

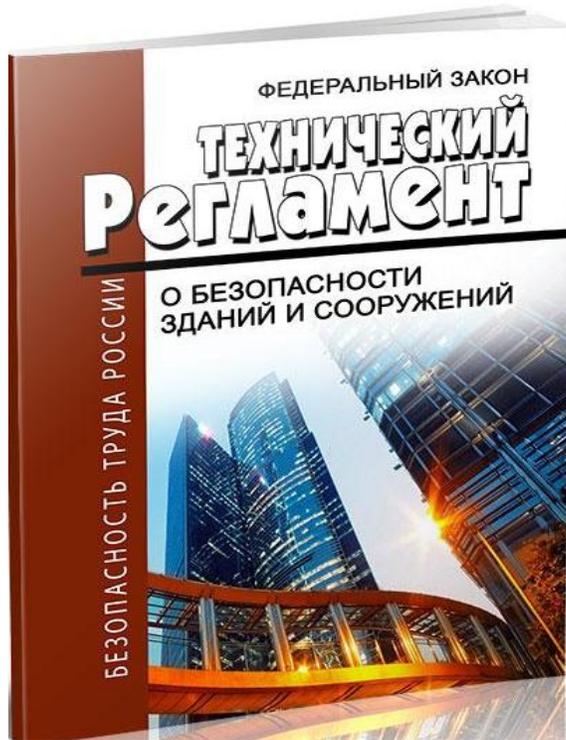
Применение цифрового двойника Зимнего дворца в решении задач эвакуации при пожаре

Богданов Алексей Валентинович , Государственный Эрмитаж

Сушкова Ольга Владимировна, Государственный Эрмитаж

Кирик Екатерина Сергеевна, ИВМ СО РАН

Обязательные требования по обеспечению безопасной эвакуации людей



ч.4 ст.8 Эвакуация людей в безопасную зону должна быть обеспечена до нанесения вреда их жизни и здоровью вследствие воздействия ОФП

ст.17, ст.30 устанавливаются проектные требования к путям эвакуации.

ст. 52. Способы защиты людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара.

ст. 53. Пути эвакуации людей при пожаре.

ст. 89. Требования пожарной безопасности к эвакуационным путям, эвакуационным и аварийным выходам.

Статьи: 54 -56, 80 -85, 88, 103, 107, 112, 114, 123, 134, 138.



Способы защиты людей и имущества от воздействия опасных факторов

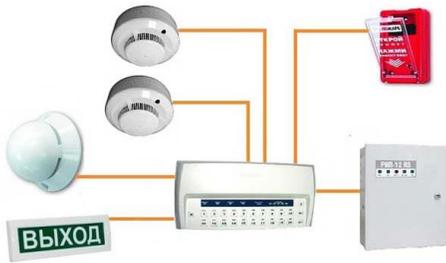
- объемно-планировочные решения



- ограничение распространения пожара



- системы обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией



- системы коллективной защиты
 - безопасные зоны
 - противодымная защита

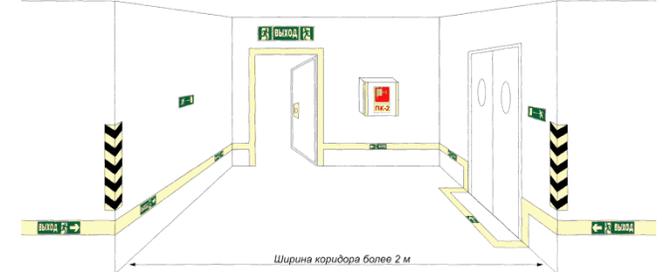
- первичные средства пожаротушения



- Автоматические (автономные) установки пожаротушения



- устройство эвакуационных путей



- Пределы огнестойкости строительных конструкций

Степень огнестойкости здания	Предел огнестойкости строительных конструкций зданий, не менее						
	несущие элементы здания	наружные не несущие стены	перекрытия между этажами (в том числе чердачные и над подвалами)	Элементы безреданных покрытий настилы (в том числе с утеплителями)	фермы, балки, прогоны	Лестничные клетки	
I	R 120	E 30	REJ 60	RE 30	R 30	REJ 120	R 60
II	R 90	E 15	REJ 45	Re 15	R 15	REJ 90	R 60
III	R 45	E 15	REJ 45	RE 15	R 15	REJ 60	R 45
IV	R 15	E 15	REJ 15	RE 15	R 15	REJ 45	R 15
V	Не нормируется						

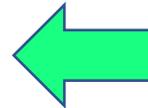
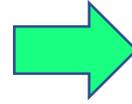
- огнезащитные составы



- аварийные устройства слива пожароопасных жидкостей, стравливания ГГ
- противовзрывная защита технологического оборудования

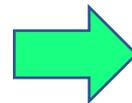
Конструктивные особенности объектов культурного наследия

Исторические двери обычных лестничных клеток не оборудованы приспособлениями для самозакрывания и уплотнения притворов



Исторические двери незадымляемых лестничных клеток типа Н2 не являются противопожарными 2-го типа

Коридоры без естественного проветривания при пожаре длиной более 15 м не оборудованы противодымной вентиляцией



Защита от воздействия опасных факторов на ОКН

➤ объемно-планировочные решения



➤ ограничение распространения пожара



➤ устройство эвакуационных путей



➤ системы обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией



➤ системы коллективной защиты

➤ - безопасные зоны
➤ - противодымная защита

➤ Пределы огнестойкости строительных конструкций



Степень огнестойкости здания	Предел огнестойкости строительных конструкций здания, не менее						
	несущие элементы здания	наружные не несущие стены	перекрытие между этажами (в том числе чердачные и над подвалами)	Элементы безбалочных покрытий		Лестничные клетки	
				настилы (в том числе с утеплителем)	фермы, балки, прогоны	внутренние стены	марши и площадки и лестниц
I	R 120	E 30	REJ 60	RE 30	R 30	REJ 120	R 60
II	R 90	E 15	REJ 45	Re 15	R 15	REJ 90	R 60
III	R 45	E 15	REJ 45	RE 15	R 15	REJ 60	R 45
IV	R 15	E 15	REJ 15	RE 15	R 15	REJ 45	R 15
V	Не нормируется						

➤ огнезащитные составы



➤ первичные средства пожаротушения



➤ Автоматические (автономные) установки пожаротушения



Условия:

- 1) необходимое количество, размеры и соответствующее конструктивное исполнение эвакуационных путей и эвакуационных выходов;
- 2) беспрепятственное движение людей по эвакуационным путям и через эвакуационные выходы;
- 3) оповещение и управление движением людей по эвакуационным путям.

Критерий:

Безопасная эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре считается обеспеченной, если интервал времени ($t_{\text{эв}}$) от момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации людей в безопасную зону не превышает необходимого времени ($t_{\text{необ}}$) эвакуации людей при пожаре.

$$t_{\text{эв}} < t_{\text{необ}}$$

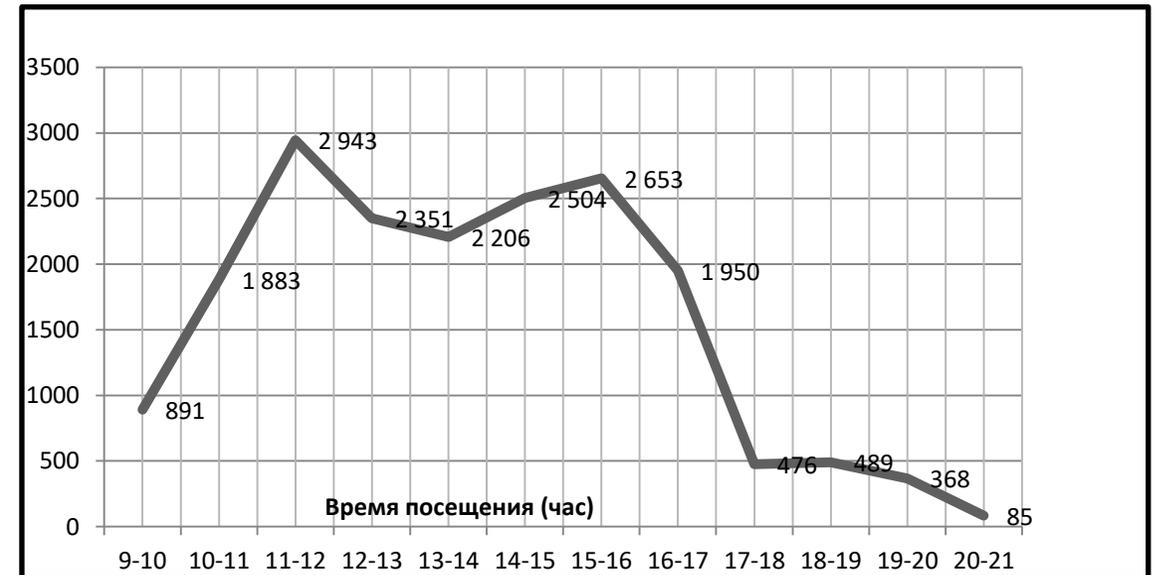
Задачи:

- взаимодействие дежурных служб и сотрудников музея с сотрудниками МЧС и Росгвардии;
- действия по немедленному вызову пожарной охраны;
- эвакуация людей и сохранность материальных и культурных ценностей;
- реальность и эффективность разработанных планов эвакуации;
- реагирование посетителей на сигналы оповещения о пожаре;
- пропускные возможности эвакуационных путей и выходов;
- время, затраченное на эвакуацию.

Подготовка:

- изучение плотности людских потоков;
- графики проходов посетителей через турникеты;
- основной контингент посетителей музеев.

График количества единовременного нахождения посетителей в музее



Проведение эвакуации



а) первый этаж; б) второй этаж; в) третий этаж



Видеосъемка. Сотрудники просят посетителей покинуть здание

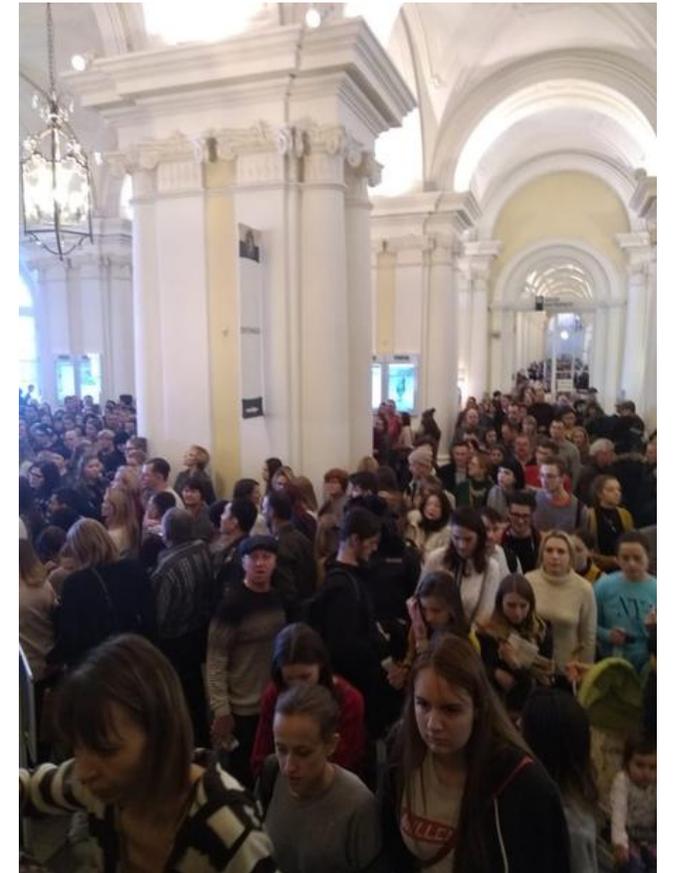
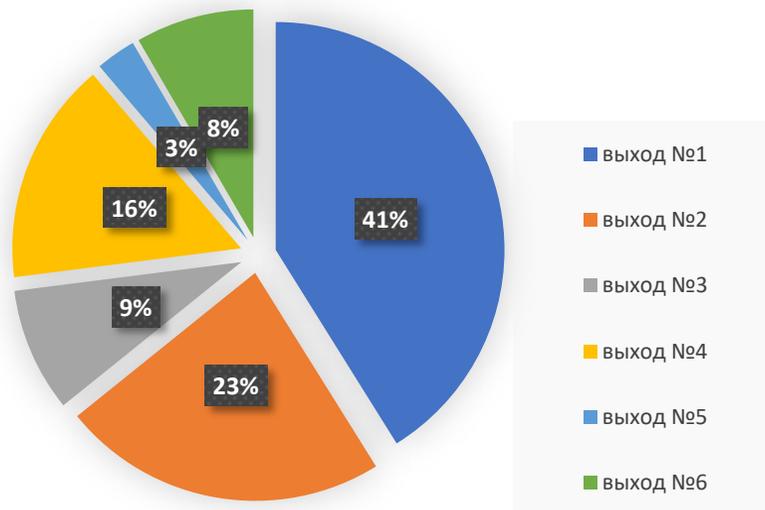


Видеосъемка. Эвакуация сотрудников и посетителей

Время эвакуации

Номер эвакуационного выхода	1	2	3	4	5	6
Время эвакуации, мин: с	6:00	4:01	6:10	6:37	3:03	2:30
Число эвакуированных, чел.	580	325	124	223	40	118

Распределение эвакуировавшихся посетителей по выходам



Видеосъемка. Эвакуация посетителей через главный вход Зимнего дворца (выход №1)

Эвакуация в случае тревоги (пожара) из музея

Критерии:

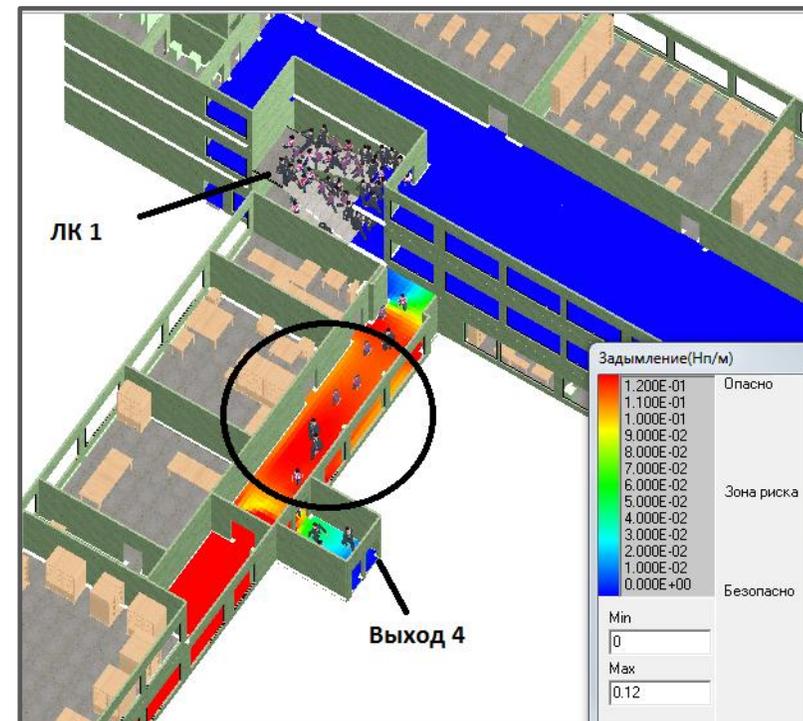
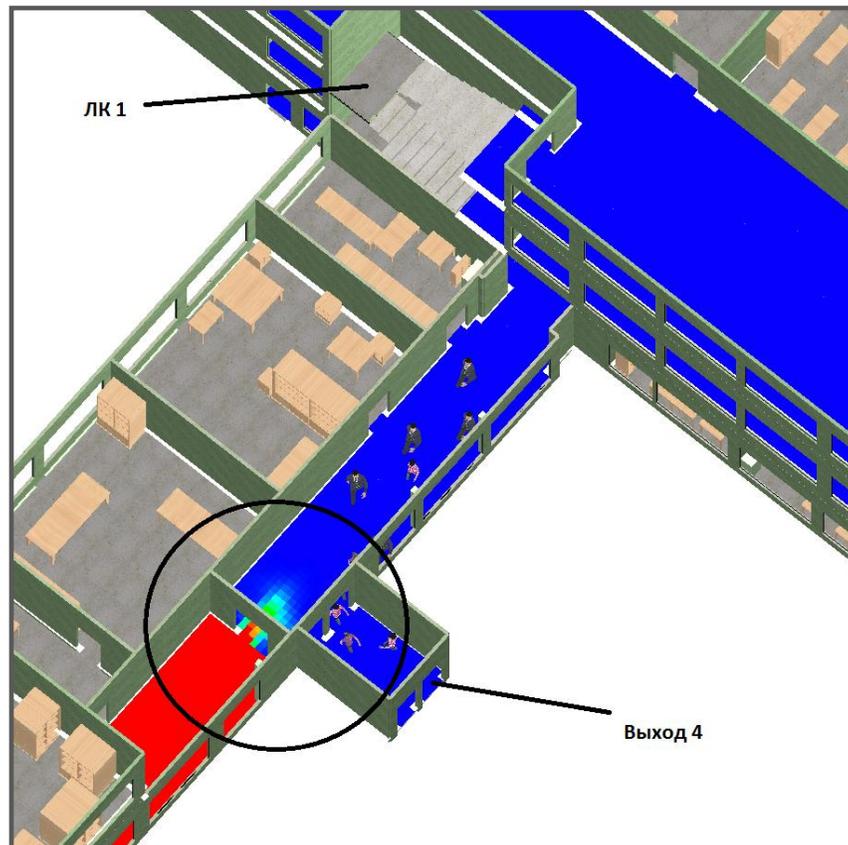
1) Обеспечение безопасных условий эвакуации для людей

$$t_{эв} < t_{необ} = t_{бл} * 0,8$$

(своевременность)

$$t_{ск} < 6 \text{ мин}$$

(беспрепятственность)



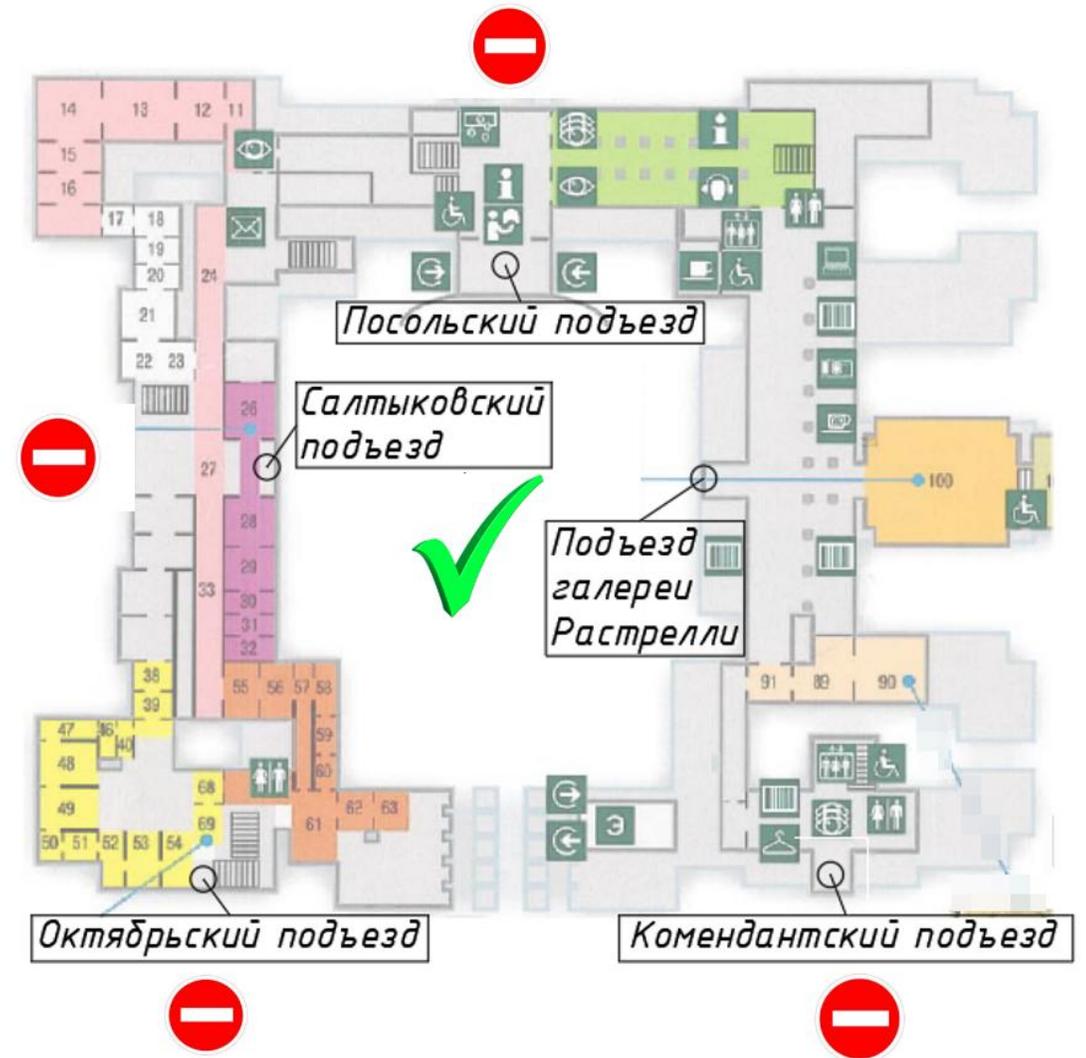
Эвакуация в случае тревоги (пожара) из музея

Критерии:

2) Обеспечение сохранности музейных экспонатов

✓ Эвакуация во внутренний двор (подъезды Посольский, Салтыковский, Растрелли) обеспечивает возможность проведения досмотровых процедур

✗ При эвакуации через Октябрьский и Комендантский подъезды требуется оцепление прилегающей территории на Дворцовой площади





Проблемы, особенности:

- 1) Специфическая планировка здания (при проектировании не предназначенная под музей)
- 2) Не однородное распределение посетителей по зданию
- 3) Непостоянный контингент посетителей
- 4) Разнородный контингент (группы мобильности)
 - > скорость движения -> длительность эвакуации
- 5) Посетители не знакомы с планировкой
 - > требуется управление
 - > требуется разработка инструкций для персонала
- 6) Низкая готовность посетителей реагировать на сигналы СПС и персонала
- 7) Разнородный состав персонала, способного организовывать эвакуацию посетителей
 - > определение ключевых позиций для размещения персонала
- 8) личные вещи посетителей, зимнее время -> определение зон безопасности внутри музея для ожидания

Цифровой двойник объекта защиты

Информационная модель здания (BIM) – это предназначенная для решения конкретных задач и пригодная для компьютерной обработки структурированная информация о проектируемом, существующем или даже утраченном строительном объекте, при этом:

1. нужным образом скоординированная, согласованная и взаимосвязанная,
2. имеющая геометрическую привязку,
3. пригодная для расчётов и количественного анализа,
4. допускающая необходимые обновления.

Информационное **моделирование** здания (BIM) — это подход к возведению, оснащению, эксплуатации и ремонту (а также сносу) здания (к управлению [жизненным циклом объекта](#)), который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании со всеми её взаимосвязями и зависимостями, когда здание и всё, что имеет к нему отношение, рассматриваются как единый объект.

СП 333.1325800.2017 (Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла)

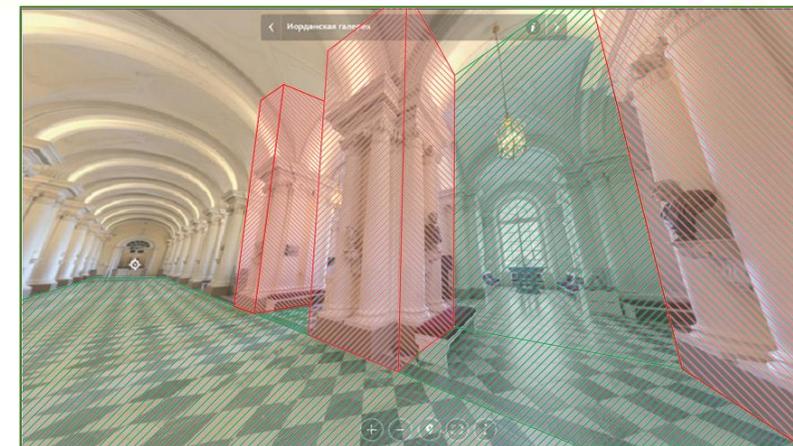
Цифровая информационная модель; ЦИМ: Объектно-ориентированная параметрическая трехмерная модель, представляющая в цифровом виде физические, функциональные и прочие характеристики объекта (или его отдельных частей) в виде совокупности информационно насыщенных элементов.

ГОСТ Р 57700.37—2021 (Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий)

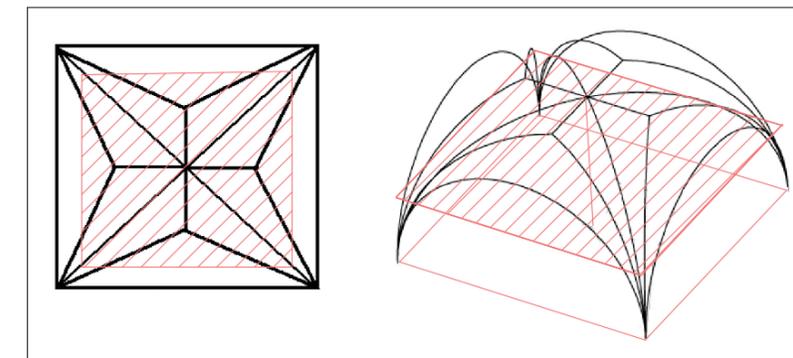
Цифровой двойник изделия; ЦД: Система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями.

Цифровая модель изделия: Система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающая структуру, функциональность и поведение вновь разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла, для которой на основании результатов цифровых и (или) иных испытаний по ГОСТ 16504 выполнена оценка соответствия предъявляемым к изделию требованиям.

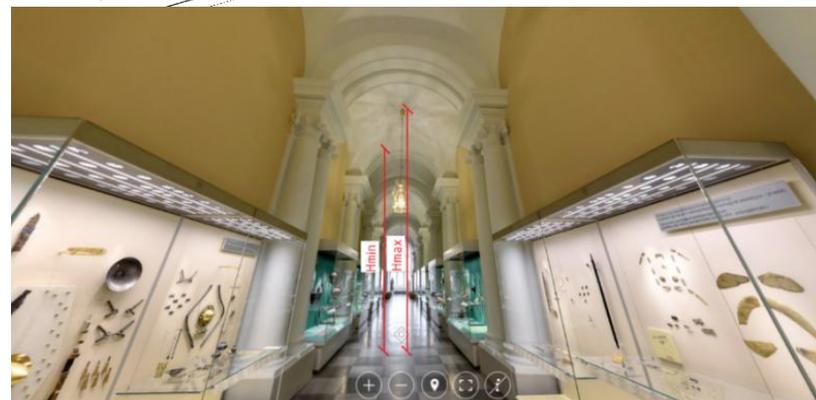
3D-модель здания Зимнего Дворца



Принятые упрощения геометрических характеристик путей эвакуации, Иорданская галерея



Секущая плоскость нервюры



Вычисление средней высоты помещения, Кутузовский коридор

Цифровой двойник = 3Dмодель + структура + данные + обратная связь

3D-модель



Структура

- ✓ Зимний дворец
 - > ✓ Подвал Центр Гардероб
 - > ✓ ЭТАЖ 4 СВ-ризолит
 - > ✓ ЭТАЖ 3
 - > ✓ ЭТАЖ 2
 - > ✓ ЭТАЖ 1
 - > ✓ л - Центр. гардероб
 - > ✓ л - Деревянная
 - > ✓ л - Центральный вход
 - > ✓ л - из 100 в Малый Эрмитаж
 - > ✓ л - Иорданская
 - > ✓ л - Малоцерковная
 - > ✓ л - Салтыковская
 - > ✓ л - Октябрьская
 - > ✓ л - Комендантская 2-3 эт
 - > ✓ л - Комендантская 1-2 эт
 - > ✓ л - выход во двор
 - > ✓ л - в Кутузовский коридор
 - > ✓ л - Конторская
 - > ✓ л - С-3 ризолит 1эт

Данные

- расположение людей, характеристики людей (скорость, площадь)
- расположение очага
- результаты расчетов (эвакуации, развития пожара) -> схемы эвакуации

Обратная связь

- устройства систем (СПС, СОУЭ)

Настройка СОУЭ для управления эвакуацией (пример)

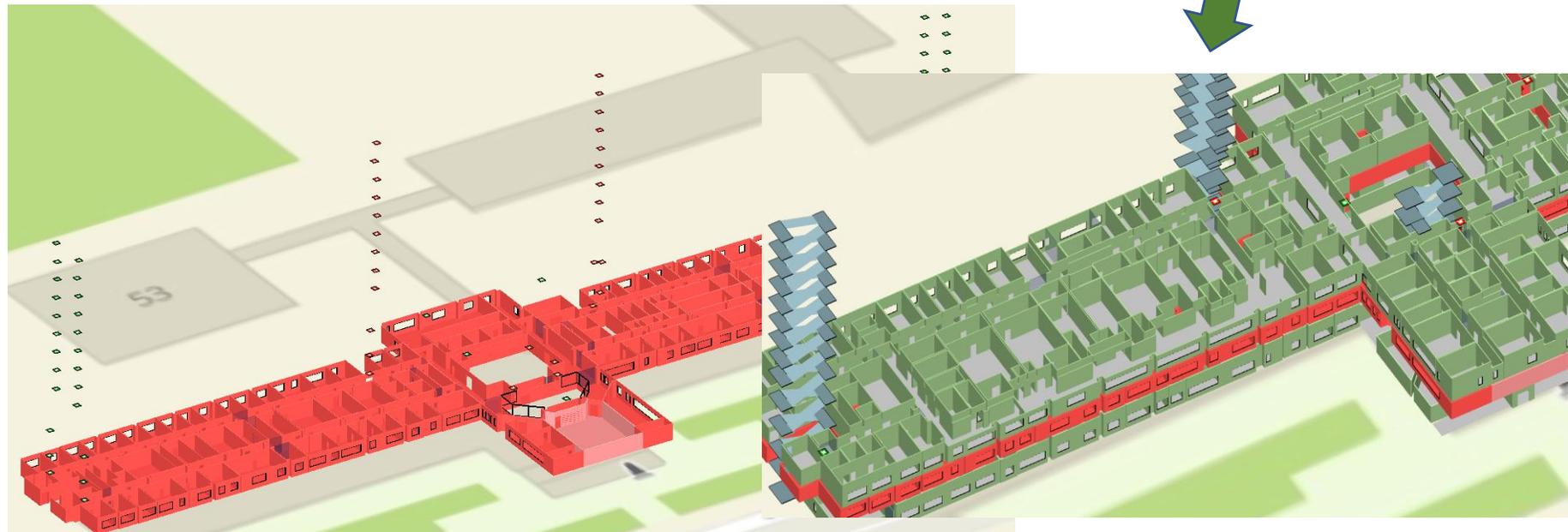


ПЦН

Мониторинговая станция 6.3.0.714 на шлюз@localhost/Contact
 Файл | Администрирование | Контроль связи | Все события | Справка

Дата	Объект №	Название объекта	Событие	Раздел №	Зона №	Название зоны	Название раздела	СДМ
06.10.2021 11:02:58	3041	мкр. "ВДДПАР"	Трешка по зоне	2	101	СМК на рошете (входной двери)	Охрана	ТСР3058
06.10.2021 11:02:55	3151	БК "Тенис" г. Ардон	GPS объект вышел на связь	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 11:02:34	1002	СОБ с. Майрамак	Автоматический тест	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 11:01:45	3192	8ТЗТ на Майера	Нет контрольного сигнала с RF датчика	0	57		Служебный	СДМ5
06.10.2021 11:00:52	516	ДС № 5 "Скала" г. Ардон	GPS объект вышел на связь	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 11:00:23	3179	Владикавказский военный гарнизон/ВОССТ	Нет контрольного сигнала с RFM датчика	0	9		Служебный	СДМ5
06.10.2021 11:00:22	3179	Владикавказский военный гарнизон/ВОССТ	Нет контрольного сигнала с RFM датчика	0	9		Служебный	СДМ5
06.10.2021 11:00:07	1002	СОБ с. Майрамак	GPS объект вышел на связь	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:51	3179	Владикавказский военный гарнизон/ВОССТ	Нет контрольного сигнала с RFM датчика	0	7		Служебный	СДМ5
06.10.2021 10:59:50	3179	Владикавказский военный гарнизон/ВОССТ	Нет контрольного сигнала с RFM датчика	0	7		Служебный	СДМ5
06.10.2021 10:59:43	3062	продуватель на входе "ЭМИРАТ" з/б	Автоматический тест	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:37	3151	БК "Тенис" г. Ардон	GPS связь с объектом завершена	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:33	1010	ДС с. Нижний Барзган (ТС)	Автоматический тест	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:33	1033	ДК п. Мизур (ТС)	Автоматический тест	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:33	1033	ДК п. Мизур (ТС)	ВОССТ: Автогосп не прошёл	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:33	402	Борис	Автоматический тест	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:33	3128	мкр. "ПИЗАН", г. Дигора, ДС	Автоматический тест	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:33	3284	БК "Лига ставок" Танден ПС	Автоматический тест	0	0	Информация по объекту	Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:32	3058	МИК АМС с. Красный Ход (ТС)	Автоматический тест	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:32	1035	ДК с. Улаладон (ТС)	Автоматический тест	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:32	3172	Пункт ТД автомобильный	Автоматический тест	0	0	Информация по объекту	Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:32	1037	ДК с. Ногкау (ТС)	Автоматический тест	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:32	1037	ДК с. Ногкау (ТС)	ВОССТ: Автогосп не прошёл	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:32	491	ООО ВПЗ (Ирванский)	Автоматический тест	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:32	3055	Пункт проверки на входе с. Н. Физжа	Автоматический тест	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:59:31	3105	БК "Лига Ставок" - ЦД, Метро	Снятие разряда с батареи	2	2		Охрана	ТСР3058
06.10.2021 10:59:12	3201	Агентство по развитию республики	Автоматический тест	0	3		Служебный	СДМ5
06.10.2021 10:58:43	3107	Овиег Прельвар Кую	GPS объект вышел на связь	0	0	Информация по объекту	Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:58:44	3064	МИК АМС с. Энас (ТС)	GPS связь с объектом завершена	0	0		Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:58:32	3222	ДС №9 Ардон ПС	Автоматический тест	0	3		Служебный	СДМ5
06.10.2021 10:58:30	3179	Владикавказский военный гарнизон/ВОССТ	Нет контрольного сигнала с RFM датчика	0	9		Служебный	СДМ5
06.10.2021 10:58:29	3179	Владикавказский военный гарнизон/ВОССТ	Нет контрольного сигнала с RFM датчика	0	9		Служебный	СДМ5
06.10.2021 10:58:21	3107	Овиег Прельвар Кую	GPS связь с объектом завершена	0	0	Информация по объекту	Служебный	ТСР3058
06.10.2021 10:58:20	3179	Владикавказский военный гарнизон/ВОССТ	Нет контрольного сигнала с RFM датчика	0	9		Служебный	СДМ5
06.10.2021 10:58:19	3179	Владикавказский военный гарнизон/ВОССТ	Нет контрольного сигнала с RFM датчика	0	8		Служебный	СДМ5

Объект и элементы его СПЗ



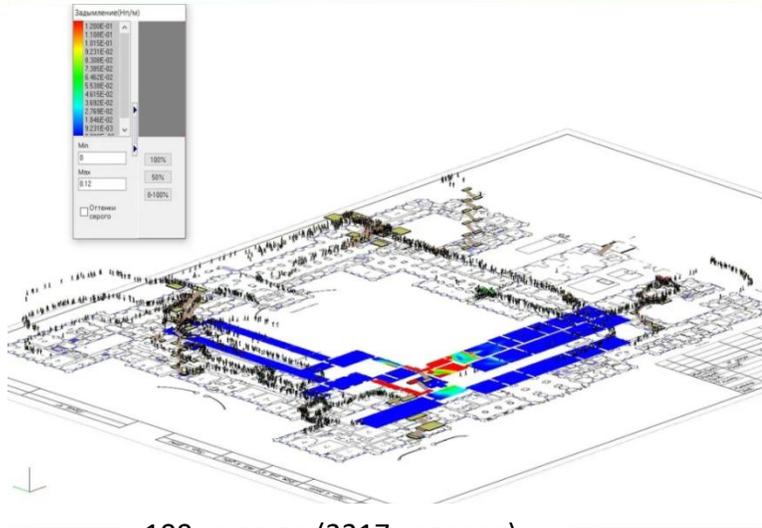
2D-3D визуализация,
Управление состоянием
знаков СОУЭ



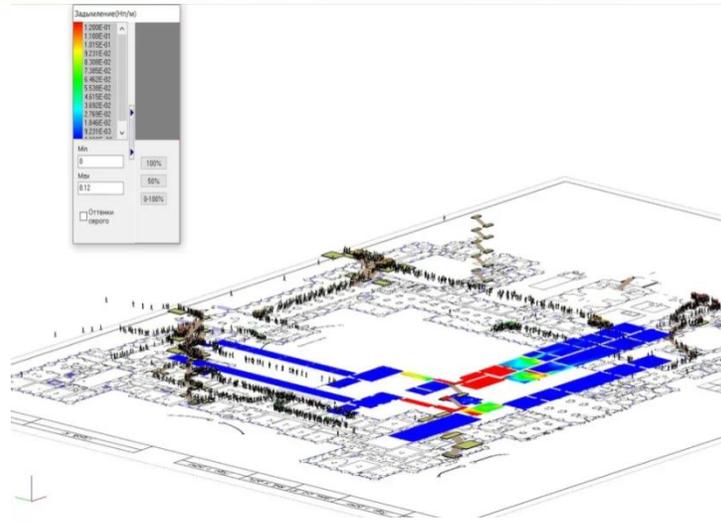
Реализуемость в практической деятельности:

- схемы эвакуации для разных сценариев отличаются только в объеме, необходимом и обоснованном местом размещения очага (или другого блокирующего фактора);
- из одного зала все люди направляются одним маршрутом;
- основной механизм маршрутизации (управления направлением движения) закрытие дверей для однозначного формирования маршрута;
- посетители анфилад (систем залов, разделенных открытыми проемами) направляются в одну сторону;
- исключение встречных и пересекающихся потоков;
- на основе анализа динамики развития пожара и выявленных временных характеристик выбираются маршруты безопасные, но более длинные для ускорения эвакуации в наиболее уязвимых узлах здания;
- критерий обеспечения безопасности людей первичней задачи обеспечения музейных ценностей.

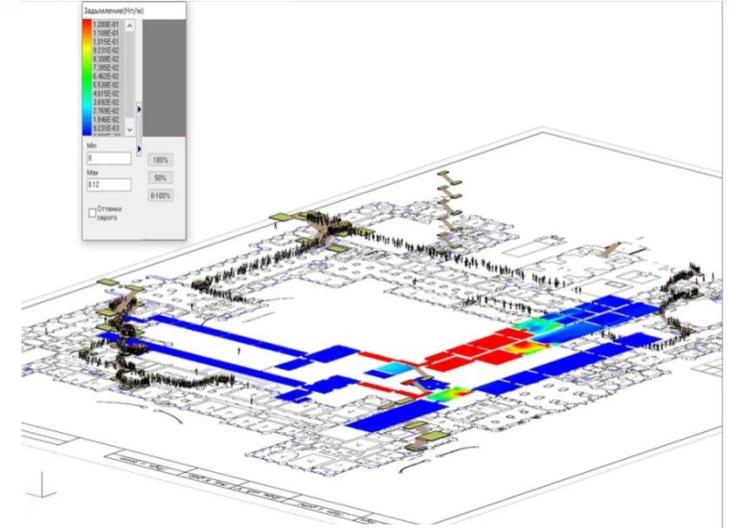
Динамика задымления этажей при пожаре и эвакуации (очаг – Деревянная лестница)



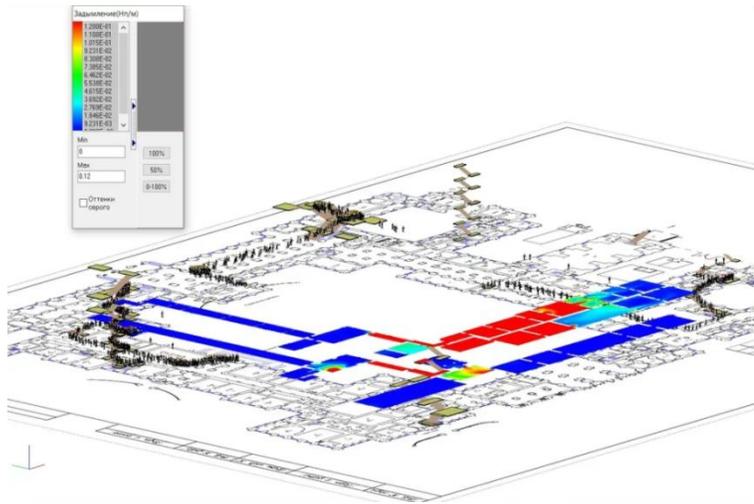
100 секунда (3317 человек)



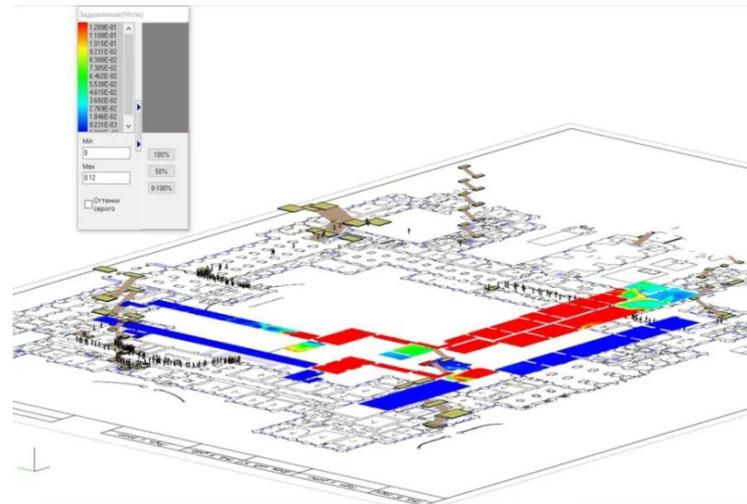
150 секунда (2809 человек)



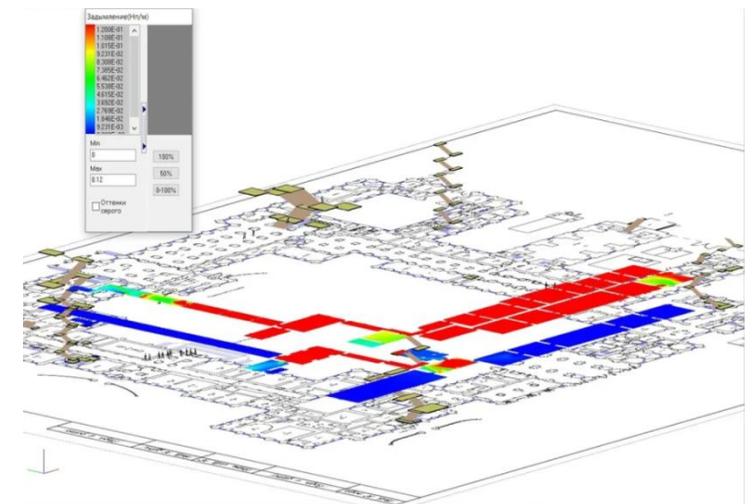
240 секунда (1682 человека)



300 секунда (1203 человека)



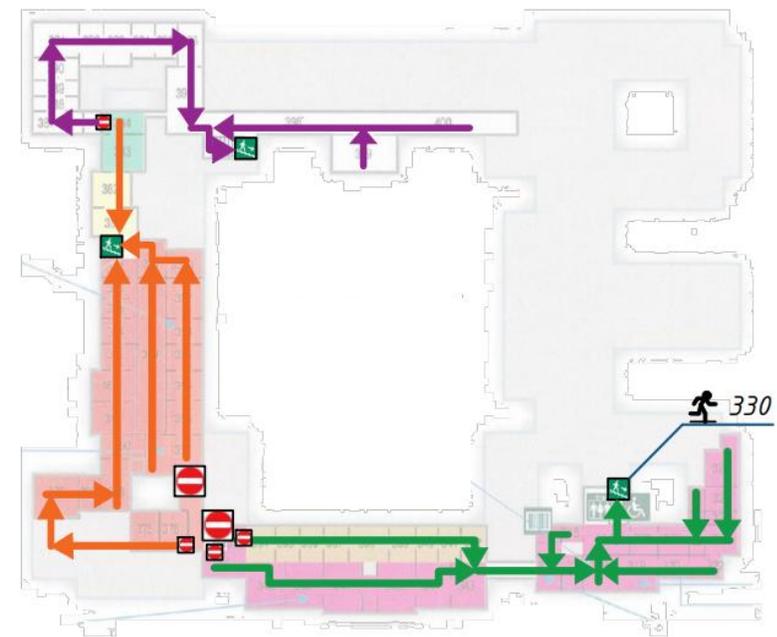
420 секунда (312 человек)



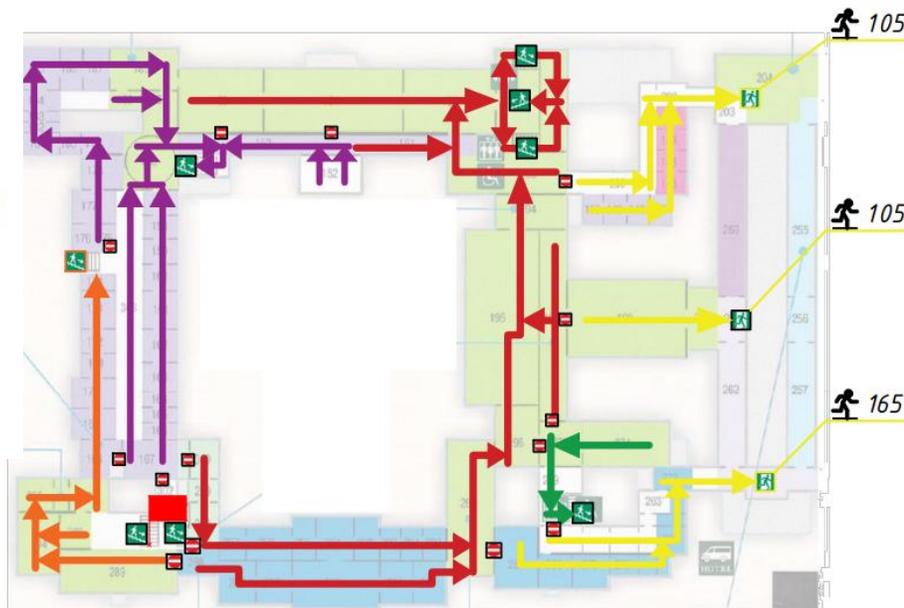
560 секунда (17 человек)

Пример подготовки схемы эвакуации для инструктирования персонала

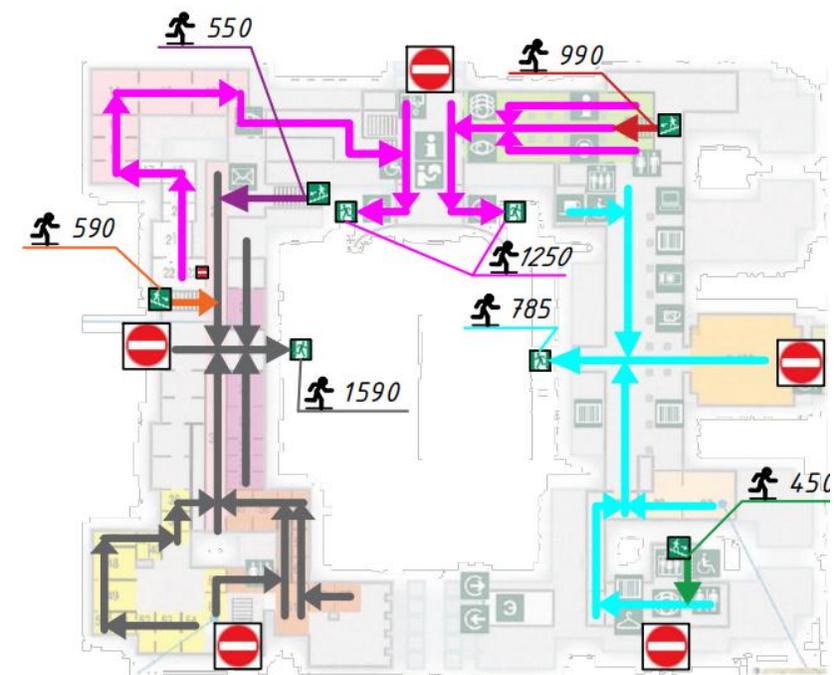
Очаг в фойе Деревянной лестницы на 2-м этаже



3 этаж



2 этаж



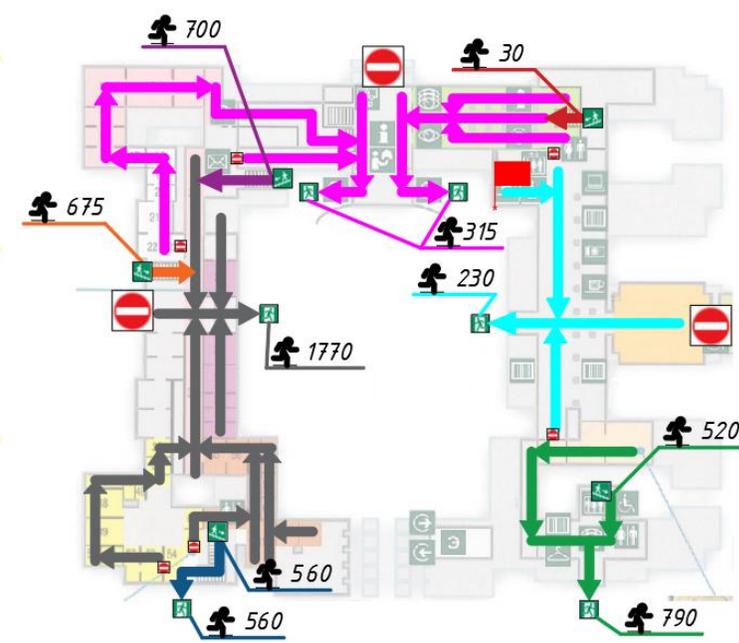
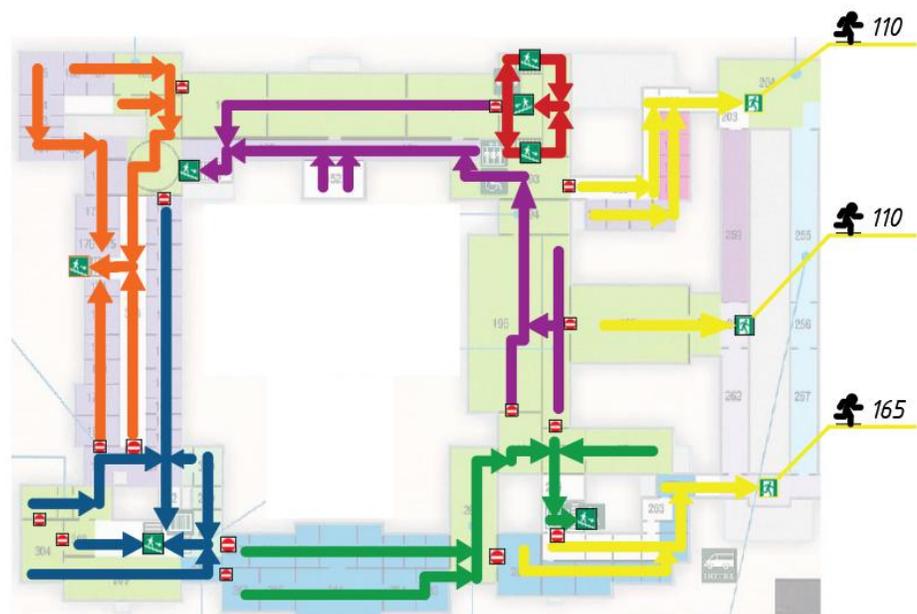
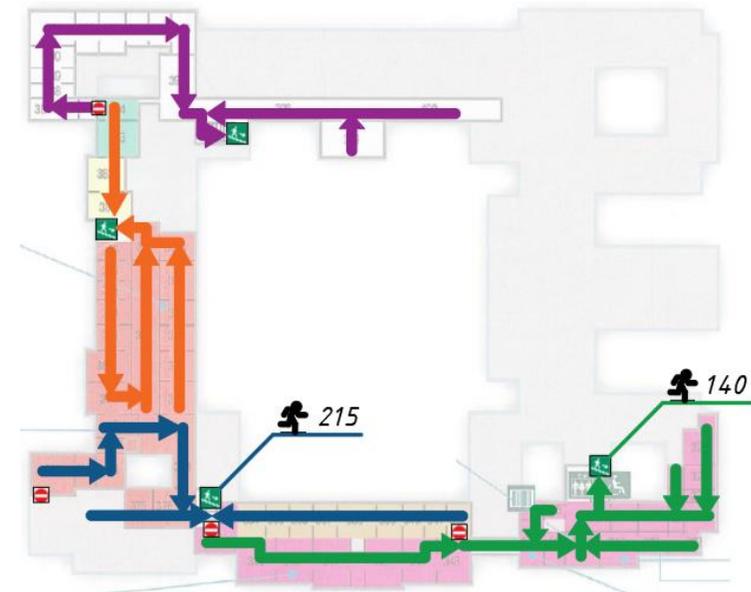
1 этаж

Исключаются:

- Деревянная и Октябрьская лестницы,
- допустимо исключение Октябрьского и Комендантского подъездов

Управление дверями в районе очага (в 288 (Франц. ис-во XVIII), в 302 (Туалетные приборы XVII-XIX))

Очаг в Буфете (Галерея Растрелли)

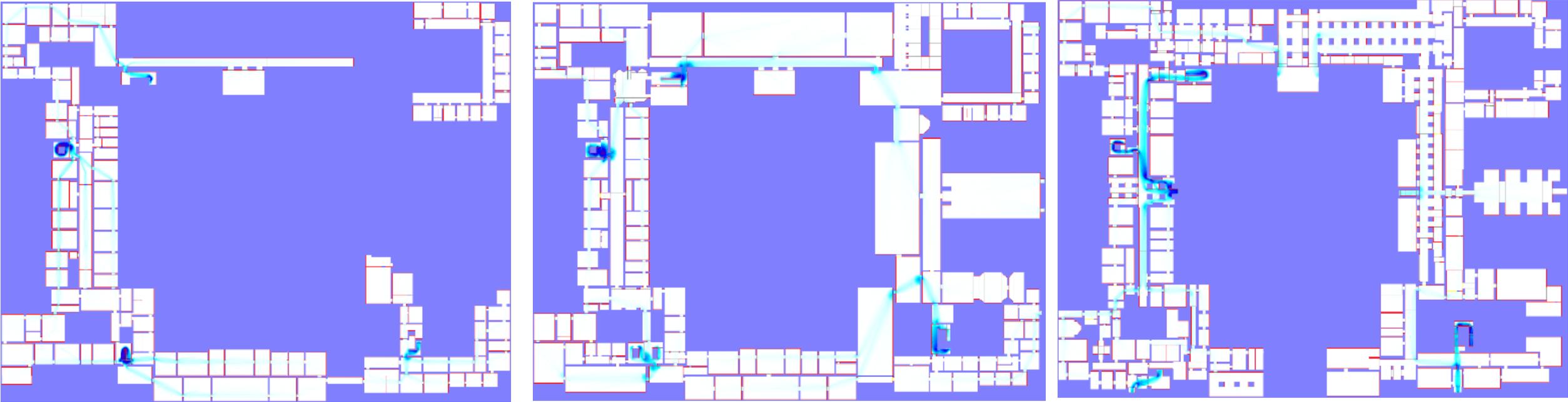


Исключаются:

- Иорданская лестница,
- подъезды Посольский и Растрелли (в них эвакуируются только с 1-го этажа)

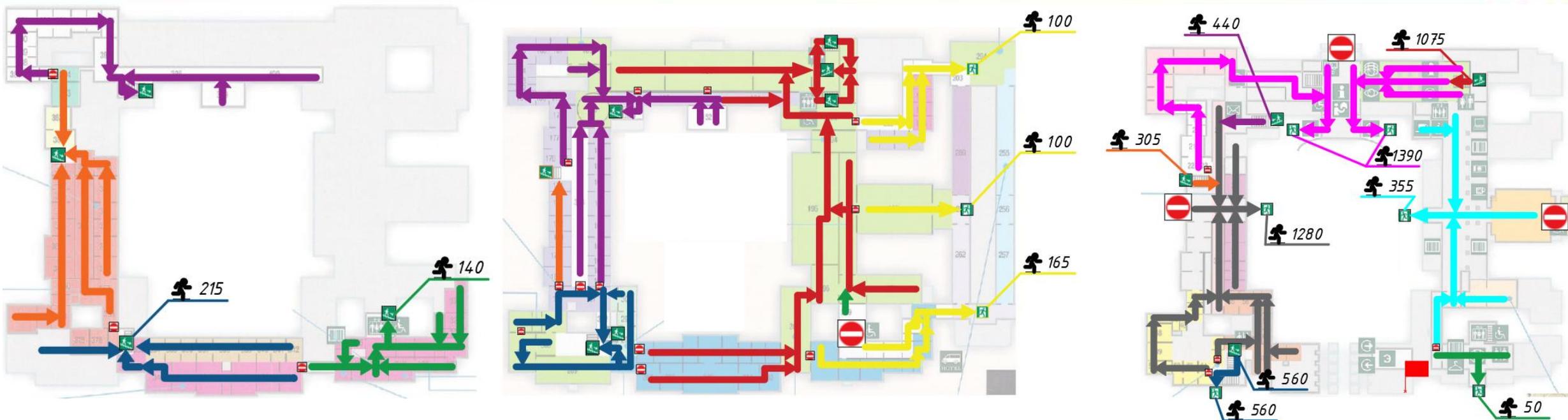
Управление дверями в районе очага (в Иорданскую галерею, в зал Культуры Пальмиры - 91)

Очаг в Буфете (Галерея Растрелли)



Поле интенсивности движения людей при эвакуации

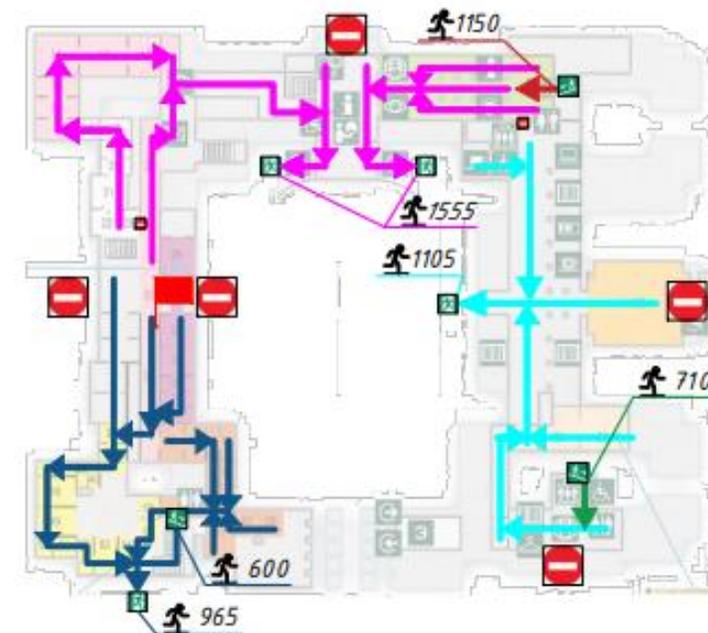
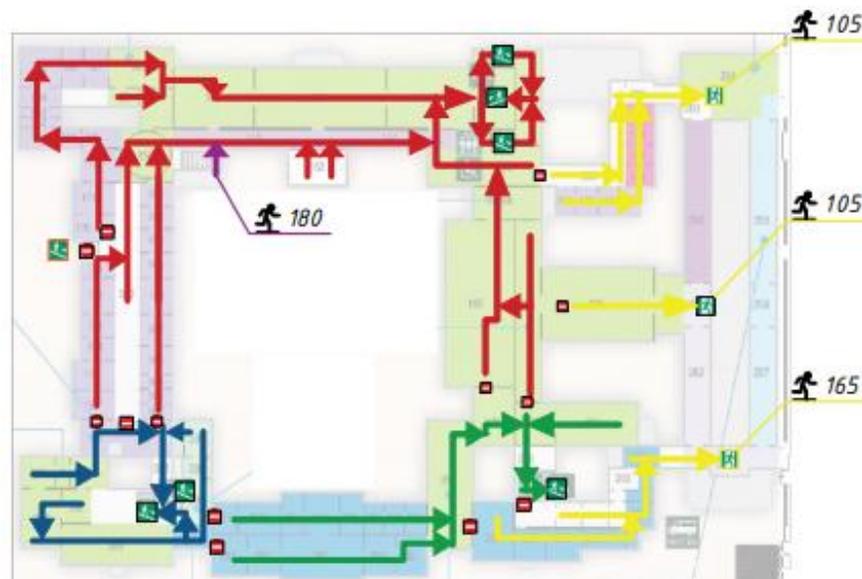
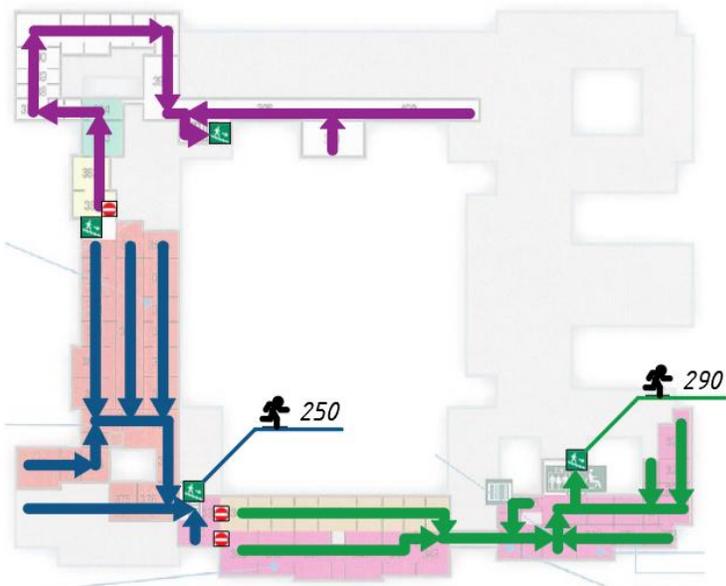
Очаг в Комендантском гардеробе



Исключаются:

- Комендантская лестница со 2-го на 1-й этаж,
- Комендантский подъезд (используют только люди с первого этажа)

Очаг в фойе Салтыковского подъезда

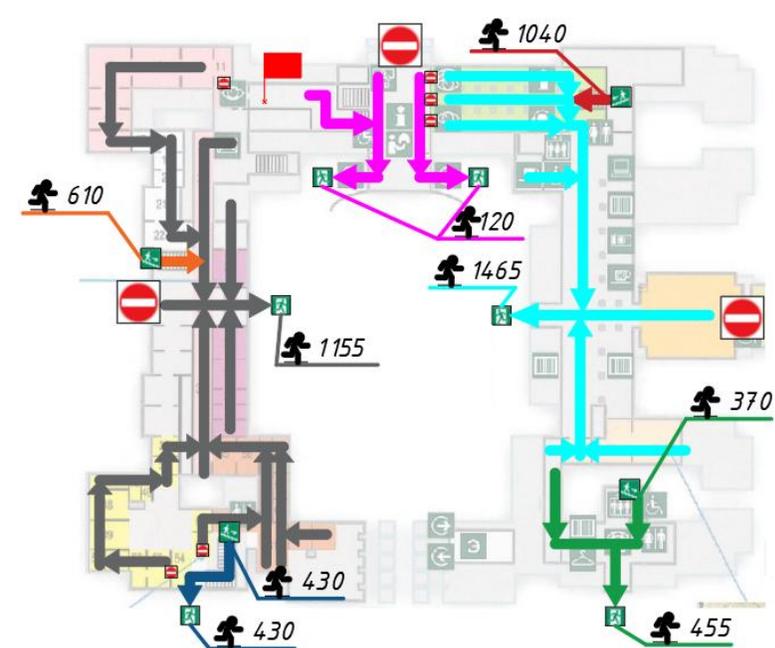
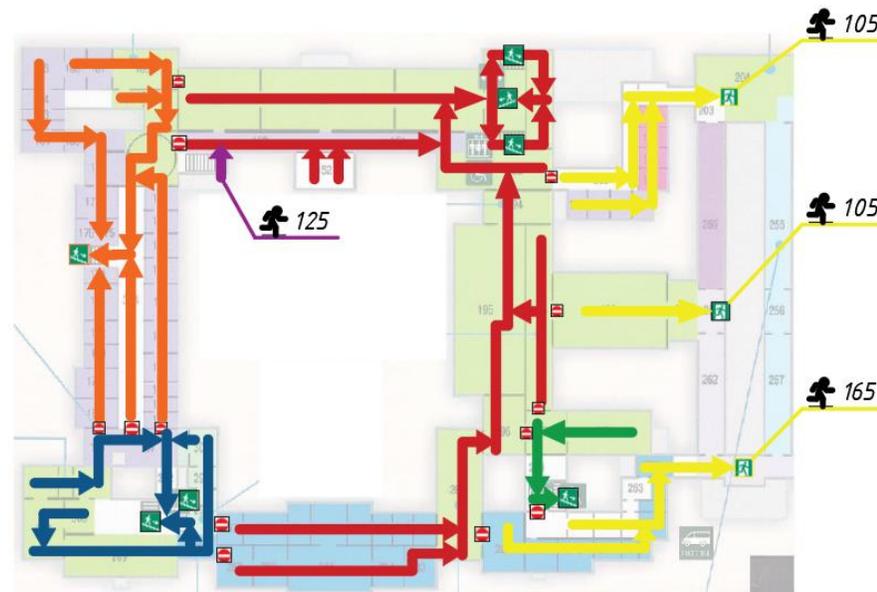
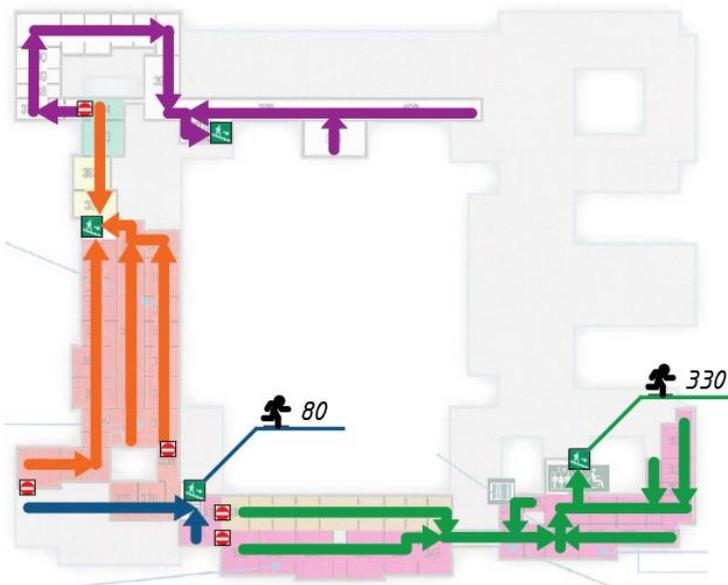


Исключаются:

- Большая церковная лестница со 2-го на 1-й этаж,
- Салтыковский подъезд (используют только люди с первого этажа),
- допустимо исключение Комендантского подъезда

Управление дверями в районе очага (в «торцах» Кутузовского коридора)

Очаг в Школьном гардеробе

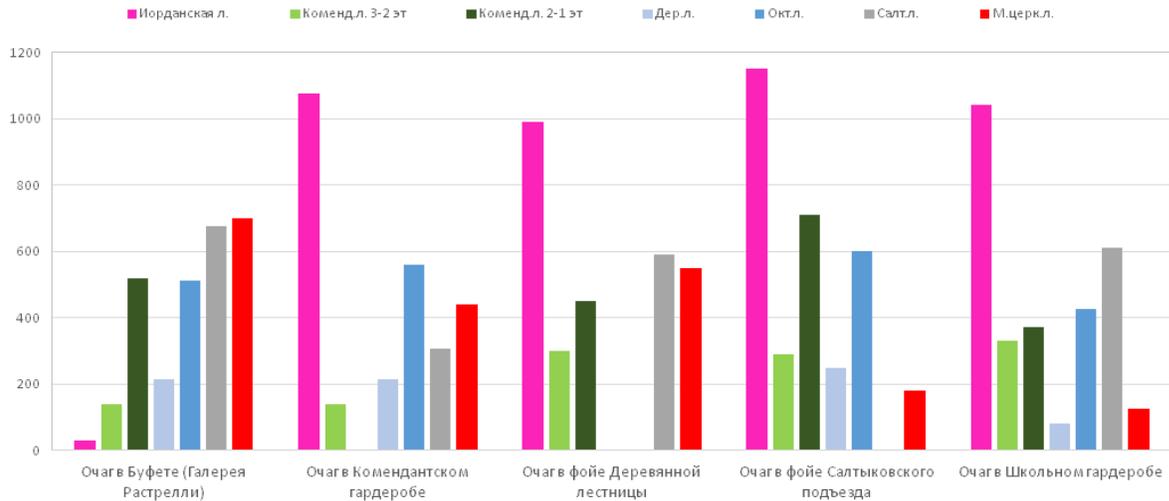


Исключаются:

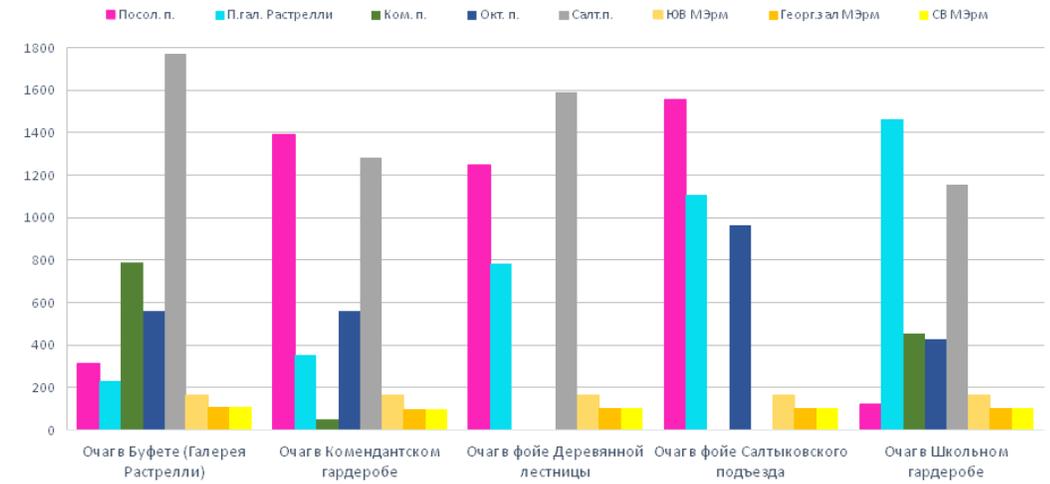
- (Мало)Церковная лестница со 2-го на 1-й этаж,
- Посольский подъезд (в него эвакуируются только с 1-го этажа),
- минимизируется использование Октябрьского подъезда за счет эвакуации людей только с этажей 2 и 3

Результаты в цифрах (время эвакуации и необходимое)

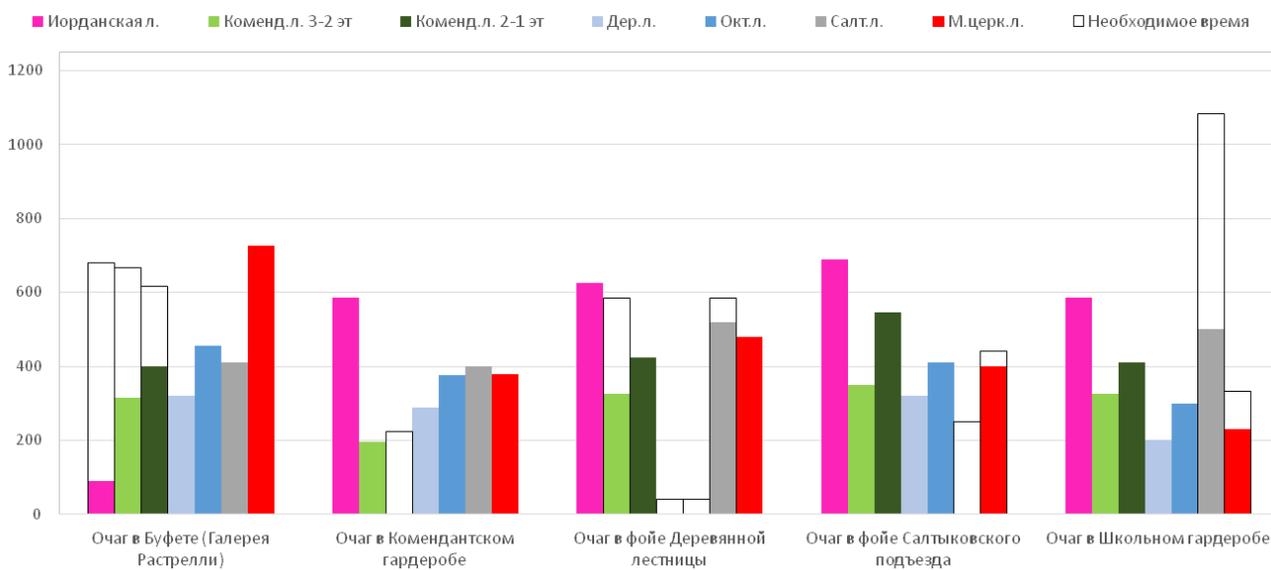
Распределение людей по ЛЕСТНИЦАМ Зимнего Дворца, чел.



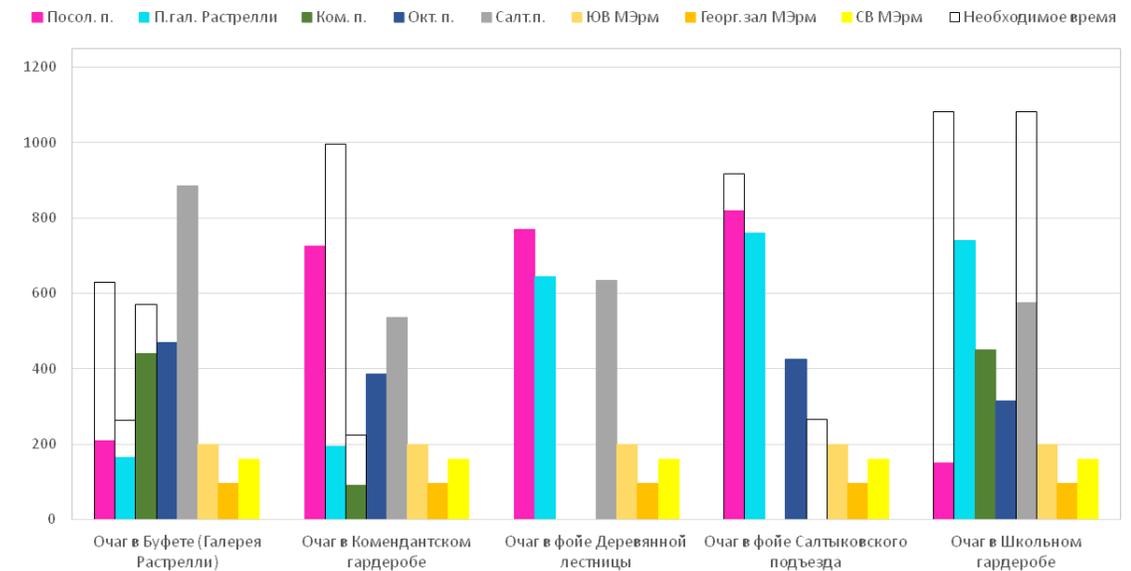
Распределение людей по ВЫХОДАМ из Зимнего дворца, чел.



Время эвакуации людей по ЛЕСТНИЦАМ Зимнего дворца и необходимое время, с



Время эвакуации людей через ВЫХОДЫ из Зимнего дворца и необходимое время, с



- Установлено максимальное число посетителей (4000), при котором обеспечиваются условия безопасной эвакуации
- Определены временные характеристики процесса эвакуации с учетом МГН
- Определено необходимое время эвакуации
- Установлены маршруты эвакуации, обеспечивающие безопасную эвакуацию людей и сохранность музейных экспонатов при различных очагах пожара
- Рассчитанные сценарии являются основой:
 - инструкций для персонала,
 - проведения тренировочных эвакуаций,
 - решения логистических задач штатного расписания Службы Безопасности музея
 - оценка возможности спасения музейных ценностей
(допустимое время безопасных условий для людей и экспонатов)

Открытые вопросы

- 1) Характеристики пожароопасных свойств принятой горючей нагрузки (ГН)
- 2) Воздействие ОФП на экспонаты
- 3) Скорость свободного движения людей (скорость потока)

Текущее решение - оценка с запасом:

- 1) завышенные характеристики ГН -> заниженное значение времени блокирования путей эвакуации
- 2) заниженная скорость движения -> завышенное время эвакуации

Требуется:

- 1) проведение исследований по определению пожароопасных свойств нагрузок, характерных для музеев (исторических зданий)
- 2) изучение (в том числе с использованием компьютерного моделирования) воздействие ОФП на экспонаты
- 3) изучение поведения людей в музеях при побуждении к эвакуации