



Research Article

Received: June 02, 2022

Accepted: July 05, 2022

Published: July 06, 2022

ISSN 2304-6295

Renovation of the "Hydro Tower with Laboratories" building at the Polytechnic University adapt for the museum

Gravit, Marina V.

Tsepova, Alla S. ^{1*} Kirik, Ekaterina S. ²

¹ Peter the Great St Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russian Federation; marina.gravit@mail.ru (G.M.V.); allatsepova@mail.ru (T.A.S.)

² Institute for Computational Modelling, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation; kirik@icm.krasn.ru

Correspondence: * email marina.gravit@mail.ru; contact phone [+79219126407](tel:+79219126407)

Key words:

Fire safety; Historic building; Renovation; Water tower; Fire hazards; Evacuation modelling; Special specifications; Fire protection measures

Abstract:

The object of research is the non-compliance of the requirements of the legislation on protection of cultural heritage objects with fire safety regulations in the reconstruction of historical industrial monuments with a change of intended use by the example of the water tower. A retrospective functional concept for the adaptation of the Hydro Tower with a laboratory building, included in the list of cultural heritage objects of the Committee for State Control, Use and Protection of Monuments of History and Culture of St. Petersburg as the "St. Petersburg Polytechnic Institute of Emperor Peter the Great", as a museum has been developed. The necessity of development of special technical specifications on fire safety in connection with the lack of requirements to ensure safety of the reconstructed buildings-monuments is shown. The system of ensuring fire safety of the historical building is presented. **Method** of simulation of evacuation and fire hazards establishes the necessity of applying special technical specifications on fire safety in order to ensure safe and unobstructed evacuation. **Results.** The practical significance of this research lies in the development of the fire safety system, including a set of volume-planning solutions and special technical conditions of fire safety as well as preliminary cost; it also assumes a possibility of application during complex estimation of the reconstruction of historical structures - water towers with adaptation for a museum in realization of the conception of the objects of cultural heritage preservation; it also promotes the analytical base accumulation for creation of normative.

1 Introduction / Введение

Культурное наследие, историческая архитектурная среда города формирует мировосприятие человека посредством осознания исторических процессов развития, способствует идентификации себя в окружающем мире. Сохранение зданий и сооружений – объектов культурного наследия (далее – ОКН) путем реконструкции и приспособления под современное использование содействует развитию инфраструктуры и туризма, повышению комфортабельности и безопасности. Сложность обеспечения пожарной безопасности заключается в неоднозначности требований и отсутствии стандартов и регламентов, учитывающих особенности исторических объемно-планировочных решений и устанавливающих требования к противопожарной защите ОКН, адаптированных под современную эксплуатацию, например, в качестве музея [1–7].

Gravit, M., Tsepova, A., Kirik, E.

Renovation of the "Hydro Tower with Laboratories" building at the Polytechnic University adapt for the museum; 2022; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **101** Article No 10104. doi: 10.4123/CUBS.101.4

Особенную нишу среди приспособления исторических зданий и сооружений к современной эксплуатации в мировой практике занимает реконструкция индустриальных памятников культуры - водонапорных башен (гидробашен), ввиду своей формы и ограниченности полезной площади.

Объекты культурного наследия в России охраняются комитетом по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры (далее - КГИОП). Охранные обязательства несут собственники и арендаторы здания, которые обязаны соблюдать целостность предметов охраны. Как правило, не предоставляется возможным выполнить дополнительные проемы для успешной эвакуации в исторических стенах, нельзя видоизменять конфигурации и ширину коридоров в пределах несущих конструкций и т.д.

Для объектов ОКН необходима разработка специальных технических условий (далее – СТУ) по пожарной безопасности, которые объединяют требования сохранности объекта и мероприятия по обеспечению пожарной безопасности в дополнении к [1–7], что увеличивает срок проектирования и согласование в государственных органах Российской Федерации.

Систематизацию объектов ОКН возможно проводить по следующим характерным признакам: историческое функциональное назначение, объемно-планировочные решения, перечень предметов охраны, которые влияют на результат эвакуации и распространения опасных факторов пожара (далее – ОФП). При этом типовых проектов СТУ с перечнем рекомендуемых противопожарных мероприятий не существует, в связи, с уникальностью подобного рода объектов.

Актуальность проблемы подтверждается отсутствием исследований в области пожарной безопасности по формированию унифицирующих мероприятий системы обеспечения противопожарной безопасности в СТУ для объектов ОКН – водонапорных башен, адаптированных для различного функционального назначения при сохранении ретроспективной концепции и обеспечения безопасности в историческом здании. Разработка типовых мероприятий СТУ в отношении исторических башен позволит ускорить процесс проектирования и облегчить процедуру согласования в государственных органах Российской Федерации.

Примеры адаптации к современной эксплуатации гидробашен с изменением функционального назначения существуют во многих странах, и основными направлениями реновации являются сохранение исторической памяти и повышение туристической привлекательности.

Рассмотрим некоторые примеры реконструированных башен, функционально-ориентированных на различные целевые аудитории.

Водонапорные кирпичные башни в Гродно (Беларусь), 1890 - 1910 г., стиль «эkleктика», высота 22 м (Рис.1). После реконструкции в 2001 г.-художественные мастерские [8].

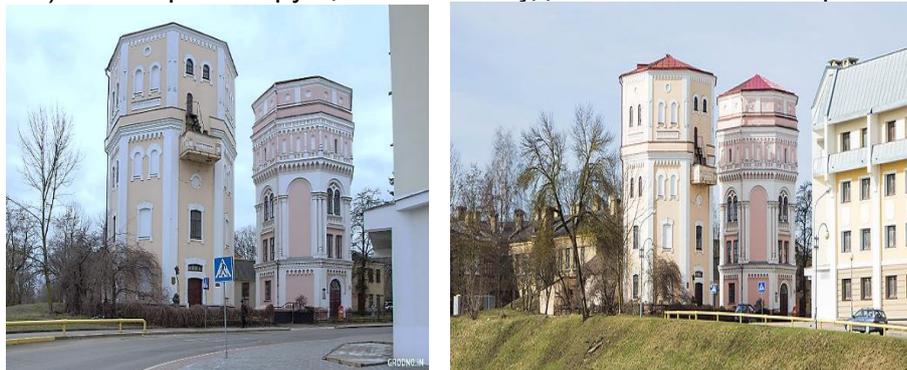


Рис.1 - Водонапорные башни в Гродно, Беларусь. Реновация под художественные мастерские. Бизнес-портал Grodno.in. Фотографии приводятся с разрешения правообладателя.

Fig.1 - Water towers in Grodno, Belarus. Renovation under art workshops. Business portal Grodno.in. The photos are provided with the permission of the copyright holder.

Башня для снабжения водой деревни Стеннокерзеель (Бельгия), 1941 г., высота 30 м. Реконструирована в 2009 г. под жилой односемейный дом [9].

Реконструкция башни на металлической опорной конструкции в Касл-Акр (Великобритания), проект бюро Tonkin Liu Architects (Лондон, Великобритания) для устройства загородного дома. На верхнем - четвертом этаже размещена кухня и обеденный зал [10].

Башня в Гамбурге (Германия), 1910 г., проект Вильгельма Шварца, высота 60 м, радиус 25 м. Реконструирована в 2008 г. под гостиничный комплекс, в котором размещается ресторан, отель, подземный тоннель с эскалатором [11].

Приспособление башни под студенческое общежитие в городе Егерсборге (Дания), проект компании Dorte Mandrup Arkitekter ApS (Копенгаген, Дания) и реализован в 2006 году [12].

Водонапорная башня с пристройкой в Томске (Россия), 1895 г., высота 23 м, в плане – восемь граней. Реконструирована под жилой дом. Этажи с четвертого по шестой являются жилыми. (Рис.2) [13].



Рис.2 - Водонапорная башня в Томске, Российская Федерация. Реновация под жилой дом. <http://instagram.com/lunev83>, <https://lunev.livejournal.com/>. Фотографии приводятся с разрешения правообладателя.

Fig.2 - A tower in Tomsk, Russian Federation. Renovation as a residential house. <http://instagram.com/lunev83>, <https://lunev.livejournal.com/>. The photos are provided with the permission of the copyright holder.

Здание с водоподъемной башней и электростанцией, 1899 г., проект архитектора Ф. Ф. Лумберга на территории Обуховского сталелитейного завода, стиль «эkleктика» (Рис.3). В результате реконструкции, проведенной в 2003 г., в здании находятся административные помещения [14].

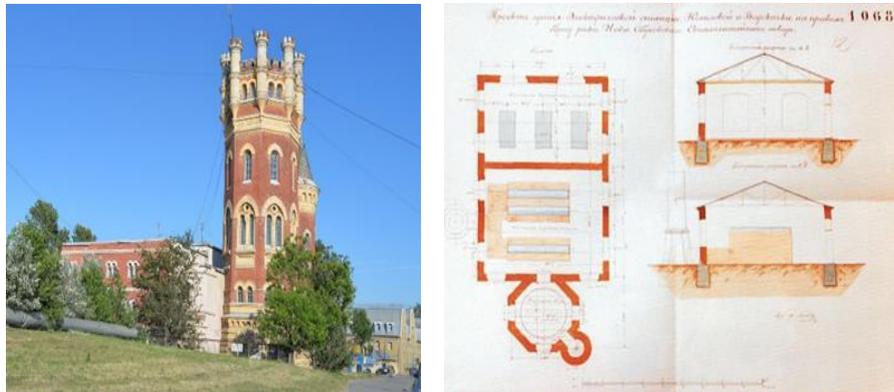


Рис.3 - Башня Обуховского завода в Санкт-Петербурге, Российская Федерация. Реновация под административное здание. <https://www.citywalls.ru/house1414.html>. Фотографии приводятся с разрешения правообладателя.

Fig.3 - The tower of the Obukhov Factory. Saint Petersburg, Russian Federation. Renovation as an administrative building <https://www.citywalls.ru/house1414.html>. The photos are provided with the permission of the copyright holder.

Наиболее часто встречающимся функциональным назначением водонапорных башен после реконструкции является музей.

Башни-музеи имеют свои характерные черты: минимальное вмешательство современных концепций, очистка от поздних наслоений отделочных слоев, демонтаж конструкций, не являющихся предметами охраны, максимальное воссоздание исторической обстановки, большой процент реставрационных работ (по сравнению с другими типами функционального назначения). Примерами применения башен как объектов музея служат представленные далее здания (Рис.4 - 7).

Gravit, M., Tsepova, A., Kirik, E.

Renovation of the "Hydro Tower with Laboratories" building at the Polytechnic University adapt for the museum; 2022; *Construction of Unique Buildings and Structures*; 101 Article No 10104. doi: 10.4123/CUBS.101.4

Водонапорная башня Главной водопроводной станции в Санкт-Петербурге (Россия), 1861 г., проект Э.Г. Шуберского и И.А. Мерца. Реконструирована в 2001 - 2002 гг. под «Музей Воды ГУП Водоканал». По проекту пожарную лестницу и второй лифт перенесли в отдельную пристройку (Рис.4) [15].

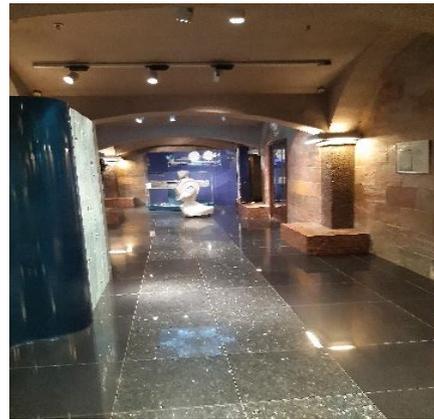


Рис.4 - Водонапорная башня Главной водопроводной станции в Санкт-Петербурге, Российская Федерация. Реновация под музей. Фото авторов.

Fig.4 - The Water Tower of the Main Waterworks. Saint Petersburg, Russian Federation. Renovation as a museum. Photo by the authors.

Башня в Екатеринбурге (Россия), 1891 г. — железнодорожные мастерские; с 1995 г. — филиал Музея истории Екатеринбурга. Реконструкция - в 2018 г., на первом этаже - сувенирная лавка, гостевая зона и кофейня, на втором этаже — музейная выставка истории башни (Рис.5) [16].



Рис.5 - Водонапорная башня в Екатеринбурге, Российская Федерация. Реновация под музей. <http://tower-ekb.ru/#about> и фото авторов. Фотографии приводятся с разрешения правообладателя.

Fig.5 - Water tower in Yekaterinburg, Russian Federation. Renovation as a museum. <http://tower-ekb.ru/#about> and photo by the authors. The photos are provided with the permission of the copyright holder.

Водонапорная башня во Владимире (Россия), 1868 г., «неорусский» стиль, проект Карла Дилля. В плане имеет форму цистерны и состоит из трех ярусов. С 1975 г. в башне размещается экспозиция «Старый Владимир» [17].

Башня города Белорецка (Россия), 1916 г., высота 18 м, бак емкостью 75 м³, немецкий проект Торгового дома «Воган и К». Сложена из красного кирпича, увенчана многогранной бревенчатой надстройкой с окнами (бельведер) и смотровой площадкой. Реконструирована в 2012 г. [18].

Водонапорная башня в Старой Руссе (Россия), 1909 г., высота со шпилем – 41 м. В 2019 г. проведена реставрация и реконструкция башни с восстановлением четвертого яруса башни (Рис.6). Установлена лестница для подъема туристов на смотровую площадку музея [19].

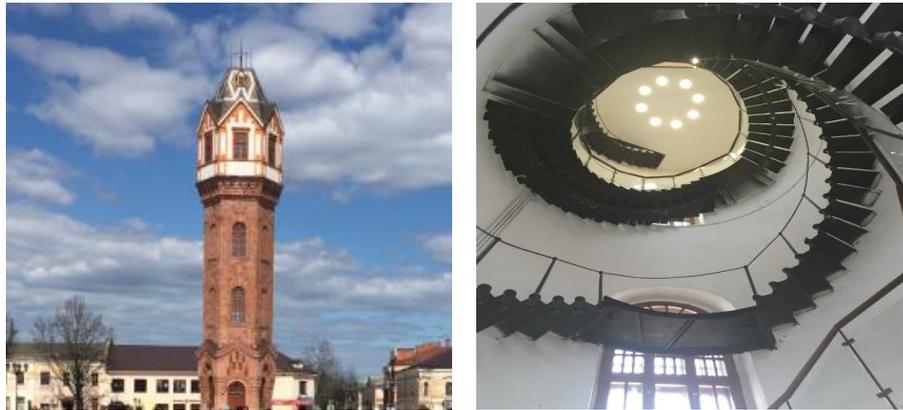


Рис.6 - Водонапорная башня в Старой Руссе, Российская Федерация. Реновация под музей. Фото авторов

Fig.6 - The water tower in Staraya Russa, Russian Federation. Renovation as a museum. Photo by the authors

Водонапорная башня в Кронштадте (Россия), 1839 г., стиль «классицизм», проект военных инженеров Татаринова и Лебедева В.П. С 1991 г. осуществляет функцию Музея истории Кронштадта [20].

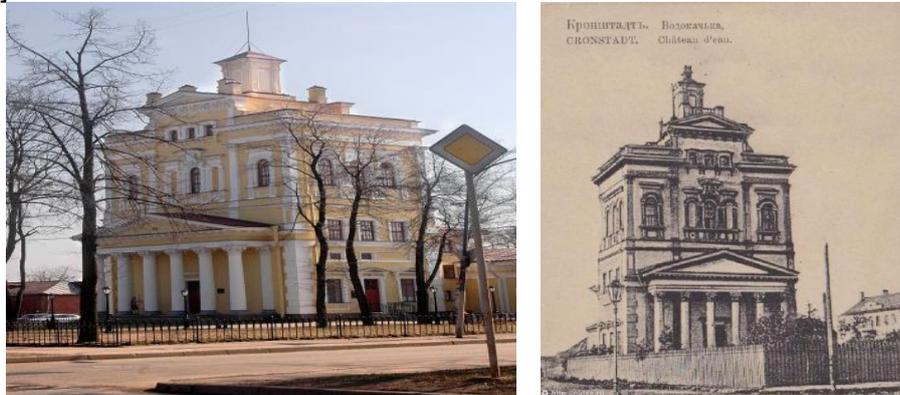


Рис. 7 - Водонапорная башня в Кронштадте, Российская Федерация. Реновация под музей. <https://www.citywalls.ru/house19703.html>. Фотографии приводятся с разрешения правообладателя.

Fig.7 - Water tower in Kronstadt, Russian Federation. Renovation as a museum. <https://www.citywalls.ru/house19703.html>. The photos are provided with the permission of the copyright holder.

Представленные примеры реконструкции водонапорных башен и работы [21–24] демонстрируют активную интеграцию исторических индустриальных объектов в современную среду со сменой функционального назначения. Башни характеризуются локализацией большого количества пожарной нагрузки на первом и втором этажах (выставочные и экспозиционные залы); постоянным пребыванием людей в помещениях, расположенных на высоте, в которых отсутствует второй эвакуационный выход; путь эвакуации из помещений смотровых площадок увеличен за счет винтовой конструкции лестниц; отсутствие возможности деления здания на пожарные отсеки способствует беспрепятственному распространению опасных факторов пожара по всему объему башни. Объемно-планировочные решения в границах несущих конструкций не соответствуют требованиям [1–7], так как являются предметами охраны и не подлежат изменениям, ввиду чего пожарная безопасность обеспечивается инженерными системами и техническими средствами, а также комплексом мероприятий с использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания, разработанных в СТУ.

Наличие общих архитектурно-конструктивных решений водонапорных башен создает предпосылки к разработке типовых решений СТУ, эффективность которых подтверждается применением расчетов устойчивости конструкций стен, моделированием развития пожара и эвакуации.

Таким образом, при реконструкции и адаптации для различного функционального назначения объектов культурного наследия ставится две задачи – обеспечить безопасные

условия для посетителей объекта и при этом не повредить предметы охраны. В данном исследовании показано, что применение численного моделирования позволяет принимать обоснованные решения по изменению архитектурного облика и функционального назначения, и в тоже время обеспечить безопасность людей при эвакуации в случае пожара.

Цель данного исследования - разработка концепции системы обеспечения противопожарной безопасности объекта культурного наследия, водонапорной башни, на примере исторического здания гидробашни с гидравлической лабораторией, входящей в состав объекта культурного наследия «Институт Санкт-Петербургский Политехнический императора Петра Великого» (Санкт-Петербург, Россия), под реализацию приспособления объекта в качестве музея.

Решены следующие задачи:

1. разработка функциональной и безопасной ретроспективной концепции помещений музея в рамках исторической планировочной композиционной схемы здания (с определением оптимальных объемно-планировочных решений);
2. проверка прочности кирпичной кладки несущих стен;
3. анализ обеспечения безопасных условий эвакуации при пожаре путем моделирования распространения ОФП и эвакуации в рамках исторической планировочной схемы здания;
4. разработка противопожарных мероприятий, направленных на снижение индивидуального пожарного риска (в том числе разработка концепции специальных технических условий);
5. предварительная оценка стоимости проекта реконструкции здания под музей.

2 Materials and Methods / Материалы и Методы

2.1 Общие данные об объекте защиты

Гидробашня с лабораториями, расположенная на Политехнической ул., дом 29, литера О, входит в состав объекта культурного наследия федерального значения (далее ОКН) «Институт Санкт-Петербургский Политехнический императора Петра Великого» (Рис.8).



Рис. 8 - План границ территории объекта культурного объекта
Fig. 8 - Site boundary plan of the cultural site

Здание включает в себя три постройки, выполненные в двух разных исторических временных периодах.

Водонапорная башня Политехнического института возведена в 1905 г архитектурной мастерской под руководством Э.Ф. Вирриха, И.В. Падлевского и В.П. Тавлинова. Восьмигранная башня высотой 40 м венчается деревянной надстройкой, в которой располагается металлический бак, объемом 600 куб.м. Подъем осуществляется по винтовой лестнице и завершается смотровой площадкой (Рис.9).

В 1905 г под руководством И.Г. Есьмана к башне пристроено одноэтажное сооружение (гидравлическая лаборатория) для научно-исследовательских работ и испытаний.

В 1931 г под руководством профессора Н.Н. Павловского построена гидротехническая лаборатория института - двухэтажная пристройка.

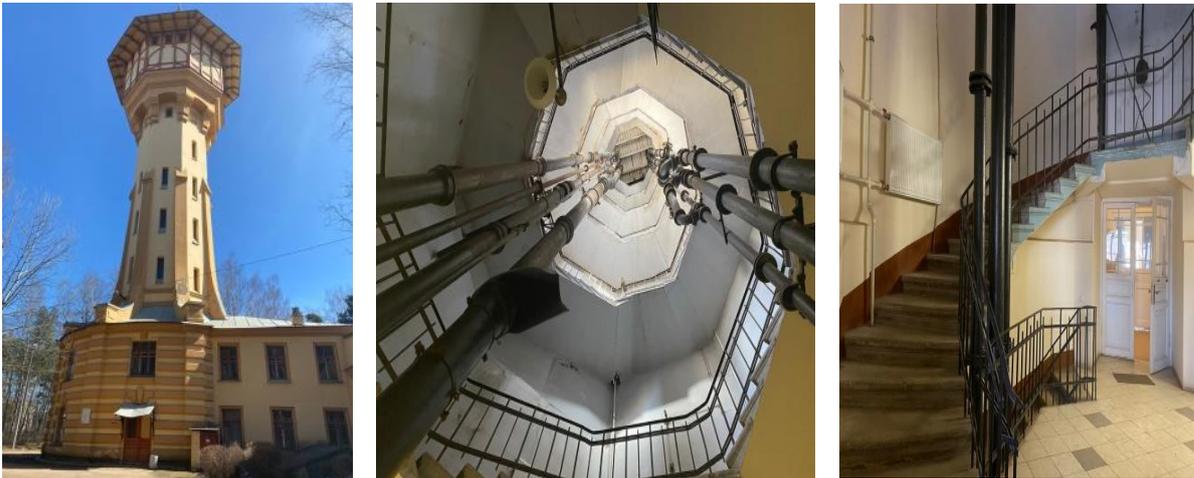


Рис. 9 - Гидробашня Политехнического университета. Санкт-Петербург, Россия. Фото авторов
Fig. 9 - The Hydro Tower of the Polytechnical University. St. Petersburg, Russia. Photo by the authors

В 2005 г проведена реставрация башни и фасада. В настоящее время в двухэтажной пристройке располагается научный центр цифровых разработок FabLab Политех.

Предметами охраны в здании являются: конфигурация здания, габариты, высотные отметки и форма кровли (двускатная), перекрытие башни и ее кровля (форма, материал, контрфорсы), внешние и внутренние несущие кирпичные стены; высотные отметки перекрытий, конструктивное решение бассейна, металлические фермы перекрытия, остекление и световой фонарь лаборатории, лестничная клетка башни (марши, поручни, ограждения маршей, габариты ступеней, водонапорные трубы и бак, а также их материалы); лестничная клетка пристроенного объема, конструктивная схема (балочно-стоечная) лаборатории; объемно-планировочное решение в габаритах несущих конструкций; архитектурно-художественное решение фасадов; оконные и дверные проемы, дверные фрамуги башни (деревянные остекленные) (Рис.10).

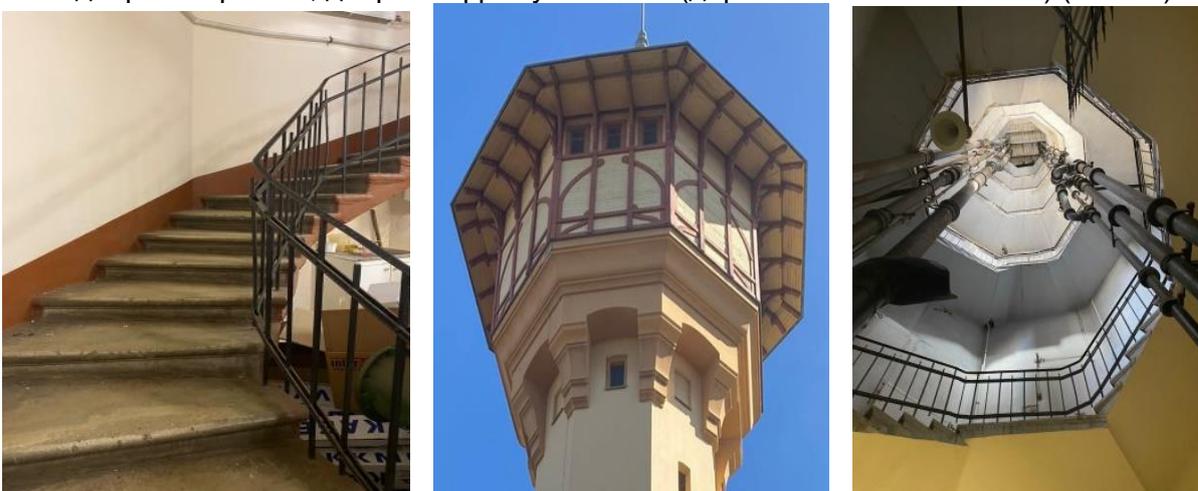


Рис. 10 - Предметы охраны объекта культурного наследия
Fig. 10 - Objects of protection of the cultural heritage site

В результате анализа исторических планов гидробашни, заключения историко-культурной экспертизы (далее — Акт ГИКЭ) [25] и визуального осмотра помещений здания в проекте предусматривается очистка от поздних наслоений отделочных покрытий, демонтаж поздних перегородок, максимальное стремление сохранить исторические внутренние очертания помещений — трапеций («лучей» башни) и имеющиеся проемы.

В данном исследовании рассматривается башня с гидравлической лабораторией.

Основываясь на мировом опыте реконструкций ОКН, требованиях [1–7] и Акта ГИКЭ [25], в проекте разработаны объемно-планировочные и конструктивные решения, и приняты следующие классификационные характеристики [2] и учтены при моделировании процесса эвакуации и распространения ОФП:

Класс функциональной пожарной опасности – Ф 2.2 (музеи).

Gravit, M., Tsepova, A., Kirik, E.

Renovation of the "Hydro Tower with Laboratories" building at the Polytechnic University adapt for the museum; 2022; *Construction of Unique Buildings and Structures*; 101 Article No 10104. doi: 10.4123/CUBS.101.4



Степень огнестойкости здания – II.

Класс конструктивной пожарной опасности – С0.

Пожарный отсек – один (ПО1).

2.2 Объемно-планировочные решения

Разработаны объемно-планировочные решения в концепции «гидробашня – музей» и представлены на схемах (Рис. 11), ведомость помещений приведена в Таблице 1. Курсивом в таблице обозначено функциональное назначение до реконструкции.

Конфигурация чердака, помещения с баком для воды, а также смотровая площадка не изменяются. В таблице приняты следующие обозначения: МГН – маломобильные группы населения, в том числе, перемещающиеся на колясках; ЛК – лестничная клетка; С/у – санитарный узел.

Таблица 1. Объемно-планировочные решения
Table 1. Space planning solutions

№ п/п	Этаж	Наименование помещений проекта	Площадь, м ²		Номер на схеме
			Башня	Лаборатория	
1	1, 2	Экспозиционные помещения для постоянной экспозиции (с сувенирной лавкой) <i>Учебные помещения</i>	93,3	634,5	1
2	1, 2	Подсобные при выставочных помещениях <i>Гидравлическая лаборатория</i>		45,6	2
3	1	Помещение фондохранилища (прием и обработка экспонатов) <i>Гидравлическая лаборатория</i>		31,5	3
4	1	Вестибюль <i>Вход с тамбуром</i>	10,5		4
5	1	Билетная касса <i>Учебный кабинет</i>	12		5
6	1	Гардероб <i>Учебный кабинет</i>	30		6
7	1	Кабинет заведующего <i>Учебный кабинет</i>	12		7
8	1	Комната персонала и экскурсоводов <i>Учебный кабинет</i>	12,4		8
9	2	Помещение с вендинговыми аппаратами и комнатой приема пищи персонала <i>Учебный кабинет</i>		18,2	9
10	1, 2	Помещение уборочного инвентаря (далее — ПУИ) <i>Учебный кабинет</i>		12	10
11	1	С/у для посетителей (мужской) <i>Учебный кабинет</i>	12,9		11
12	1	С/у для посетителей (женский) <i>Учебный кабинет</i>	13,7		12
13	1	С/у универсальный (для МГН и матери с ребенком) <i>Учебный кабинет</i>		12,4	13
14	2	С/у универсальный с зоной безопасности МГН <i>Учебный кабинет</i>		12,4	14
15	1	С/у для персонала (женский, мужской) <i>Учебный кабинет</i>		10,4	15

16	1,2	Холл <i>С/у и коридор</i>	21	20,7	16
17	1,2	Площадка ЛК первого и второго этажей <i>Площадка ЛК</i>	25		17
18	1,2	Подъемник для МГН <i>Учебный кабинет</i>		5,12	18
		Итого, площадь:	242,8	803,82	
		Итого, площадь:	1046,62		
		Наименование существующих помещений			
19		Чердак <i>Чердак</i>		18,4	
20		Надстройка с баком <i>Надстройка с баком</i>		99,9	
21		Смотровая площадка <i>Смотровая площадка</i>		11,4	
		Итого, площадь существующих помещений:		129,7	
		Итого, площадь объекта:		1176	

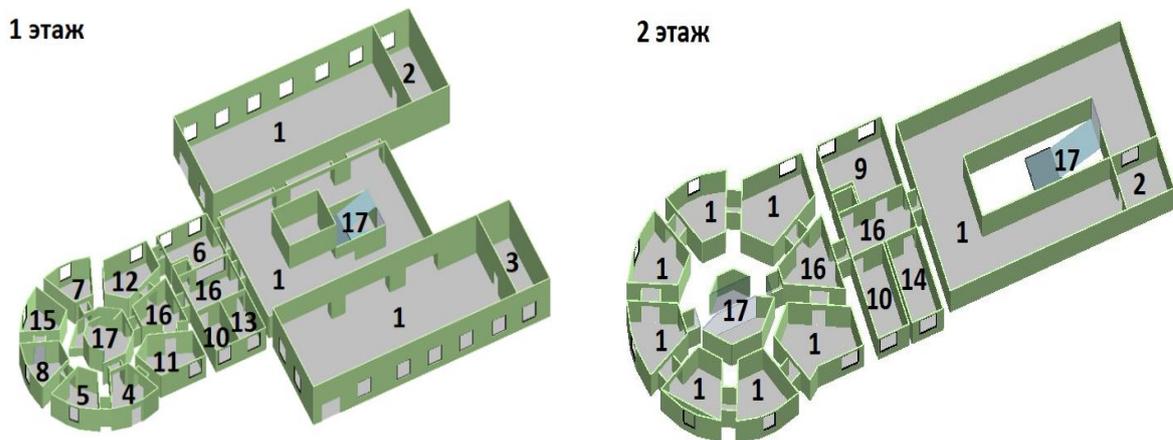


Рис.11 - Объемно-планировочные решения первого и второго этажей здания
Fig.11 - Space-planning solutions for the first and first floor of the building

2.3 Конструктивные решения

Для обеспечения безопасности здания с учетом охранного обязательства и опыта проведения реконструкций, авторами приняты следующие конструктивные решения:

- перекрытие первого этажа пристройки выполняется из железобетона (бетон класса В25), толщиной 200 мм, с сохранением исторических высотных отметок (существующее перекрытие не является предметом охраны; замена существующего перекрытия выполняется ввиду увеличения силовых нагрузок на него при смене функционального назначения, а также для выполнения шахты систем дымоудаления и компенсации воздуха и устройства подъемника для МГН);
- вентиляционные шахты противодымной и общеобменной вентиляции локализуются вблизи ПУИ и универсального санузла (на плане модели условно не показаны);
- историческое перекрытие чердачного этажа деревянное с покрытием антипиренами и биозащитой;
- покрытие антипиренами и биозащитой изнутри деревянной венчающей надстройки;
- заполнение дверных проемов деревянными дверями с устройством доведения в помещениях башни;
- заполнение дверных проемов противопожарными дверями (устройство противопожарных «отсечек») с устройством доведения в несущих стенах, разделяющих башню от лаборатории (заполнения дверных проемов не являются предметами охраны);

- высота дверных проемов «в свету» не менее 2,2 метра без изменения габаритов исторического проема;
- расположение оборудования и прочих выступающих элементов инженерных сетей на высоте не менее 2 м от пола, лестничных площадок и маршей на путях эвакуации;
- устройство в пристройке (которая не является предметом охраны) шахты для подъемника МГН и зоны безопасности для обеспечения доступа МГН не выше второго этажа;
- замена конструкции и остекления светового фонаря с сохранением исторических габаритов, формы и площади остекления (для повышения прочностных характеристик и устройства автоматического открывания при пожаре);
- установка тепловых завес над входами корпуса Лаборатории (без формирования тамбура, чтобы не затрачивать полезную площадь экспозиционного зала);
- устройство молниезащиты.

2.4 Расчет зоны опирания железобетонной плиты на наружную кирпичную стену в программном комплексе «SCAD Office»

Для устройства противопожарных отсеков по вертикали, перекрытие первого этажа выполняется из железобетона (класс бетона В25). Расчет зоны опирания железобетонной плиты на наружную кирпичную стену производится в программном комплексе «SCAD Office». Продольное усилие N_z наружной кирпичной стены получено в результате расчета в программе «SCAD++» и составляет 63 Т/м. В программе «Камин» (версия 21.1.1.1) учитываются огневые воздействия на конструкцию. Общий вид модели в процессоре «Форум» (версия 21.1.1.1) и расчетная модель в стандартном режиме представлена на Рис. 12.

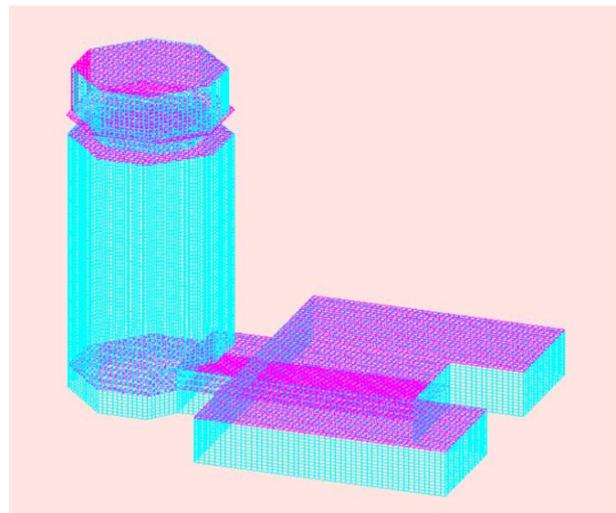
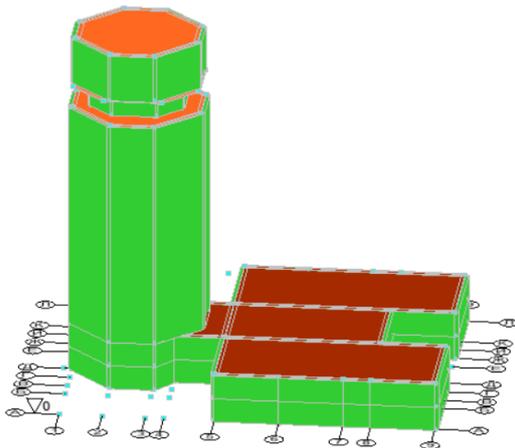


Рис.12 - Расчетная модель здания в программном комплексе
Fig.12 - Calculation model of the building in the software package

Для расчета устойчивости наружной кирпичной кладки и смятия кладки под опорой в программе «Камин» приняты следующие параметры: марка кирпича 100, марка раствора 75 (вероятные значения, взяты из опыта проведения реконструкций кирпичных зданий с возрастом кладки более 100 лет), расчетное сопротивление кирпичной кладки $R - 0,8$ МПа, объемный вес $1,8$ Т/м³, коэффициент Пуассона - $0,113$; модуль деформаций кладки $E - 1080$ Мпа, модуль упругости $E_0 - 1350$ МПа (Рис.13). Для рассмотрения принимается наружная стена с различной глубиной повреждения кирпичной кладки (от 10 до 60 мм) предполагаемым огневым воздействием и выполняется экспертиза продольной наружной стены в пределах этажа. В процессе экспертизы проверяются сечения в верхней (под перекрытием), нижней (в зоне опирания) и в средней (место наибольшего эксцентриситета) частях кирпичной стены.

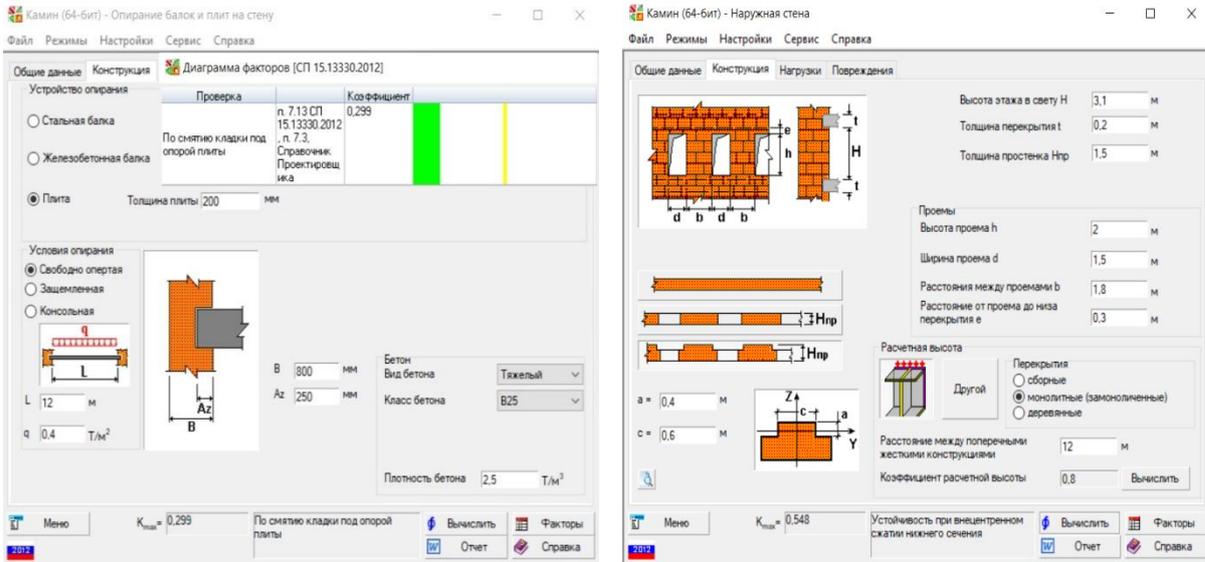


Рис.13 - Расчет устойчивости наружной кирпичной стены и зоны опирания железобетонной плиты

Fig.13 - Model of an external brick wall with a bearing area

На диаграмме (Рис. 14) представлена зависимость прочности наружной кирпичной кладки от глубины повреждения кладки после пожара под действием силовых нагрузок через коэффициент устойчивости. Толщина возможного повреждения кирпичной кладки при пожаре принята в соответствии с диапазоном значений, возможных в программе «Камин» (от 1 см до 6 см). При увеличении глубины повреждения кирпичной кладки, увеличивается коэффициент устойчивости, при этом устойчивость конструкции снижается.

(Сокращения: УУВС среднего сечения — устойчивость при внецентренном сжатии среднего сечения; УУВС под перекрытием - устойчивость при внецентренном сжатии сечения под перекрытием; УУВС — устойчивость при внецентренном сжатии нижнего сечения под перекрытием; 1,2,3,4,5,6).

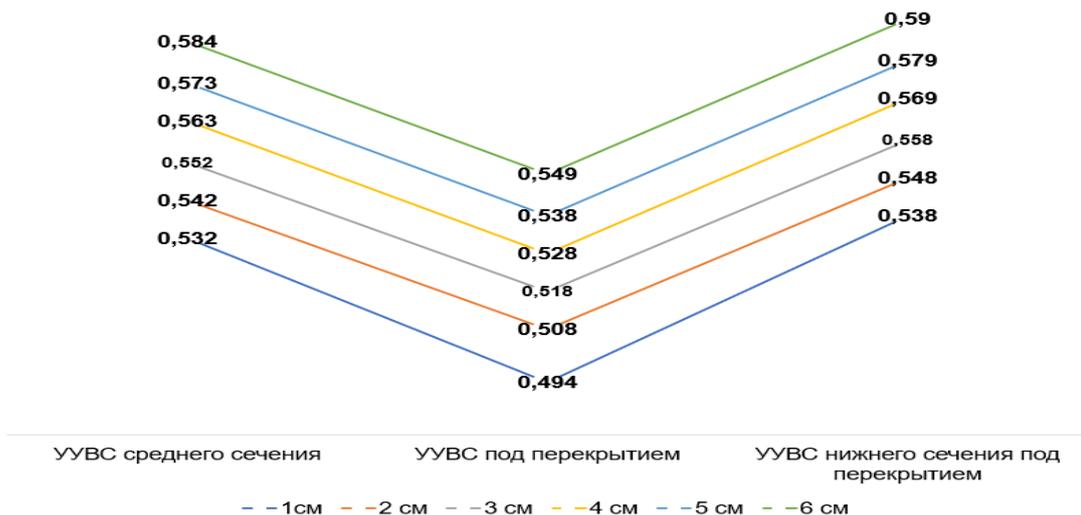


Рис. 14 - Диаграмма зависимости устойчивости наружной кирпичной кладки от глубины повреждения кладки после пожара

Fig. 14 - Diagram of the stability of exterior masonry depending on the depth of masonry damage after a fire

В результате расчетов определено, что устойчивость существующей кирпичной кладки под силовыми и огневыми (при глубине повреждения кирпичной кладки до 60 мм) нагрузками обеспечивается (в диапазоне коэффициента устойчивости от 0 до 1).

2.5 Комплекс мероприятий по пожарной безопасности.

Пожарная безопасность объекта обеспечивается системами предотвращения пожара, противопожарной защиты, комплексом инженерно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности. Система обеспечения пожарной безопасности должна содержать комплекс мероприятий, исключающих превышение допустимого пожарного риска, и направленных на предотвращение причинения вреда третьим лицам [1–7]. На Рис.15 приведена схема, отображающая совокупность законодательных требований к объекту защиты в России.

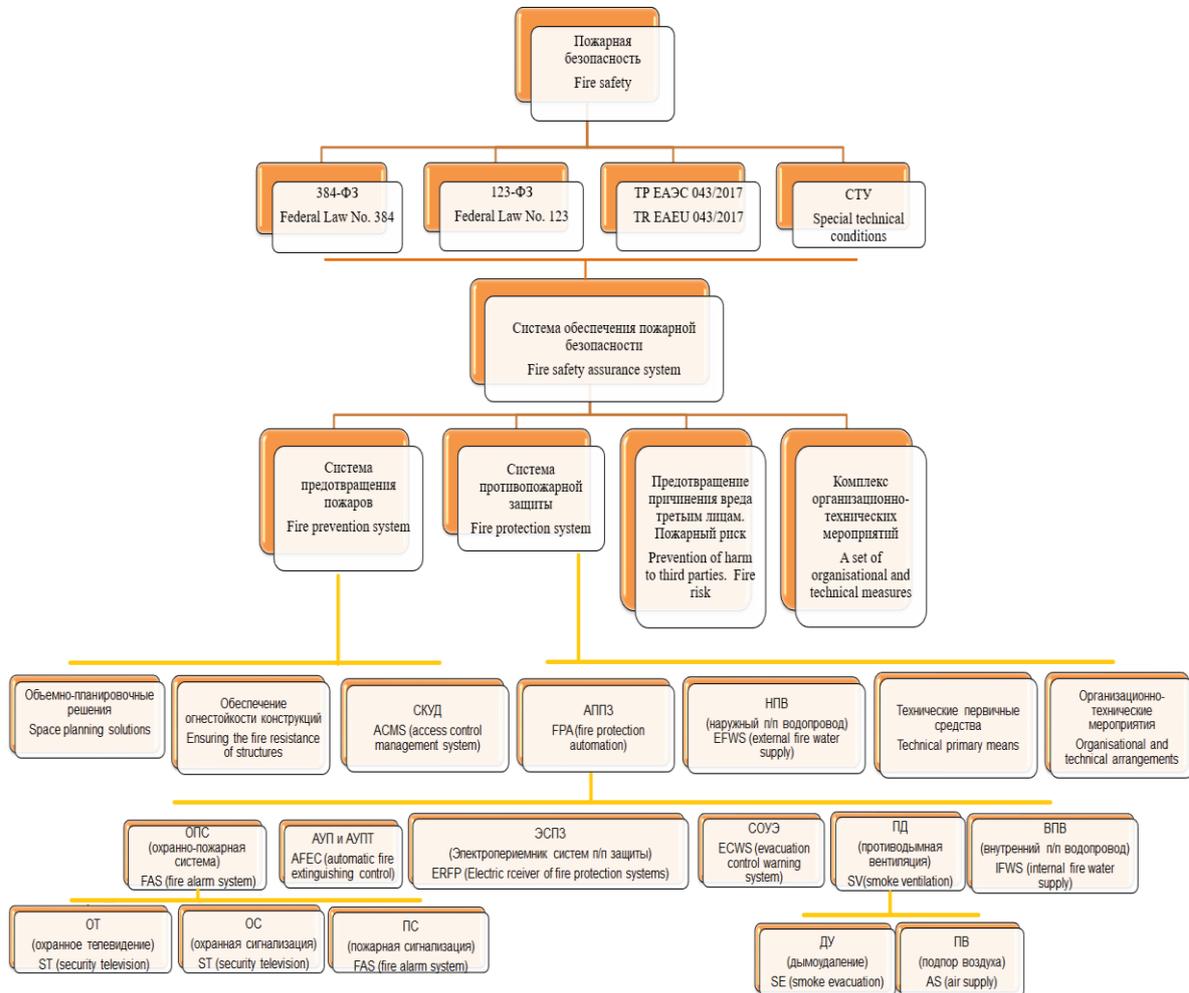


Рис. 15 - Система обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации
Fig. 15 - Fire safety system in Russian Federation

Как отмечалось выше, в отношении исторических объектов, адаптированных под современную эксплуатацию, отсутствуют нормативные документы в области пожарной безопасности. Пожарная безопасность зданий-памятников обеспечивается выполнением СТУ, выполненных на основе [1–7]. СТУ содержит перечень мероприятий, необходимых для безопасной реализации проекта и расчет индивидуального пожарного риска.

2.5.1 Расчет количества посетителей музея

Объемно-планировочные и конструктивные решения здания имеют ключевое значение в системе обеспечения противопожарной безопасности. Задача определения допустимого количества одновременно находящихся людей в здании решается в рамках существующих несущих стен. Проведен анализ количества возможного одновременного нахождения людей в помещениях гидробашни-музея.

На основании [26] величина предельно допустимой вместимости музея ($\Sigma \varepsilon$) - значение, отражающее количество посетителей, которое музей может одновременно вмещать на своей территории. Для тематического музея коллекционно-павильонного типа с интерактивными и мультимедийными зонами [27]:

$$\Sigma \varepsilon = S(m^2) / Cn2 * 0,7, \quad (1)$$



где: Σz - единомоментная емкость музейной экспозиции, чел.;

S - площадь отдельных элементов музея, м²;

$Cn2$ - интерактивные экспозиции (значения для тематических музеев коллекционно-павильонного типа с интерактивными и мультимедийными зонами, 7-10; контекстной экспозиции – 3).

В Таблице 2 приведена численность людей в соответствии с [26],[27], а также количество людей, определенное по результатам моделирования распространения ОФП и эвакуации при различном расположении очага пожара («метод моделирования» в Таблице 2). В Таблице 2 приняты следующие обозначения: 1* - с интерактивной экспозицией [27], 2* - с контекстной экспозицией [27].

Таблица 2. Расчет численности людей на этажах в здании
Table 2. Calculation of the number of people on the floors in the building

№ п/п	Этаж	Количество людей			
		МГСН4.17-98	Методические рекомендации 1*	Методические рекомендации 2*	Метод моделирования
1	1 этаж	60	60	42	150
2	2 этаж	25,3	25	18	65
3	чердак	2	2	1	1
4	бак	10	10	7	1
5	смотровая площадка	1	1	1	5
Результат расчета времени эвакуации					
6	всего человек	106	106	71	222
7	время эвакуации	329	329	329	336

В Таблице 3 представлено количество людей по группам мобильности, группы мобильности М2, М3, М4 приняты, исходя из результатов моделирования с учетом допуска на этаж. Подъем к смотровой площадке ограничен группой мобильности М1.

Таблица 3. Численность людей на этажах в здании по группам мобильности
Table 3. Number of people on building floors by mobility group

№ п/п	Этаж	Мобильность (кроме М1)		
		М2	М3	М4
1	1 этаж	4	4	4
2	2 этаж	4	4	4
3	чердак	0	1	0
4	бак	0	1	0
5	смотровая площадка	2	2	0

В результате анализа расчета численности людей для моделирования приняты:

- количество людей на 1 этаже - 150 человек (М1-138 чел.);
- количество людей на 2 этаже – 65 человек (М1-53чел.);
- количество людей на чердаке – 1чел., на этаже с баком – 1 чел., на смотровой площадке – 5 чел.

2.5.2 Моделирование распространения опасных факторов пожара и эвакуации из здания

Верификация проектных решений, а также необходимость разработки дополнительных противопожарных мероприятий проверяется с применением компьютерной программы «СИГМА ПБ» [28, 30, 31], предназначенной для выполнения моделирования распространения опасных факторов пожара и эвакуации из зданий, сооружений и пожарных отсеков различных классов функциональной пожарной опасности, вероятности эвакуации, расчетной величины пожарного риска. Расчет реализуется положениями Методики [29] с математической моделью индивидуально-поточного движения людей из здания и полевой моделью развития пожара. Gravit, M., Tsepova, A., Kirik, E.



Встроенный модуль 3D-визуализации расчетов позволяет в разных частях здания наблюдать процесс эвакуации и распространения полей опасных факторов пожара: тепловой поток; температура окружающей среды; концентрация CO; концентрация CO₂; концентрация HCl; концентрация O₂; видимость в дыму на заданной высоте от пола, а также поле плотности людского потока.

Принятые исходные данные на основании [29] и исходя из анализа возможности эвакуации из разных частей здания:

- положение дверей в открытом состоянии;
- граничные условия на стены – адиабатные;
- связь с внешней средой через один из выходов из здания;
- начальная температура внутри расчетной области 20°C;
- в расчетную область для моделирования развития пожара приняты все помещения пристройки, связанные открытой лестницей 1 (Рис.11), холл 16 на обоих этажах, объем гидробашни, помещения с очагами пожара в гидробашне (в сценариях 2 и 3);
- в расчетную область для моделирования эвакуации приняты все помещения пристройки и гидробашни, включая чердак, смотровую площадку и бак,
- характеристики пожароопасных свойств принятой нагрузки, представлены в Таблице 4.
- эвакуация людей осуществляется в ближайшие эвакуационные выходы с этажа и из здания;
- время эвакуации определено в соответствии с Методикой [29] и составляет 5 с для помещений с очагом пожара, 60 с для остальных помещений (при наличии СОУЭ 3-го типа);
- индивидуальные характеристики, такие как скорость свободного движения и площадь проекции, приняты в соответствии с [26] для групп мобильности М1-М4;
- свойства горючей нагрузки показаны в Таблице 4.

Таблица 4. Свойства горючей нагрузки
Table 4. Parameters of combustible load

Свойства горючей нагрузки (ГН)	Значение
Линейная скорость распространения пламени, м/с	0,0055
Удельная скорость выгорания кг/(м ² *с)	0,0145
Площадная плотность ГН кг/м ²	10,0
Коэффициент полноты горения в режиме пожара	0,907
Низшая рабочая теплота сгорания, МДж/кг	13,8
Удельное выделение CO ₂ , кг/кг	0,203
Удельное выделение CO, кг/кг	0,0022
Удельное потребление O ₂ , кг/кг	1,03
Удельное выделение HCl, кг/кг	0,014
Дымомобразующая способность, Нп*м ² /кг	270,0

Модель здания показана и реализация винтовых лестничных клеток показаны на Рис. 16.

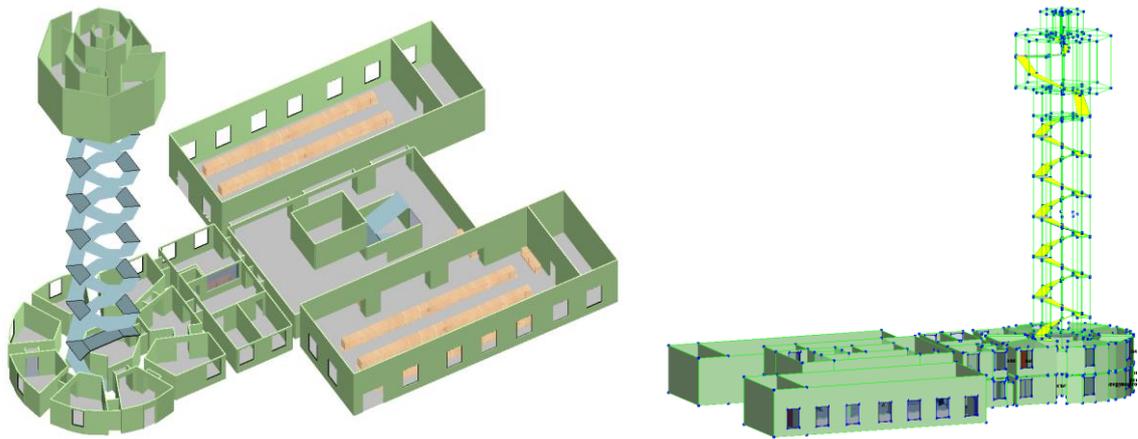


Рис.16 - Модель здания и реализация винтовых лестничных клеток в ПК «СигмаПБ»
Fig.16 - Model of the building implementation of spiral staircases “SigmaPB”

Для моделирования распространения ОФП полевой моделью предварительно выполняется дискретизация расчетной области и построение расчетной сетки (Рис.17). В ПО «Сигма ПБ» реализованы, так называемые, блочно-структурированные неортогональные сетки. Основная особенность этого подхода к дискретизации расчетных областей состоит в том, что сначала выполняется построение всех объемов (блоков, по форме – выпуклые шестигранники), составляющих расчетную область, и далее выполняется дискретизация каждого блока в рамках его границ. И это дает принципиальную возможность применять этот программный продукт для решения задачи моделирования развития пожара для данного объекта, где объем гидробашни состоит из неортогональных элементов. В помещении с очагом пожара величина ячейки составляет 0,2 м, в остальных – 0.3 м.

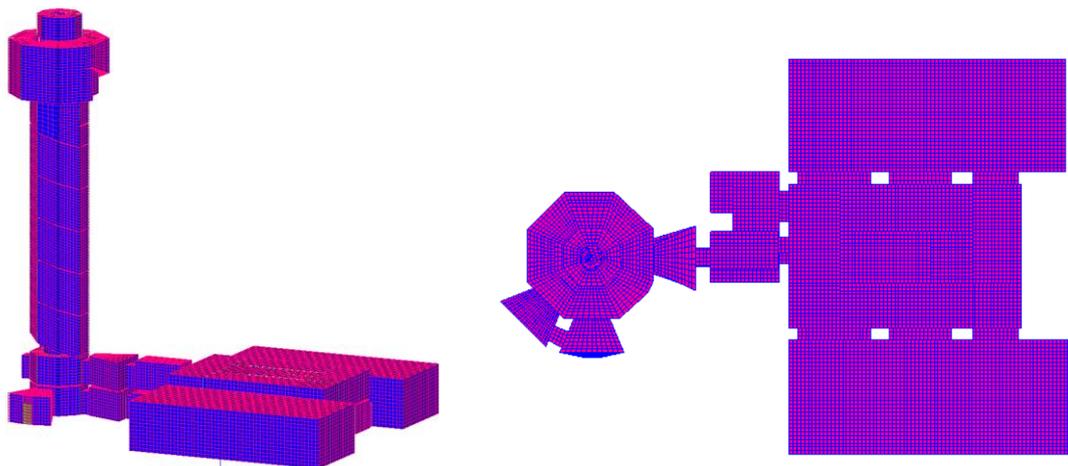


Рис.17 - Расчетная сетка ОФП
Fig.17 - Calculation grid of fire hazards

Расчет эвакуации и распространения ОФП осуществляется по трем сценариям. Для определения условий, небезопасных для человека, срез делается на высоте 1,7 м от пола и наблюдаются все ОФП (потеря видимости, температура, тепловой поток, концентрация кислорода, HCl, O₂, CO, CO₂), по первому ОФП, достигнутому критического значения для человека определяется время блокирования. На схемах ниже отражено развитие задымления по цветовой шкале от синего к красному – от наименьшего к наибольшему значению ОФП. Красным цветом показаны критические значения оптической плотности дыма μ (связанной с потерей видимости как $l=2,38/\mu$ [29]), она первой достигает критических значений в рассмотренных сценариях. Критическое значение оптической плотности дыма для критического значения дальности видимости $l=20$ составляет $\mu=0,12$.

Сценарий 1. По первому сценарию пожар начинается в подсобном помещении второго этажа (Рис.18).

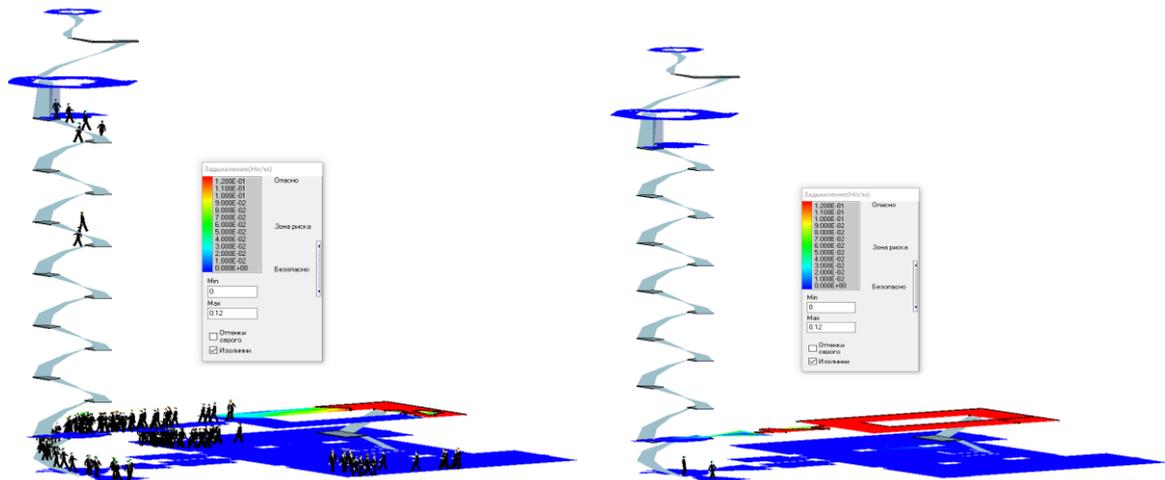


Рис. 18 - Задымление и состояние эвакуации в сценарии 1 (80 с и 140 с момента начала пожара)

Fig. 18 - Smoke slice and evacuation in scenario 1 (80 s and 140 s from the start of the fire)

Со второго этажа пристройки люди эвакуируются через башню к 80 с в безопасных условиях. К 140 с, когда люди, спускающиеся с уровня смотровой площадки, покидают здание, блокирование ОФП путей эвакуации в башне еще не происходит, и все люди эвакуируются в безопасных условиях, Рис.18.

Сценарий 2. Очаг пожара располагается в гардеробе первого этажа (Рис. 19).

Со второго этажа пристройки люди эвакуируются через башню к 80 с в безопасных условиях. К 140 с происходит блокирование ОФП путей эвакуации в башне по задымлению, не успевают покинуть здание люди, спускающиеся с уровня смотровой площадки, и несколько человек с пониженной скоростью, эвакуирующихся через башню со второго этажа пристройки, Рис. 19.

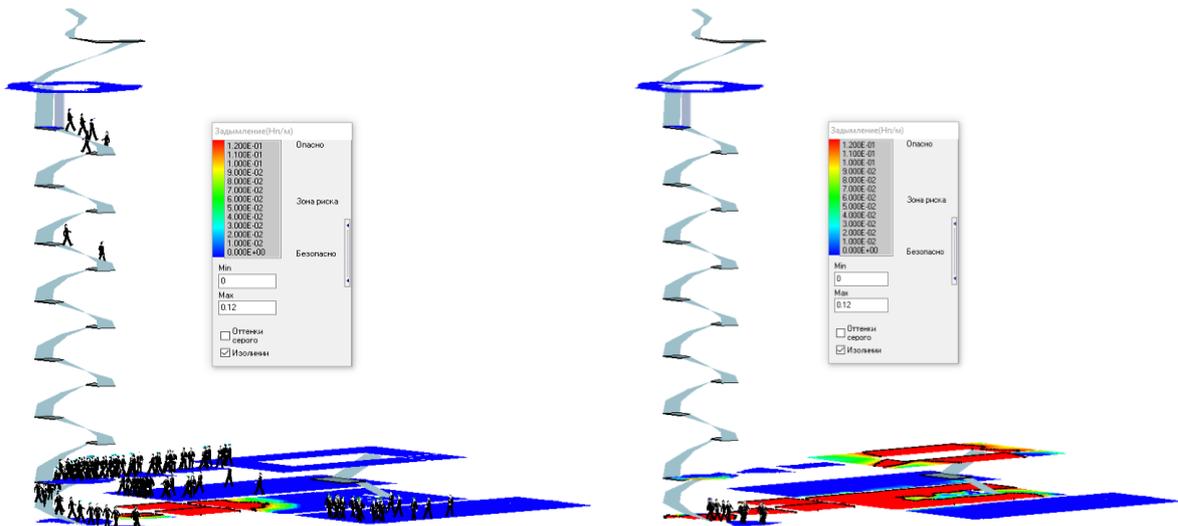


Рис. 19 - Задымление и состояние эвакуации в сценарии 2 (80 с и 140 с с момента начала пожара)

Fig. 19 - Smoke slice and evacuation in scenario 2 (80 s and 140 s from the start of the fire)

Сценарий 3. Очаг пожара располагается в билетной кассе на первом этаже в башне (Рис.20).

Задымление в первую очередь происходит в объеме башни, в пристройке долгое время обеспечиваются благоприятные условия эвакуации, поэтому эвакуацию целесообразно проводить из башни в пристройку и далее наружу. В этом случае воздействию опасных факторов пожара посетители 1 и 2 этажа башни не подвергаются. Блокирование пути эвакуации на втором этаже башни происходит к 115 с, люди, спускающиеся со смотровой площадки и других верхних этажей, к этому времени достигают уровня 2-го этажа, и их путь в пристройку происходит уже в небезопасных условиях (по предельной дальности видимости).

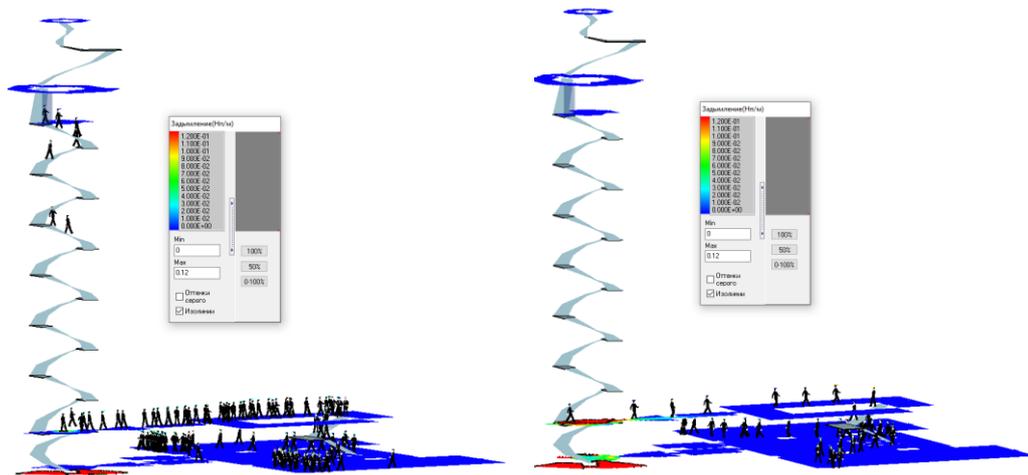


Рис. 20 - Задымление и состояние эвакуации в сценарии 3 (60 с и 130 с с момента начала пожара)

Fig. 20 - Smoke slice and evacuation in scenario 3 (60 s and 130 s from the start of the fire)

В двух рассмотренных сценариях с локализацией очага пожара в помещениях башни наблюдается достижение ОФП критических значений на винтовой лестничной клетке башни до завершения эвакуации людей из смотровой площадки. Если очаг пожара расположен в помещении лаборатории в пристройке (будущая территория экспозиции), люди успевают эвакуироваться из здания до достижения ОФП критических значений.

В Таблице 5 представлены данные результатов моделирования в ключевых контрольных точках. Приняты следующие сокращения: t_p (t_r) - расчетное время эвакуации людей (длительность эвакуации) из здания, с; $t_{эв}$ (t_{ev}) - время окончания эвакуации людей из контрольного участка, с; $t_{бл}$ (t_b) - время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации), с.

Таблица 5. Результаты расчета в контрольных точках
Table 5. Calculation results

№ п/п	Наименование	Сценарий 1			Сценарий 2			Сценарий 3		
		t_p , с (t_r , s)	$t_{эв}$, с (t_{ev} , s)	$t_{бл}$, с (t_b , s)	t_p , с (t_r , s)	$t_{эв}$, с (t_{ev} , s)	$t_{бл}$, с (t_b , s)	t_p , с (t_r , s)	$t_{эв}$, с (t_{ev} , s)	$t_{бл}$, с (t_b , s)
1.	Очаг пожара:	Подсобное помещение (2), 2 этаж			Гардеробная (6), 1 этаж			Билетная касса (5), 1 этаж		
2.	Параметры	t_p , с (t_r , s)	$t_{эв}$, с (t_{ev} , s)	$t_{бл}$, с (t_b , s)	t_p , с (t_r , s)	$t_{эв}$, с (t_{ev} , s)	$t_{бл}$, с (t_b , s)	t_p , с (t_r , s)	$t_{эв}$, с (t_{ev} , s)	$t_{бл}$, с (t_b , s)
3.	Граница лестницы на 2 этаже	70	130	220	70	130	200	70	130	115
4.	Выход из башни наружу	75	140	275	90	150	125	10	20	65
5.	Выход из лаборатории наружу	40	100	420	40	100	210	145	210	500
6.	Переход в башню	20	80	100	20	80	175	70	135	160
7.	Людей, подвергшихся ОФП	0			10			7		

Совместный анализ результатов моделирования развития пожара и эвакуации в рассмотренных сценариях показывает, что наиболее уязвимым местом с точки зрения обеспечения безопасных условий эвакуации является путь со смотровой площадки. При этом Gravit, M., Tsepova, A., Kirik, E.

наиболее опасны очаги в помещениях гидробашни и перехода из-за быстрого заполнения объема башни продуктами горения и снижения видимости по предельного значения. Путь с самой верхней отметки (высота примерно 40,8 м) до 2-го этажа, откуда можно уйти через переход в пристройку, занимает около 70 с.

При этом посетителями верхних уровней гидробашни рассматриваются люди, не имеющие ограничений по мобильности. Винтовая лестница находится в объеме тела башни и не может быть выгорожена в незадымляемую область. Поэтому в течение, как минимум, 70 с необходимо обеспечить безопасные условия для эвакуации людей с самой верхней отметки.

Эффективной мерой по обеспечению безопасных условий на винтовой лестнице является устройство дверей с возможностью самозакрывания на проемах, связывающих помещения гидробашни с объемом, где находится винтовая лестница, а также исключение горючей нагрузки на площадках 1-го и 2-го этажей в башне (пом.17 на Рис.11).

Выполнен расчет развития пожара по сценарию 3 с учетом, что дверь, соединяющая помещения 4 и 17 на первом этаже (Рис.11), находится в состоянии закрыто, но не плотно, то есть имеется щель, пропускающая ОФП. На Рис. 21 (слева) представлены горизонтальные срезы поля задымления на момент 130 с от начала пожара, когда люди спустились по винтовой лестнице до 2-го этажа. К этому моменту задымление только начинает появляться в объеме башни на уровне 2-го этажа, и пути эвакуации еще имеют безопасные условия. Температура на поверхности двери только приближается к 200⁰С, из чего следует вывод, что полотно двери к этому моменту не потеряло целостность. Даже если предположить мгновенное разрушение двери, то для задымления второго этажа башни требуется 115 с, что следует из первого расчета сценария 3 (Таблица 5), этого времени достаточно для полного завершения эвакуации.

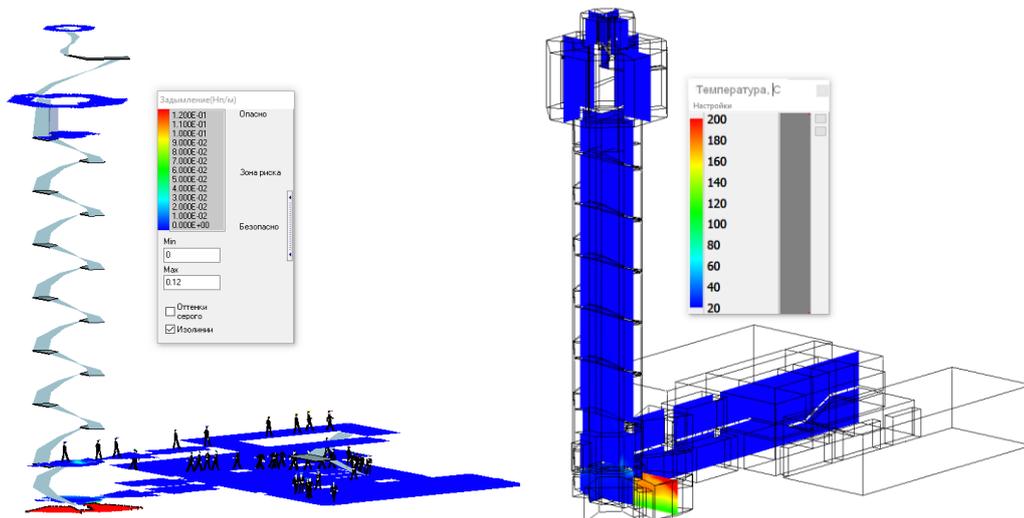


Рис. 21 - Горизонтальное поле задымления и состояние эвакуации в сценарии 3 с устройством для самодоведения на двери между помещениями 4 и 17 на 1-м этаже на 130 с (слева); вертикальные поля температуры на 160 с

Fig. 21 - Smoke slice and evacuation in scenario 3 with self closer on the door from room 4 to 17 on 160 s from the start of the fire (left), temperature slices on 160 s (right)

Таким образом, расчетом показана эффективность компенсирующих мероприятий, направленных на обеспечение безопасных условий эвакуации в башне на винтовой лестнице – наиболее уязвимом месте здания. По аналогии можно говорить об эффективности таких мер между помещениями 7 и 17 на 1 этаже, 16-17 на 1 и 2 этажах, 16 и 1 на 1 и 2 этажах, 1 и 17 на 2 этаже.

Реализация данных компенсирующих мероприятий обеспечивает безопасные условия на путях эвакуации, максимальную величину вероятности эвакуации и допустимое значение оценки пожарного риска, согласно [29]. С другой стороны их реализация не затрагивает объектов охраны и имеет низкую стоимость.



3. Results and Discussion

В результате анализа работ [30–39], предметов охраны и особенностей архитектурно-планировочных решений, а также полученных данных методом моделирования, разработан комплекс противопожарных мероприятий (далее – ППМ (FPM), составляющие которого представлены в Таблице 6. В Таблице 6 приняты следующие сокращения: АУП (AFEC) – автоматическая установка пожаротушения; ВПВ (IFWS) – внутренний противопожарный водопровод; АУПС (AFAS) – автоматическая установка пожарной сигнализации; - расчет ИПР (CIFR) - проведение расчета индивидуального пожарного риска; КППМ (RFPM) - комплекс противопожарных мероприятий; НПВ (EFWS) – наружный противопожарный водопровод; ОК (SFR) - огнестойкость конструкций; ОПР (PD) - объемно-планировочные решения; ОПС (FAS) - охранно-пожарная система; ОТМ (OTM) - организационно-технические мероприятия; СДУ (SES) – система дымоудаления; СОУЭ (WECS) - система оповещения и управления эвакуацией людей; СКУД (ACMS) – система контроля управления доступом; ОТ (CCVT)– система видеонаблюдения; ТПС (TPM) - технические первичные средства; ЭСПЗ (ERFP) - электроприемники систем противопожарной защиты.

Таблица 6. Противопожарные мероприятия
Table 6. Fire prevention measures

№ п/п	Особенность объемно-планировочной схемы здания	Тип ППМ (FPM)	Меры, направленные на обеспечение пожарной безопасности и безопасных условий эвакуации людей
1	Основные и общие требования к зданию		
1.1	Здание с повышенной сложностью архитектурно-планировочных решений трудных для восприятия лиц, впервые оказавшихся в нем.	ОПР PD	Не предусматривать на объекте размещение взрывопожарных и пожароопасных помещений категории А, Б, В1.
1.1.1	архитектурно-планировочных решений трудных для восприятия лиц, впервые оказавшихся в нем.	ОПР PD	Пропускная способность эвакуационных путей и выходов, максимальные расстояния от самой удаленной точки помещения до площадок лестничных клеток, габариты.
1.1.2	Невозможно выполнить деление башни и лаборатории на горизонтальные пожарные отсеки в пределах этажа.	ОК SFR	Степень огнестойкости не ниже II. Класс конструктивной пожарной опасности С0. Класс пожарной опасности конструкций К0 для противопожарных преград, несущих конструкций, стен, маршей и площадок лестничных клеток. Стен и перегородок, наружных стен с внешней стороны.
1.1.3	Промежуточная площадка ЛМ длиной менее 1 м.	АУП и АУПС AFEC and AFAS	Использование огнетушащих средств в зависимости от оборудования. Предусмотрены дымовые пожарные извещатели, питаемые по шлейфу пож. сигнализации.
1.1.4	Число подъемов в одном марше от этажа до этажа более 16 в Башне.	ОПС FAS	Объект (все помещения) оборудуется автоматической пожарной сигнализацией адресного типа.
1.1.5	Выходы из этажей на лестничную клетку не	ОПС FAS	Обучение персонала обращению с первичными средствами защиты
1.1.6		СДУ SES	Предусмотрена система СДУ.



1.1.7	оборудованы дверями с приспособлением для самозакрывания и с уплотнением в притворах. Увеличение длины путей эвакуации при посещении смотровой площадки Башни.	ВПВ IFWS	Предусмотрена система ВПВ.	
1.1.8		СОУЭ WECS	Обеспечение СОУЭ Тип 3.	
1.1.9		СКУД ACMS	Предусмотрена система СКУД (ограничение входа в служебные помещения и контроль посещения)	
1.1.10		НПВ EFWS	НПВ с расходом не менее 35 л/с от пожарных гидрантов на кольцевой водопроводной сети	
1.1.11		ЭСПЗ ERFP	Противопожарные системы и устройства, обеспечивающие пожарную безопасность здания, обеспечены по I категории надежности	
		ОПР PD	Перекрытия и стены I типа REI 150. Противопожарные двери RE 60 с устройством самодоведения устанавливаются на первом и втором этаже, отсекая лабораторию от башни. Деревянные внутренние двери снабжаются устройствами доведения.	
1.1.12		ОПР PD	Отсек с противопожарными преградами I типа с REI 150: ПО1 (Ф2.2) – музей с площадью пожарного отсека не более 1200 м ² , объем не более 60000 м ³ . Площадь пожарного отсека определяется с учетом площади лестничных площадок 1го и 2го этажа Башни.	
1.1.13		ОТ CCVT	Предусматривается система видеонаблюдения в помещениях доступных посещению людей.	
1.1.14		ОК SFR	Применение материалов группы НГ.	
1.2.		Наличие исторического деревянного перекрытия винтовой лестницы.	ОК SFR	Покрытие био- и огнезащитным составом несущих конструкций перекрытий.
2		Дополнительные требования в соответствии с его статусом (здесь и далее по таблице).		
2 2.1	Лифт Отсутствие вертикального транспорта.	ОК SFR	Дополнительно устраивается подъемник REI 60 с зоной безопасности для МГН.	
3 3.1	Лестничные клетки	ИПП CIFR	Расчет индивидуального пожарного риска.	
3.1.1	Лестничная клетка криволинейная в плане и марши, имеющие разную высоту подступенка,	ОК SFR	Горизонтальные и наклонные участки эвакуационной лестничной клетки выполняются в ограждающих конструкциях не менее REI 150	



	ширину проступи в пределах одного марша служит путем эвакуации.		
4 4.1	Отсутствует естественное освещение на участках лестничной клетки.	СОУЭ WECS	Обеспечение коридоров и лестничных клеток на каждом этаже аварийным освещением с временем работы не менее 10 минут.
5 5.1	Технические помещения	ОП PD	Планирование помещений на высоте не более 9 м (не выше 2 этажа).
5.1.1		ОП PD	Площадь одного помещения не более 12 м ² .
5.1.2		ОТМ ОТМ	Обеспечение отсутствия постоянных рабочих мест в помещениях.
6 6.1	Невозможно устройство 2-го эвакуационного выхода со смотровой площадки, чердака и помещения с баком. Экспозиционные помещения первого и второго этажа сообщаются друг с другом посредством «второго света» и открытой лестницы	ОТМ ОТМ	Численность людей в помещении экспозиций Лаборатории на 2 этаже: не более 50 человек, Башни – не более 18.
6.1.1		ТПС ТРМ	Обеспечение наличия средств индивидуальной защиты органов дыхания в количестве: 1шт. на 1 человека, 2 шт. в резерве.
6.1.2		ОП PD	Эвакуационные выходы в одном из вариантов: 1) эвакуационный выход в лестничную клетку с подпором воздуха типа Н2; 2) эвакуационный выход в обычную лестничную клетку и дополнительный эвакуационный выход в безопасную зону (при этом площадь безопасной зоны принять из расчета 2 м ² на человека); 3) эвакуационный выход в обычную лестничную клетку и аварийный выход на кровлю.
6.1.3		ОК SFR	Ограничить помещения экспозиций противопожарными перегородками 1-го типа не менее EI 90 с защитой проемов противопожарными дверями 1-го типа с минимальным удельным сопротивлением дымогазопроницанию не менее 1,96•10 ⁵ м ³ /кг не менее EIS 60.
6.1.4		СДУ SES	Предусмотреть из пространства экспозиционного зала со «вторым светом» вытяжную противодымную вентиляцию с естественным побуждением (через фонарь покрытия помещения) или с механическим побуждением.
6.1.5		ТПС ТРМ	Передвижные установки пожаротушения (огнетушители) объемом не менее 40 л, обеспечивающих тушение пожаров класса А и В в экспозиционное помещение 1 этажа Лаборатории.



7 7.1	Пути эвакуации (коридоры, холлы)	OK SFR OT CCVT	Ограждаются стенами или перегородками высотой от пола до перекрытия или покрытия класса K0 с пределом не менее EI 45.
8 8.1	Смотровая площадка для посещения на высоте 40 м	OK SFR	Конструкция покрытия выполняется не менее REI 45 и K0.
8.1.2		OTM OTM	Одновременное посещение смотровой площадки ограничивается количеством людей – 5 человек группы M1, ограничен допуск детей до 10 лет.
9 9.1	Организационно-технические мероприятия	OTM OTM	OTM - в соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации «О противопожарном режиме» с учетом особенностей объекта.
9.1.1		OTM OTM	План эвакуации.
9.1.2		OTM OTM	Содержание объекта и работоспособность систем в соответствии с проектной и технической документацией.
9.1.3		OTM OTM	Противопожарный режим и ответственные лица за эксплуатацию и техническое обслуживание средств индивидуальной защиты органов дыхания и передвижных установок пожаротушения (огнетушителей).
9.1.4		OTM OTM	Инструкция о мерах пожарной безопасности, содержащую сведения необходимые для обеспечения пожарной безопасности в процессе эксплуатации здания.
9.1.5		OTM OTM	Оперативный план тушения пожара.

В результате полученного перечня противопожарных мероприятий рассчитана предварительная стоимость комплекса систем и работ (Таблица 7), необходимых для реализации концептуальной идеи (Таблица 6).

Таблица 7. Стоимость систем и работ
Table 7. Cost of systems and works

№ п/п	Наименование раздела	Кол-во	Сметная стоимость, руб., без НДС	Сметная стоимость, руб., с НДС
1	ВК VK (водопровод и канализация)	1,00	1 746 000,00	2 095 200,00
2	ОВ OV (вентиляция)	1,00	2 110 000,00	2 532 000,00
3	СОТ CCTV (охранное телевидение)	1,00	2 273 000,00	2 727 600,00
4	ОС AS (охранная сигнализация)	1,00	1 629 000,00	1 954 800,00

5	АППЗ АФР(автоматическая противопожарная защита)	1,00	1 420 800,00	1 704 960,00
6	ДИС DIS (диспетчеризация)	1,00	437 000,00	524 400,00
7	АУП и АУПС АФЕС and АФАС (автоматическое пожаротушение)	1,00	1 476 000,00	1 771 200,00
8	АОВ НВА (автоматика отопления и вентиляции)	1,00	536 000,00	643 200,00
9	ПДЗ SP (противодымная защита)	1,00	1 700 000,00	2 040 000,00
9	СОУЭ WECS (система оповещения и управления эвакуацией)	1,00	666 000,00	780 000,00
10	СКУД АСМС (система управления и контроля доступа)	1,00	2 717 000,00	3 260 400,00
11	ЭО PL (электроснабжение и освещение)	1,00	2 500 000,00	3 000 000,00
12	ТВ TV (телевидение)	1,00	289 100,00	346 920,00
13	СКС SCS (структурированные кабельные системы)	1	1 540 000,00	1 848 000,00
14	Демонтаж неисторической отделки и перегородок, устройство железобетонных перекрытий PD	1,00	7 040 000,00	8 800 000,00
15	Отделочные и реставрационные работы (внутренние) PD	1	14 060 000,00	16 872 000,00
	Всего:		42 139 900,00	50 567 880,00

На Рис. 22 представлена диаграмма стоимости проектных решений по пожарной безопасности в процентном соотношении. На диаграмме слева указаны системы противопожарной защиты, на диаграмме справа – проектные решения, необходимые для реализации функциональной концепции приспособления.

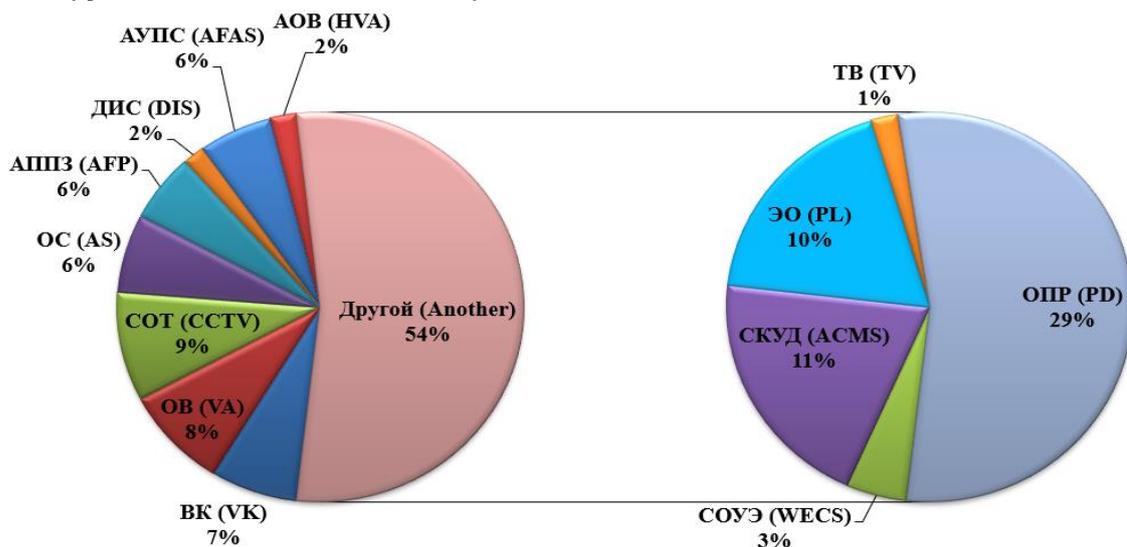


Рис. 22 - Диаграмма предварительной стоимости реализации проектных решений
Fig. 22 - Preliminary implementation cost diagram for project solutions

Противопожарные системы занимают 46% от проектной концепции.

Для разработки решений по ремонту кирпичных стен (вычинка, усиление проемов) и усиление фундамента необходимы обмерные чертежи, полученные лазерным сканированием,

Gravit, M., Tsepova, A., Kirik, E.

Renovation of the "Hydro Tower with Laboratories" building at the Polytechnic University adapt for the museum; 2022; *Construction of Unique Buildings and Structures*; **101** Article No 10104. doi: 10.4123/CUBS.101.4

углубленное изучение химического состава отделочных слоев и конструкций, заключение технического обследования здания для установления несущей способности элементов.

В данной работе не рассматривается стоимость разработки проектной документации стадии «Проектная документация» в соответствии с [26], «Рабочая документация» и дизайн-проект. Однако, стоимость основных документов (ДК DC), необходимых для разработки проектных решений и сопутствующих строительному процессу контрольно-надзорных работ поддается планированию и показана в таблице 8.

Таблица 8. Стоимость основных документов и сопутствующих надзорных работ
Table 8. Cost of basic documents and associated supervision work

№ п/п	Наименование документации	Стоимость, руб., без НДС
1	Подготовка и согласование проектной документации на проведение работ по сохранению объектов культурного наследия КГИОП (ориентировочная стоимость работы исполнителя по договору подряда)	250 000,00
2	Лазерное сканирование здания (проведение обмеров)	350 000,00
3	Государственная проектная экспертиза	300 000,00
4	Инженерно-геодезические, геологические, экологические и гидрометеорологические изыскания с учетом требований программ изысканий	750 000,00
5	Археологические изыскания	200 000,00
6	Техническое обследование здания	250 000,00
7	Строительный контроль Заказчика (срок 24 месяца)	3 600 000,00
8	Авторский надзор (срок 24 месяца)	2 400 000,00
	Всего:	8 100 000,00

Таким образом, стоимость «подготовительной документации» составляет 21 % от стоимости всей реализации реконструкции и показана на Рис.23.

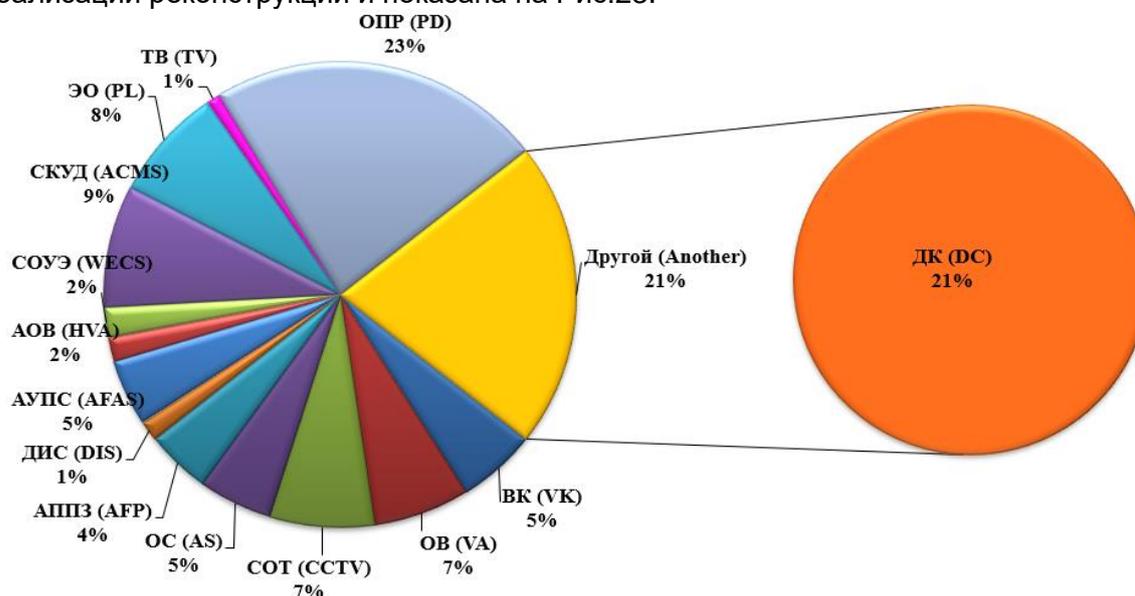


Рис. 23 - Диаграмма предварительной стоимости подготовительной документации
Fig. 23 - Preliminary cost diagram of the preparatory documentation

4. Conclusions / Выводы

Реконструкция исторических зданий и сооружений позволяет передать эстетические и исторические особенности памятника, предоставляет возможность современному поколению и потомкам ознакомиться с национальной культурой, а также служит двигателем

Gravit, M., Tsepova, A., Kirik, E.

Renovation of the "Hydro Tower with Laboratories" building at the Polytechnic University adapt for the museum; 2022; *Construction of Unique Buildings and Structures*; 101 Article No 10104. doi: 10.4123/CUBS.101.4



градостроительного развития исторического района страны, в которой располагается данный памятник.

Рассмотрены сценарии, в которых совместный анализ результатов моделирования развития пожара и эвакуации позволил выявить уязвимые места здания с точки зрения обеспечения безопасных условий эвакуации. Определено, на что должны быть направлены компенсирующие мероприятия – обеспечение допустимой видимости на винтовой лестнице в башне, то есть сдерживание ОФП от распространения по путям эвакуации на период эвакуации, который длится до 80 с и оканчивается через 2 мин после начала пожара с учетом задержки начала эвакуации.

В работе решены следующие задачи и получены результаты:

1. Разработана оптимальная концепция объемно-планировочных решений реконструкции здания восьмиугольной башни высотой 40 метров и пристройки с учетом допуска маломобильных групп населения не выше 2 этажа. В концепцию включены экспозиционные залы с сувенирным магазином, служебные помещения, зона безопасности для МГН, комнаты для приема пищи персонала, предусмотрена установка вендинговых аппаратов для посетителей и универсальные санузлы, а также возможность посещения смотровой площадки на высоте более 30 метров;
2. Расчет кирпичной кладки на устойчивость подтвердил возможность применения железобетонной плиты перекрытия первого этажа;
3. Выполнен анализ обеспечения безопасных условий эвакуации при пожаре путем моделирования распространения ОФП и эвакуации в рамках исторической планировочной схемы здания;
4. Разработаны противопожарные мероприятия, в том числе на основе результатов моделирования, необходимые для реализации проекта реконструкции; расчетом показана эффективность устройств для самодоведения дверей, установлено, что можно допустить неплотный притвор, через который возможно распространение ОФП, но это не является критичным для обеспечения безопасных условий в башне, то есть достаточно непротивопожарные двери обеспечить устройством для самодоведения.
5. Ограничена численность людей для посещения смотровой площадки - до пяти человек. Поскольку верхние уровни башни имеют единственный путь эвакуации рекомендовано обеспечить средства индивидуальной защиты органов дыхания.
6. Вычислена предварительная стоимость 1 м² реализации концепции, которая составляет 49,888 тысяч рублей (без учета проектирования).

Представленная концепция системы пожарной безопасности для здания гидробашни, включающей совокупность объемно-планировочных решений и специальных технических условий по пожарной безопасности, а также предварительную стоимость предполагает возможность применения при комплексной оценке реконструкции исторических сооружений – водонапорных башен с приспособлением под музей в реализации стратегии сохранения объектов культурного наследия. Перечень противопожарных мероприятий может быть рекомендуемым для применения в аналогичных сооружениях водонапорных башен, эксплуатируемых в качестве музея.

References

1. Federal law of 30.12.2009 No. 384-FZ “Technical regulations for safety of buildings and structures”. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/30476> (date of application: 02.07.2022).
2. Federal law of 22.07.2008 No. 123-FZ. “Technical Regulations on Fire Safety Requirements”. URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/3143> (date of application: 02.07.2022).
3. Technical regulation of the Eurasian Economic Union “On requirements for fire safety and fire-fighting equipment” (TR EAEU 043/2017). URL: <https://docs.cntd.ru/document/456080708> (date of application: 02.07.2022).
4. Order of the government of the Russian Federation of September 16, 2020 No. 1479. About approval of Rules of fire prevention regime in the Russian Federation (as amended on 21-05-2021). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363263/ (date of application: 02.07.2022).
5. SP 118.13330.2012 " Public buildings and works". Revised edition of SNiP 31-06-2009. Introduction date 2014-09-01. - M.: Ministry of Construction of Russia, 2014. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200092705> (date of application: 02.07.2022).

Gravit, M., Tsepova, A., Kirik, E.

Renovation of the "Hydro Tower with Laboratories" building at the Polytechnic University adapt for the museum; 2022; *Construction of Unique Buildings and Structures*; 101 Article No 10104. doi: 10.4123/CUBS.101.4



6. Order of the government of St. Petersburg of 01.11.2005 No. 1681. On the St-Petersburg Strategy for the Preservation of Cultural Heritage. URL: <https://docs.cntd.ru/document/8421327> (date of application: 02.07.2022).
7. Federal Law of June 25, 2002 N 73-FZ On Cultural Heritage Sites (historical and cultural monuments) of the Peoples of the Russian Federation. (ed. of 11.06.2021) "On Objects of Cultural Heritage (Monuments of Cultural History) of the Peoples of the Russian Federation ". URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/ (date of application: 02.07.2022).
8. Business portal. URL: <https://grodno.in/showplace/kasja-basja/> (date of application: 01.07.2022).
9. Architecture portal. URL: <https://architizer.com/projects/chateau-deau/> (date of application: 01.07.2022).
10. Proekt portal. URL: <https://dwgformat.ru/2021/12/11/luchshaya-rekonstrukciya-vodonapornoj-bashni-2021-goda/> (date of application: 01.07.2022).
11. Redevelopment portal. URL: https://www.redeveloper.ru/redeveloperskie-proekty/realise_actual/m-venpick-hotel-hamburg-germany (date of application: 01.07.2022).
12. Proekt portal. URL: <https://dwgformat.ru/2021/03/12/proekt-rekonstrukcii-vodonapornoj-bashni-pod-studencheskoe-obshhezhitie-v-danii/?amp> (date of application: 01.07.2022).
13. News portal. URL: <https://www.riatomsk.ru/article/20201017/bashnya-aleksandr-lunev-tomsk-foto/> (date of application: 01.07.2022).
14. Architectural portal. URL: <https://www.citywalls.ru/house1414.html> (date of application: 01.07.2022).
15. Official museum website. URL: http://www.vodokanal-museum.ru/muzejnyj_kompleks/vodonapornaya_bashnya/ (accessed June 20, 2022).
16. Official museum website. URL: <http://tower-ekb.ru/> (accessed June 20, 2022).
17. Official museum website. URL: <https://vladmuseum.ru/ru/geografiya-muzeya/vladimir/staryy-vladimir/> (accessed June 20, 2022).
18. Official museum website. URL: <https://belormuseum.ru/news/vodonapornaya-bashnya/> (accessed June 20, 2022).
19. Historical portal. URL: <http://www.staraya-russa.ru/category/attraction/vodonapornaya-bashnya>.
20. Architecture portal. URL: <https://www.citywalls.ru/house19703.html> (accessed June 20, 2022).
21. E.Y. Ageeva, N.A. Gogoleva, Renovation of Water Towers: Typological Analysis, Zhilishchnoe Stroitel'stvo. (2019) 19–29. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-19-29>.
22. Gravit, M.V.; Kirik, E.S.; Savchenko, E.T. Effect of Design on the Evacuation Time for the Colosseum of Rome; 2021; Construction of Unique Buildings and Structures; 95 Article No 9504. doi: 10.4123/CUBS.95.4.
23. Prasadkov V.I., Eremina T.Yu., Bogdanov A.V., Sushkova O.V., Tikhonova N.V. Required fire safety level for museums - cultural heritage objects. Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety. 2018;27(4):42-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.18322/PVB.2018.27.04.42-49>.
24. M.A. Granstrem, To the Issue of Preservation of Volumetric-Spatial Characteristics of the Historical Industrial Environment of St. Petersburg, Zhilishchnoe Stroitel'stvo. (2019) 35–38. URL: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-35-38>.
25. Act of Historical and Cultural Expertise of the Polytechnic University Park building of 24.11.20. URL: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_govcontrol/ (accessed June 20, 2022).
26. Methodological recommendations on the development of attendance standards for museums of the Russian Federation depending on their objective capacity to receive visitors. Letter from the Ministry of Culture of the Russian Federation of 27.11.2017. URL: <https://culture.gov.ru/documents/po-razrabotke-normativov-poseshchaemosti-muzeev-zapovednikov-v-zavisimosti-ot-ikh-vozmozhnostey-061213/> (accessed June 20, 2022).
27. Recommendations on the Design of Museums (Candidate Architect V.I. Revyakin, Architect A.A. Olenev - Section 14) of the Russian Federation. Central Research and Design Institute for Standard and Experimental Design of Complexes and Buildings of Culture. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817280.htm> (accessed June 20, 2022).
28. Computer program. URL: https://3ksigma.ru/wp-content/uploads/2019/02/Manual_SigmaPB_v4.pdf (accessed June 20, 2022).
29. The order of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation from 30.06.2009 N 382 "About the statement of a technique of definition of calculation values of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of function. URL: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/668> (accessed June 20, 2022).

Gravit, M., Tsepova, A., Kirik, E.

Renovation of the "Hydro Tower with Laboratories" building at the Polytechnic University adapt for the museum; 2022; *Construction of Unique Buildings and Structures*; 101 Article No 10104. doi: 10.4123/CUBS.101.4



30. Kirik E.; Dekterev A; Litvintseva K.; Malyshev A.; Kharlamov E. The Solution of Fire Safety Problems under a Design Stadium with Computer Fire and Evacuation Simulation., doi:10.1088/1757-899X/456/1/012073.
31. Kirik E.; Litvintsev K.; Dekterev A.; Khasanov I.; Gavrilov A.; Malyshev A.; Harlamov E.; Popel E. Simulations of Fire Evacuations in "Sigma FS" Software as a Fire Safety Training Instrument. 1281–1291, doi:10.18720/spbpu/2/k19-120. Technosphere safety. The scientific online journal.
32. F. Petrini, A. Aguinagalde, F. Bontempi. (2022) Structural Fire Risk for Heritage Buildings by the Performance-Based Engineering Format. *International Journal of Architectural Heritage* 0:0, pages 1-24.
33. L. Paulo, R. Pere, M. Claudio. (2017). "Selected Papers from the 10th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions (SAHC 2016)". *International Journal of Architectural Heritage*. 12. doi:10.1080/15583058.2017.1327263.
34. Iringová, Agnes. (2020). A Case Study on the Fire Safety in Historic Buildings in Slovakia. doi:10.5772/intechopen.91241.
35. A.N., Zheng-yang & Liu, Bin. (2013). Chinese Historic Buildings Fire Safety and Countermeasure. *Procedia Engineering*. 52. 23–26. doi: 10.1016/j.proeng.2013.02.099.
36. Torero, José. (2019). Fire Safety of Historical Buildings: Principles and Methodological Approach. *International Journal of Architectural Heritage*. 13. 1-15. doi:10.1080/15583058.2019.1612484.
37. Quapp, Ulrike & Holschemacher, Klaus. (2020). Heritage Protection Regulations in Germany and their Relations to Fire Safety Demands. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 753. 042036. doi:10.1088/1757-899X/753/4/042036.
38. {Iordanis A. Naziris and Nikos D. Lagaros and Kyriakos Papaioannou}, Optimized fire protection of cultural heritage structures based on the analytic hierarchy process <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2016.08.007/>.
39. Chen Z. R., Liang K. H. Application of Digital Fabrication Techniques to Reconstruct Ancient Machinery-A Case-study of Su Song's Water-powered Astronomical Clock Tower. – 2017.