Wooden Architectural Monuments in Russia. *Proceedings of the 2019 International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations (AHTI 2019)*. 2019. DOI: 10.2991/ahti-19.2019.66
4. Khodakovskiy E. Wooden Church Architecture of the Russian North. *Regional Schools and Traditions (14th – 19th centuries)*. London, Routledge, 2015; 192. DOI: 10.4324/9781315723181
5. Medvedeva M. The Imperial Archaeological commission (1859–1918) and cultural heritage management in Russia. *Architectural Conservation and Restoration in Norway and Russia*. 2017; 38-55. DOI: 10.4324/9781315276205-4
6. Kolyada M.I. Monument of folk wooden architecture in the village of Yuksovichi. *Problems of the history and culture of the North-West of the RSFSR*. Leningrad, Publishing house of Leningrad University, 1977; 59-62. (rus.).
7. Khodakovskiy E.V. *Wooden church architecture of the Russian North in 19th – early 20th century*. St. Petersburg, 2022; 799. (rus.).
8. Haupt H. Historical timber and earthen constructions in Norway Vapour permeable surfaces — restoration challenges. *10th International Conference Diyarbakır Turkey*. 2023
9. Manara N., Rosset L., Zambelli F., Zanola A., Califano A. Natural climate reconstruction in the Norwegian stave churches through time series processing with variational autoencoders. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. 2024; 42(1):18-34. DOI: 10.1108/ijbpa-01-2022-0017
10. Pryadko I., Lebedev I. Wood as a Material of Traditional Manor Building: Problems of Restoration, Conservation and Reconstruction. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*. 2021; 1079(3):032022. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/3/032022. EDN DLEATZ.
11. Khodakovskiy E., Skjold Lexau S. *Historic Wooden Architecture in Europe and Russia: Evidence, Study and Restoration*. 2015. DOI: 10.1515/9783-035605426
12. Partov D., Grekov P., Kantchev V., Petkov M., Nikolov R. Assessment and rehabilitation of the timber roof structure of the “Assumption of the Virgin” Church in Kustendil. *Annual of the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy Sofia*. 2018; 51(4):125-138.
13. Gros A., Guillem A., De Luca L. Baillieul É., Duvocelle B., Malavergne O. et al. Facing the post-disaster built heritage reconstruction process within the digital twin framework for Notre-Dame de Paris. *Scientific Reports*. 2023; 13(1). DOI: 10.1038/s41598-023-32504-9
14. De Luca L. Digital Data Working Group: A n-dimensional analysis and memorisation ecosystem for the restoration of Notre-Dame. *Journal of Cultural Heritage*. 2022.
15. Bruseker G., Guillem A., Carboni N. Semantically Documenting Virtual Reconstruction: Building a Path to Knowledge Provenance. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2015; II-5/W3:33-40. DOI: 10.5194/isprsannals-ii-5-w3-33-2015
16. Guillem A., Gros A., Abergel V., De Luca L. Reconstruction beyond Representation in Notre-Dame de Paris. *2023 IMEKO International Conference on Metrology for Cultural Heritage*. 2023. DOI: 10.21014/tc4-ARC-2023.123
17. Kisternaya M.V., Gashkov I.G., Melnikov I.V., Nezvitkaya T.V. *Restoration of the Church of the Transfiguration of the Lord on Kizhi Island*. Petrozavodsk, Severny Palomnik Publishing House, 2020; 160. EDN AGLMCT. (rus.).
18. Kuznetsova T.A. Beams analysis using “Abaqus” software package. *Vestnik VGAVT*. 2016; 47:209-220. EDN WCAZJL. (rus.).
19. Bulbovich R.V., Pavlogradskiy V.V., Eremenko P.P. The calculation of the stress-strain state of elastic orthotropic body by finite element method. *PNRPU Aerospace Engineering Bulletin*. 2015; 40:92-105. DOI: 10.15593/2224-9982/2015.40.06. EDN TMJGMV. (rus.).
20. Kalonav B.Q., Sarimsoqov S.Sh., Dosaliyev K.S. Study of modern methods for calculating wooden structures in a steady-state regime. *Economy and Society*. 2024; 5-2(120):1114-1117. EDN WNAPIZ. (rus.).

Received November 14, 2024.

Adopted in revised form on December 13, 2024.

Approved for publication on December 17, 2024.

BIONOTES: Vitalina S. Skvortsova — student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ashasuy@yandex.ru;

Andrey Yu. Ushakov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metal and Wooden Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; 903714@mail.ru.

Contribution of the authors:

Vitalina S. Skvortsova — collection and processing of the material, conducting the research, writing the text of the article.

Andrey Yu. Ushakov — scientific management, research concept, development of the methodology, writing the source text.

The authors declare no conflict of interest.