название организации-исполнителя

Отчёт

по результатам расчета по оценке пожарного риска

на производственном объекте

«Контроллерная»

расположенном по адресу

г. Москва

Пример отчета выполнен в программе Fenix+

Заказчик:
название организации-заказчика
почтовый адрес

Отчет согласовал:
имя руководителя

Исполнитель:
название организации-исполнителя
почтовый адрес

Отчет утвердил:
имя руководителя

Отчет выполнил:
имя инженера

Рег. номер XX-000 от
01.01.2025 г.

01.01.2025

Содержание

Наименование и адрес объекта защиты 4

Анализ пожарной опасности объекта защиты 5

Данные о системах обеспечения пожарной безопасности 5

Исходные данные для проведения расчета по оценке пожарного риска 8

Сценарий 1 8

Сценарий 2 8

Сценарий 3 9

Наименование использованной методики расчета по оценке пожарного риска 10

Методика расчета 10

Общие положения 10

Порядок вычисления расчетных величин пожарного риска на объекте 12

Потенциальный риск в зданиях объекта 12

Индивидуальный пожарный риск в зданиях 18

Формулировка математической модели и моделирование динамики развития пожара 19

Формулировка математической модели и моделирование эвакуации людей из здания при пожаре 20

Значения расчетных величин пожарного риска 26

Расчет времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара 26

Сценарий 1 26

Сценарий 2 31

Сценарий 3 45

Определение расчетного времени эвакуации людей из здания 50

Сценарий 1 50

Сценарий 2 59

Сценарий 3 68

Определение вероятности эвакуации людей из здания при пожаре 76

Сценарий 1 76

Сценарий 2 77

Сценарий 3 78

Определение вероятности эффективной работы технических средств 79

Сценарий 1 79

Сценарий 2 81

Сценарий 3 83

Определение условной вероятности поражения человека 85

Сценарий 1 85

Сценарий 2 85
Сценарий 3 86
Определение потенциального риска в помещениях здания 87
Оценка величины индивидуального риска для работника при его нахождении в здании 88
Вывод о соответствии расчетных величин пожарного риска нормативным значениям. 89
Список литературы 90
Приложения 91
Приложение № 1. Результаты моделирования процесса эвакуации 91
Сценарий 1 91
Сценарий 2 91
Сценарий 3 92
Приложение № 2. Результаты моделирования процесса развития пожара 92
Сценарий 1 92
Сценарий 2 92
Сценарий 3 99
Приложение № 3. Параметры эвакуационных путей 99
Сценарий 1 100
Сценарий 2 100
Сценарий 3 100
Приложение № 4. Частоты возникновения пожаров в зданиях 101
Приложение № 5. Контингенты людей, используемые в проекте 102
М1 102
Приложение № 6. Схемы эвакуации 104
Сценарий 1 105
Сценарий 2 106
Сценарий 3 107

Наименование и адрес объекта защиты

Наименование объекта: "Контроллерная"

Адрес объекта: г. Москва

Анализ пожарной опасности объекта защиты

В рассматриваемом здании работают представители профессий, представленных в таблице 1.

Таблица 1

Профессия	Количество рабочих часов в день	Количество рабочих дней в году	Количество рабочих часов в год	Цветовое обозначение
Оператор	16	255	4080	
Электрик	0,5	255	127,5	

Вероятность присутствия работника в помещении определяется как соотношение рабочих часов в помещении в течение года к общему количеству часов в году. Принимаем, что в году 8760 часов (365 дней по 24 часа).

Таблица 2. Определение вероятности присутствия работника в помещении

Помещение	Профессия	Время присутствия в помещении, часов в сутки	Рабочих часов в год	Вероятность присутствия, q_{nm}
Этаж 1				
Помещение контроллерной	Оператор	8	2040	$2{,}329 \cdot 10^{-1}$
Помещение трансформаторной	Электрик	0,5	127,5	$1{,}455 \cdot 10^{-2}$
Помещение электрооборудования	Оператор	8	2040	$2{,}329 \cdot 10^{-1}$

Данные о системах обеспечения пожарной безопасности

В таблице 3 представлены вероятности эффективного срабатывания (выполнения задачи) технических средств по обеспечению пожарной безопасности (D_{njk}).

Таблица 3. Вероятность эффективного срабатывания технических средств

Помещение	Системы противодымной защиты (СПДЗ)	Автоматические установки пожарной сигнализации (АУПС)	Автоматические установки пожаротушения (АУП)	Системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ)	Схема запуска технических средств
Этаж 1					
Коридор	0 Нет информации	0 Нет информации	0 Нет информации	0 Нет информации	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС
Помещение контроллерной	0 Нет информации	0 Нет информации	0 Нет информации	0 Нет информации	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС
Помещение трансформаторной	0 Нет информации	0 Нет информации	0 Нет информации	0 Нет информации	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС
Помещение электрооборудования	0 Нет информации	0 Нет информации	0 Нет информации	0 Нет информации	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС
Тамбур	0 Нет информации	0 Нет информации	0 Нет информации	0 Нет информации	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС

Были рассмотрены следующие сценарии развития пожара.

Таблица 4. Сценарии развития пожара

Наименование сценария	Расположение очага пожара	Очаг пожара	Параметры очага пожара
Сценарий 1	Этаж 1, Помещение контроллерной	Очаг пожара 1	Горючая нагрузка: Текстолит, карболит Максимальная возможная площадь горения: 6,979 м² Максимальная фактическая площадь горения: 1,767 м² Удельная мощность 147,721 кВт/м²
Сценарий 2	Этаж 1, Помещение	Очаг пожара 1	Горючая нагрузка: Текстолит, карболит

	электрооборудования		Максимальная возможная площадь горения: 6,393 м² Максимальная фактическая площадь горения: 1,767 м² Удельная мощность 147,721 кВт/м²
Сценарий 3	Этаж 1, Помещение трансформаторной	Очаг пожара 1	Горючая нагрузка: Текстолит, карболит Максимальная возможная площадь горения: 18,282 м² Максимальная фактическая площадь горения: 1,767 м² Удельная мощность 147,721 кВт/м²

Исходные данные для проведения расчета по оценке пожарного риска

Сценарий 1

Класс функциональной пожарной опасности: Ф5 (Электростанции)

Частота возникновения пожара в помещениях здания принимается с определенным запасом надежности согласно табл. П1.1 приложения 1 методики [4] и составляет $Q_j = 2{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 71{,}034 = 1{,}563 \cdot 10^{-3}$ год$^{-1}$

Таблица 5. Экспликация помещений

Наименование	Площадь, м²	Количество людей	С очагом пожара	Зальное помещение	Категория пожарной опасности
Этаж 1					
Коридор	17,513	0			Нет информации
Помещение контроллерной	71,034	1	+	+	Нет информации
Помещение трансформаторной	101,75	1			Нет информации
Помещение электрооборудования	41,815	1			Нет информации
Тамбур	3,969	0			Нет информации

Сценарий 2

Класс функциональной пожарной опасности: Ф5 (Электростанции)

Частота возникновения пожара в помещениях здания принимается с определенным запасом надежности согласно табл. П1.1 приложения 1 методики [4] и составляет $Q_j = 2{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 41{,}815 = 9{,}199 \cdot 10^{-4}$ год$^{-1}$

Таблица 6. Экспликация помещений

Наименование	Площадь, м²	Количество людей	С очагом пожара	Зальное помещение	Категория пожарной опасности
Этаж 1					
Коридор	17,513	0			Нет информации

Помещение контроллерной	71,034	1		+	Нет информации
Помещение трансформаторной	101,75	1			Нет информации
Помещение электрооборудования	41,815	1	+		Нет информации
Тамбур	3,969	0			Нет информации

Сценарий 3

Класс функциональной пожарной опасности: Ф5 (Электростанции)

Частота возникновения пожара в помещениях здания принимается с определенным запасом надежности согласно табл. П1.1 приложения 1 методики [4] и составляет $Q_j = 2{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 101{,}750 = 2{,}239 \cdot 10^{-3}$ год$^{-1}$

Таблица 7. Экспликация помещений

Наименование	**Площадь, м²**	**Количество людей**	**С очагом пожара**	**Зальное помещение**	**Категория пожарной опасности**
Этаж 1					
Коридор	17,513	0			Нет информации
Помещение контроллерной	71,034	1		+	Нет информации
Помещение трансформаторной	101,75	1	+		Нет информации
Помещение электрооборудования	41,815	1			Нет информации
Тамбур	3,969	0			Нет информации

Наименование использованной методики расчета по оценке пожарного риска

Расчет пожарного риска выполнен в соответствии с приложением к Приказу МЧС России № 533 от 26.06.2024 г. «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах.

Моделирование динамики развития пожара проводилось по полевой модели с помощью программы FDS (Fire Dynamic Simulator) разработанной Национальным институтом стандартов и технологии НИСТ/NIST, США.

Моделирование эвакуации проводилось по индивидуально-поточной модели движения людей с помощью программного комплекса Fenix+ (Заключение Академии ГПС МЧС РФ №34/25-2013 от 01.04.2013)

Методика расчета

Общие положения

- Настоящая методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (далее - Методика) устанавливает порядок расчета величин пожарного риска на производственных объектах (далее - объект).

Положения настоящей Методики не распространяются на определение расчетных величин пожарного риска производственных объектов специального назначения, в том числе объектов военного назначения, объектов производства, переработки, хранения радиоактивных и взрывчатых веществ и материалов, объектов уничтожения и хранения химического оружия и средств взрывания, наземных космических объектов и стартовых комплексов, горных выработок, объектов, расположенных в лесах.

- Расчеты по оценке пожарного риска проводятся путем сопоставления расчетных величин пожарного риска с соответствующими нормативными значениями пожарных рисков, установленными Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее - Технический регламент).
- Определение расчетных величин пожарного риска на объекте осуществляется на основании:

а) анализа пожарной опасности объекта;

б) определения частоты реализации пожароопасных ситуаций;

в) построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;

г) оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития;

д) наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений.

- Расчетные величины пожарного риска являются количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта и ее последствий для людей.

Количественной мерой возможности реализации пожарной опасности объекта является риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара, в том числе:

риск гибели работника объекта;

риск гибели людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта.

Риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара на объекте характеризуется числовыми значениями индивидуального и социального пожарных рисков.

- Для целей настоящей Методики используются основные понятия, установленные статьей 2 Технического регламента.

Порядок вычисления расчетных величин пожарного риска на объекте

Расчет значения индивидуального пожарного риска в зданиях проводится с использованием в качестве промежуточной величины значения, соответствующего потенциального пожарного риска.

Потенциальный риск в зданиях объекта

- Величина потенциального риска P_n (год$^{-1}$) в n-ом помещении здания или пожарного отсека здания (далее - здания) объекта определяется по формуле:

$$P_n = \sum_{j=1}^{J} Q_j * L_{nj} \qquad (1)$$

где J - число сценариев возникновения пожара в здании;

Q_j - частота реализации в течение года j-го сценария пожара, год$^{-1}$;

L_{nj} - условная вероятность поражения человека при его нахождении в n-ом помещении при реализации j-го сценария пожара.

- Условная вероятность поражения человека L_{nj} определяется по формуле:

$$L_{nj} = \left(1 - E_{nj}\right) \cdot \left(1 - S_{nj}\right) \cdot \left(1 - D_{nj}\right) \qquad (2)$$

где E_{nj} - вероятность эвакуации по эвакуационным путям людей, находящихся в n-ом помещении здания, при реализации j-го сценария пожара;

S_{nj} - вероятность выхода через аварийные выходы людей, находящихся в n-ом помещении при реализации j-ого сценария пожара;

D_{nj} - вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению безопасности людей в n-ом помещении при реализации j-го сценария пожара.

При отсутствии данных вероятность S_{nj} допускается принимать равной 0,03 при наличии аварийных или иных выходов и 0,001 при их отсутствии.

- Вероятность эвакуации по эвакуационным путям E_{nj} определяется по формуле:

$$E_{nj} = \begin{cases} \frac{0{,}8 \cdot t_{блnj} - t_{Pnj}}{\tau_{нэ}}, \text{если } t_{Pnj} < 0{,}8 \cdot t_{блnj} < t_{Pnj} + t_{нэ\,nj} \\ 0{,}999, \text{ если } t_{Pnj} + t_{нэ\,nj} \leq 0{,}8 \cdot t_{нэ\,nj} \\ 0{,}001, \text{если } t_{Pnj} \geq 0{,}8 \cdot t_{блnj} \end{cases}, \quad (3)$$

Вероятность эвакуации E_{nj} из помещений категорий В3, В4, Г и Д по пожарной опасности, входящих в состав зданий или пожарных отсеков, площадь которых соответствует требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, допускается рассчитывать по формулам:

$$E_{nj} = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\gamma_{nj}} exp\left(\frac{-x^2}{2}\right) dx, \quad (4)$$

$$\gamma_{nj} = \frac{0{,}8 t_{бл.nj} - t_{p.nj} - t_{нэ\,nj}}{\sqrt{\sigma_{1nj}^2 + \sigma_{2nj}^2}}, \quad (5)$$

где $t_{бл.nj}$ - время от начала реализации j-го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей из n-го помещения в результате распространения на них опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования эвакуационных путей из n-го помещения), с;

$t_{p.nj}$ - расчетное время эвакуации людей из n-го помещения при j-ом сценарии пожара, с;

$t_{нэnj}$ - интервал времени от начала пожара до начала эвакуации людей из n-го помещения при j-ом сценарии пожара, с.

σ_{1nj} - стандартное отклонение расчетного времени эвакуации людей $t_{P.nj}$ из n-го помещения при j-ом сценарии пожара, с;

σ_{2nj} - стандартное отклонение времени $t_{бл.nj}$ от начала реализации j-го сценария пожара до блокирования эвакуационных путей из n-го помещения в результате распространения на них опасных факторов пожара, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования эвакуационных путей из n-го помещения), с.

Стандартное отклонение σ_{1nj} определяется на основе имеющихся экспериментальных данных о стандартном отклонении расчетного времени эвакуации людей из зданий.

При отсутствии данных следует принимать σ_{1nj} равным:

$0,1t_{p.nj}$ - для зданий, в которых допускается нахождение только обученного персонала, с которым регулярно проводятся тренировки по действиям при возникновении пожароопасных ситуаций и пожаров;

$0,3t_{p.nj}$ - в остальных случаях.

Стандартное отклонение σ_{2nj} определяется на основе анализа возможных в здании сценариев пожара с оценкой предусмотренного технологическим регламентом изменения параметров пожарной нагрузки как при ведении технологического процесса, так и проведении регламентных работ.

При отсутствии данных следует принимать σ_{2nj} равным:

0 - для совокупности сценариев, связанных с начальным событием, при котором в пожароопасную ситуацию или пожар вовлечено максимальное количество пожарной нагрузки, а также при выборе в качестве расчетного для здания (помещения) одного наиболее неблагоприятного сценария пожара в соответствии с пунктом 40 Методики;

$0,3t_{бл.nj}$ - в остальных случаях.

- Время от начала пожара до начала эвакуации людей $t_{нэ}$ для зданий без систем оповещения определяется по результатам исследования поведения людей при пожарах в зданиях конкретного назначения.

Если местом возникновения пожара является помещение, в котором отсутствуют препятствия (ограждения, технологическое оборудование,

стеллажи, сложная геометрическая форма помещения и тому подобное), мешающие свободному визуальному осмотру всей площади помещения, где пожар может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в нем людьми, время начала эвакуации людей ($t_{нэ}$) допускается принимать равным 0.

При наличии указанных препятствий время начала эвакуации необходимо принимать равным меньшему из значений времени начала эвакуации, полученных по формуле (6) и по формуле (7):

$$t_{нэ} = 5 + 0{,}01 \cdot F, \qquad (6)$$

где F - площадь помещения, м^2.

Время начала эвакуации для зданий, оборудованных СПС (или АУП, выполняющими функцию СПС) и СОУЭ, определяется по формуле:

$$t_{\text{н.э}} = t_{\text{пор}} + t_{\text{инерц}}^{\text{обн}} + t_{\text{инерц}}^{\text{СОУЭ}} + t_{\text{предв}}, \qquad (7)$$

где $t_{пор}$ - время достижения порогового значения величины опасного фактора, порогового для срабатывания пожарного извещателя, с;

$t_{\text{инерц}}^{\text{обн}}$ - время задержки, связанное с инерционностью системы обнаружения пожара, с;

$t_{\text{инерц}}^{\text{СОУЭ}}$ - время задержки, связанное с задержкой оповещения людей при пожаре, с. Принимается равным нулю при одновременном оповещении людей в здании или определяется алгоритмом оповещения при поэтапном оповещении;

$t_{предв}$ - время проведения предварительных действий, предшествующих началу эвакуации, включающее время, необходимое на проведение регламентных операций при пожаре. Определяется в

соответствии с должностными обязанностями персонала при пожаре. При отсутствии данных значение $t_{предв}$ следует принимать равным 30 с.

В случае отсутствия необходимых для расчета по формуле (7) данных величина $t_{нэ}$ принимается по таблице 1.

Таблица 1

Время начала эвакуации из помещений

Для помещений при реализации сценариев пожара		
При срабатывании СОУЭ, мин	С отказом СОУЭ/при отсутствии СОУЭ	
	Для помещений на этаже пожара, мин	Для помещений на остальных этажах, мин
0,5	0,5	2,0

- Время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них опасных факторов пожара и расчетное время эвакуации определяются по методам, приведенным в приложении № 5 к настоящей Методике.

Расчетное время эвакуации t_{Pnj} рассчитывается при максимально возможной расчетной численности людей в здании, определяемой на основе решений по организации эксплуатации здания, от наиболее удаленной от эвакуационных выходов точки n-го помещения. Допускается определение расчетного времени эвакуации на основе экспериментальных данных.

Для определения указанных выше величин $t_{блnj}$ и t_{Pnj} допускается дополнительно использовать методы, содержащиеся в методиках определения расчетных величин пожарного риска, утвержденных в установленном порядке.

- При определении величин потенциального риска для работников, которые находятся в здании на территории объекта, допускается рассматривать для здания в качестве расчетного один наиболее неблагоприятный сценарий возникновения пожара, характеризующийся

максимальной условной вероятностью поражения человека. В этом случае расчетная частота возникновения пожара принимается равной суммарной частоте реализации всех возможных в здании сценариев возникновения пожара.

- Вероятность D_{nj} эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности n-го помещения при реализации j-го сценария пожара определяется по формуле:

$D_{nj} = D_{nj(АУПС)} \cdot (1 - (1 - D_{nj(АУП)}) \cdot (1 - D_{nj(СПДЗ)}) \cdot (1 - D_{nj(СОУЭ)}))$ для схемы запуска технических средств: АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС

При отсутствии данных по эффективности технических средств величины D_{nj} допускается принимать равными 0.

- При определении значений D_{nj} следует учитывать только технические средства, направленные на обеспечение пожарной безопасности находящихся (эвакуирующихся) в n-ом помещении здания людей при реализации j-го сценария пожара. При этом учитываются следующие мероприятия:

применение объемно-планировочных и конструктивных решений, обеспечивающих ограничение распространения пожара в безопасную зону (при организации эвакуации в безопасную зону);

наличие систем противодымной защиты рассматриваемого помещения и путей эвакуации;

использование автоматических установок пожарной сигнализации (далее - АУПС) в сочетании с СОУЭ;

наличие установок пожаротушения в помещении очага пожара.

При определении условной вероятности поражения людей, находящихся в помещении очага пожара, не допускается учитывать наличие в этом помещении АУПС и СОУЭ (за исключением случаев, когда пожар не может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в помещении

людьми), а также установок пожаротушения, срабатывание которых допускается только после эвакуации находящихся в защищаемом помещении людей (например, при наличии установок газового пожаротушения).

Индивидуальный пожарный риск в зданиях

- Индивидуальный пожарный риск (далее - индивидуальный риск) для работников объекта оценивается частотой поражения определенного работника объекта опасными факторами пожара, взрыва в течение года.

  Области, на которые разбита территория объекта, нумеруются:

  $n = 1, \ldots, N$.

  Работники объекта нумеруются:

  $m = 1, \ldots, M$.

Номер работника m, однозначно определяет наименование должности работника, его категорию и другие особенности его профессиональной деятельности, необходимой для оценки пожарной безопасности. Допускается проводить расчет индивидуального риска для работника объекта, относя его к одной категории наиболее опасной профессии.

- Величина индивидуального риска R_m (год$^{-1}$) для работника m при его нахождении в здании объекта, обусловленная опасностью пожаров в здании, определяется по формуле:

$$R_m = \sum_{n=1}^{N} P_n \cdot q_{nm} \qquad (8)$$

где P_n - величина потенциального риска в n-ом помещении здания, год$^{-1}$;

q_{nm} - вероятность присутствия работника m в n-ом помещении;

N - число помещений в здании, сооружении и строении.

- Вероятность q_{nm} определяется, исходя из доли времени нахождения рассматриваемого человека в определенной области территории и/или в n-ом помещении здания в течение года на основе решений по организации эксплуатации и технического обслуживания оборудования и зданий объекта.

Формулировка математической модели и моделирование динамики развития пожара

Основой для полевых моделей пожаров (приложение 6 Методики [8]) являются уравнения, выражающие законы сохранения массы, импульса, энергии и масс компонентов в рассматриваемом малом контрольном объеме.

Уравнение сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cdot u_j\right) = 0 . \qquad (П6.43)$$

Уравнение сохранения импульса:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho \cdot u_i\right) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cdot u_j \cdot u_i\right) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho \cdot g_i . \qquad (П6.44)$$

Для ньютоновских жидкостей, подчиняющихся закону Стокса, тензор вязких напряжений определяется формулой:

$$\tau_{ij} = \mu \cdot \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \cdot \delta_{ij} . \qquad (П6.45)$$

Уравнение энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho \cdot h\right) + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cdot u_j \cdot h\right) = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\lambda}{c_p} \cdot \frac{\partial h}{\partial x_j}\right) - \frac{\partial q_j^R}{\partial x_j} \qquad (П6.46)$$

где $h = h_0 + \int_{T_0}^{T} c_p \cdot dT + \sum_k (Y_k \cdot H_k)$ — статическая энтальпия смеси;

H_k – теплота образования *k*-го компонента;

$c_p = \sum_k Y_k \cdot c_{p,k}$ — теплоемкость смеси при постоянном давлении;

q_j^R — радиационный поток энергии в направлении x_j.

Уравнение сохранения химического компонента *k:*

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot Y_k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \cdot u_j \cdot Y_k) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \cdot D \cdot \frac{\partial Y_k}{\partial x_j}\right) + S_k \quad (П6.47)$$

Для замыкания системы уравнений (П6.43) – (П6.47) используется уравнение состояния идеального газа. Для смеси газов оно имеет вид:

$$p = \rho \cdot R_0 \cdot T \cdot \sum_k \frac{Y_k}{M_k} \quad (П6.48)$$

где R_0 — универсальная газовая постоянная;

M_k — молярная масса *k*-го компонента.

Формулировка математической модели и моделирование эвакуации людей из здания при пожаре

Расчетное время эвакуации людей из здания устанавливается по времени выхода из него последнего человека.

Перед началом моделирования процесса эвакуации задается схема эвакуационных путей в здании. Все эвакуационные пути подразделяются на эвакуационные участки длиной a и шириной b. Длина и ширина каждого участка пути эвакуации для проектируемых зданий принимаются по проекту, а для построенных — по фактическому положению. Длина пути по лестничным маршам измеряется по длине марша. Длина пути в дверном проеме принимается равной нулю. Эвакуационные участки могут быть горизонтальные и наклонные (лестница вниз, лестница вверх и пандус).

За габариты человека в плане принимается эллипс с размерами осей 0,5 м (ширина человека в плечах) и 0,25 м (толщина человека). Задаются координаты каждого человека x_i — расстояние от центра эллипса до конца эвакуационного участка, на котором он находится (рис. П3.1). Если разность координат некоторых людей, находящихся на эвакуационном участке, составляет менее 0,25 м, то принимается, что люди с этими координатами расположены рядом друг с другом — сбоку один от другого (условно: «в ряд»). При этом, исходя из габаритов человека в плане и размеров эвакуационного участка (длина и ширина) для каждого эвакуационного участка определяются: максимально возможное количество человек в одном ряду сбоку друг от друга и максимально возможное количество людей на участке.

Координаты каждого человека x_i в начальный момент времени задаются в соответствии со схемой расстановки людей в помещениях (рабочие места, места для зрителей, спальные места и т. п.). В случае отсутствия таких данных, например для магазинов, выставочных залов и другое, допускается размещать людей равномерно по всей площади помещения с учетом расстановки технологического оборудования.

Координата каждого человека в момент времени t определяется по формуле:

$$x_i(t) = x_i(t-\Delta t) - V_i(t)\cdot\Delta t \quad м, \qquad (П3.1)$$

где $x_i(t-\Delta t)$ — координата i-го человека в предыдущий момент времени, м;

$V_i(t)$ – скорость i-го человека в момент времени t, м/с;

Δt – промежуток времени, с.

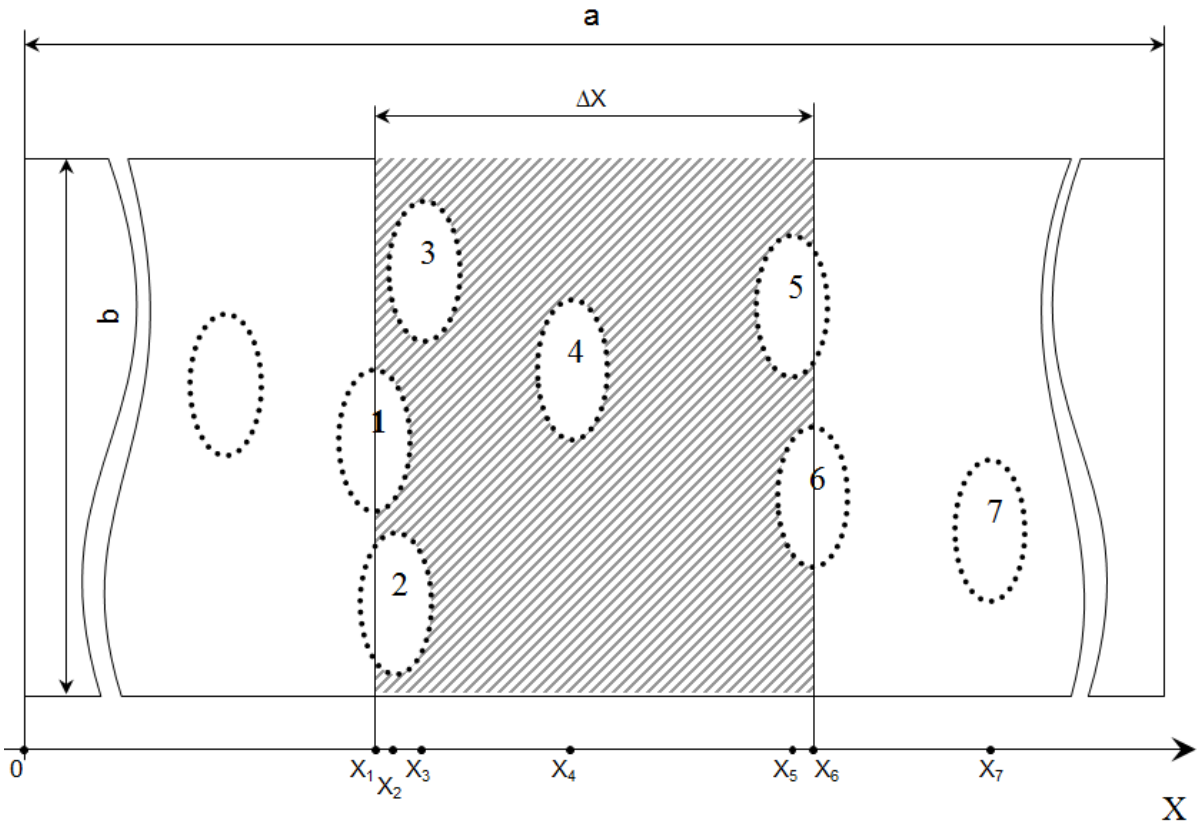


Рис. П3.1. Координатная схема размещения людей на путях эвакуации

Скорость i-го человека $V_i(t)$ в момент времени t определяется по таблице П2.1 приложения 2 к Методике в зависимости от локальной плотности потока, в котором он движется, $D_i(t)$ и типа эвакуационного участка.

Локальная плотность $D_i(t)$ вычисляется по группе, состоящей из n человек, по формуле:

$$D_i(t) = (n(t)-1) \cdot f / (b \cdot \Delta x) \ м^2/м^2, \qquad (П3.2)$$

где n – количество людей в группе, человек;

f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, $м^2$/чел;

b – ширина эвакуационного участка, м;

Δx – разность координат последнего и первого человека в группе, м.

Если в момент времени t координата человека $x_i(t)$, определенная по формуле (П3.1), станет отрицательной – это означает, что человек достиг

границы текущего эвакуационного участка и должен перейти на следующий эвакуационный участок.

В этом случае координата этого человека на следующем эвакуационном участке определяется:

$$x_i(t) = [x_i(t\text{-}dt) - V_i(t) \cdot dt] + a_j - l_j \text{ м}, \qquad (П3.3)$$

где $x_i(t\text{-}dt)$ – координата i-го человека в предыдущий момент времени на (j-1) эвакуационном участке, м;

$V_i(t)$ – скорость i-го человека на (j–1)-ом эвакуационном участке в момент времени t, м/с;

a_j – длина j-го эвакуационного участка, м;

l_j – координата места слияния j-го и (j–1)-го эвакуационных участков — расстояние от начала j-го эвакуационного участка до места слияния его с (j–1)-ым эвакуационным участком, м.

Количество людей, переходящих с одного эвакуационного участка на другой в единицу времени, определяется пропускной способностью выхода с участка $Q_j(t)$:

$$Q_j(t) = q_j(t) \cdot c_j \cdot dt / (f \cdot 60) \text{ чел.}, \qquad (П3.4)$$

где $q_j(t)$ — интенсивность движения на выходе с j-го эвакуационного участка в момент времени t, м/мин;

c_j — ширина выхода с j-го эвакуационного участка, м;

dt — промежуток времени, с;

f — средняя площадь горизонтальной проекции человека, м^2.

Интенсивность движения на выходе с j-го эвакуационного участка $q_j(t)$ в момент времени t определяется в зависимости от плотности людского потока на этом участке $Dv_j(t)$.

Плотность людского потока на j-ом эвакуационном участке $Dv_j(t)$ в момент времени t определяется по формуле:

$$Dv_j(t) = (N_j \cdot f \cdot dt) / (a_j \cdot b_j) \text{ м}^2/\text{м}^2, \qquad (П3.5)$$

где N_j – число людей на j-ом эвакуационном участке, чел.;

f — средняя площадь горизонтальной проекции человека, м^2;

a_j — длина j-го эвакуационного участка, м;

b_j — ширина j-го эвакуационного участка, м;

dt — промежуток времени, с.

В момент времени t определяется количество людей m с отрицательными координатами $x_i(t)$, определенными по формуле (П3.1).

Если значение $m \leq Q_j(t)$, то все m человек переходят на следующий эвакуационный участок и их координаты определяются в соответствии с формулой (П3.3). Если значение $m > Q_j(t)$, то количество человек равное значению $Q_j(t)$ переходят на следующий эвакуационный участок и их координаты определяются в соответствии с формулой (П 3.3), а количество человек, равное значению $(m - Q_j(t))$, не переходят на следующий эвакуационный участок (остаются на данном эвакуационном участке) и их координатам присваиваются значения $x_i(t) = k \cdot 0{,}25 + 0{,}25$,

где k — номер ряда, в котором будут находиться люди (максимально возможное количество человек в одном ряду сбоку друг от друга для каждого эвакуационного участка определяется перед началом расчетов). Таким образом, возникает скопление людей перед выходом с эвакуационного участка.

На рисунке П3.2 изображена блок-схема определения расчетного времени эвакуации людей из здания.

На основании заданных начальных условий (начальных координат людей, параметров эвакуационных участков) определяются плотности людских потоков на путях эвакуации и пропускные способности выходов с эвакуационных участков. Далее, в момент времени t = t + dt, определяется наличие ОФП на путях эвакуации. В зависимости от этого выбирается направление движения каждого человека и вычисляется новая координата каждого человека. После этого снова определяются плотности людских потоков на путях эвакуации и пропускные способности выходов. Затем вновь дается приращение по времени dt и определяются новые координаты

людей с учетом наличия ОФП на путях эвакуации в этот момент времени. После этого процесс повторяется. Расчеты проводятся до тех пор, пока все люди не будут эвакуированы из здания.

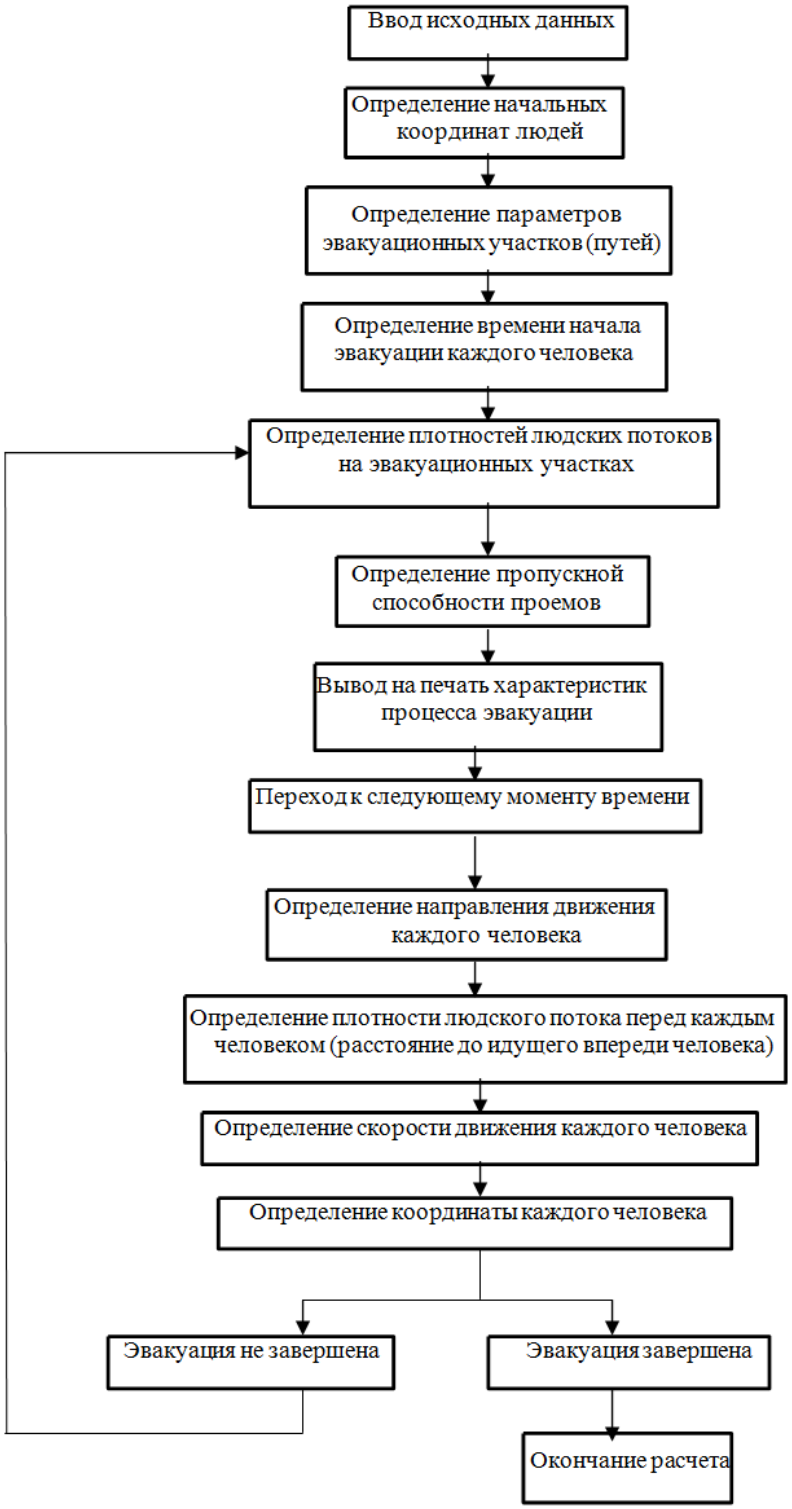


Рис. П3.2. Блок-схема определения расчетного времени эвакуации людей из здания.

Значения расчетных величин пожарного риска

Расчет времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара

Сценарий 1

Критическое время по каждому из опасных факторов пожара определяется как время достижения этим фактором предельно допустимого значения на путях эвакуации на высоте 1,7 м от пола.

Предельно допустимые значения по каждому из опасных факторов пожара составляют:

по повышенной температуре - *70 °C*;

по тепловому потоку - *1400 Вт/м²*;

по потере видимости - *20 м*;

по пониженному содержанию кислорода - $2{,}26 \cdot 10^{-1}$ *кг/м³*;

по каждому из токсичных газообразных продуктов горения: CO_2 - $1{,}1 \cdot 10^{-1}$ *кг/м³*; *CO* - $1{,}16 \cdot 10^{-3}$ *кг/м³*; *HCL* - $2{,}3 \cdot 10^{-5}$ *кг/м³*.

Моделирование динамики развития пожара проводилось по полевой модели с помощью программы FDS версии 6.

Моделирование динамики развития пожара проводилось в следующих областях расчёта:

Таблица 8. Области расчета

Расположение	Наименование	Размер, м	Размер ячейки, м	Охватываемые помещения
Этаж 1	Область расчета 1	21×17×5	0,5	Коридор, Помещение контроллерной, Помещение трансформаторной, Помещение электрооборудования, Тамбур

Параметры окружающей среды:

— температура: 20 °C

— давление: 101325 Па (760 мм рт. ст.)

— относительная влажность: 40 %

— ветер отсутствует

— температура в помещениях: 20 °C

Горючая нагрузка: Текстолит, карболит

Описание: Электротехн. материалы; текстолит, карболит

Источники данных о параметрах пожарной нагрузки:

1. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. — М.: Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 С.

2. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / 2-ое изд., испр. и доп. / М.: ВНИИПО, 2019. - 334 С.

3. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. Изменение №1, утвержденное и введенное в действие приказом МЧС России от 14.02.2020 г. N 89 с 14.08.2020

Таблица 9. Параметры горючей нагрузки

Параметр	Единица измерения	Значение
Низшая теплота сгорания	кДж/кг	20900
Линейная скорость распространения пламени	м/с	0,0125
Удельная массовая скорость выгорания	кг/(м² · с)	0,0076
Коэффициент полноты сгорания	—	0,93
Удельная мощность	кВт/м²	147,7212
Дымообразующая способность	Нп · м²/кг	327
Потребление кислорода (O_2)	кг/кг	1,95
Выделение углекислого газа (CO_2)	кг/кг	0,375
Выделение угарного газа (CO)	кг/кг	0,0556
Выделение хлористого водорода (HCl)	кг/кг	0,0054

Проводилось моделирование динамики развития пожара в течение 60 с.

Опасные факторы пожара измерялись в месте расположения следующих элементов:

На этаже Этаж 1:

— на уровне 1,7 м (на высоте 1,7 м от уровня этажа): "Дверь 2", "Дверь 1", "Дверь 3", "Дверь 6", "Дверь 4", "Дверь 5"

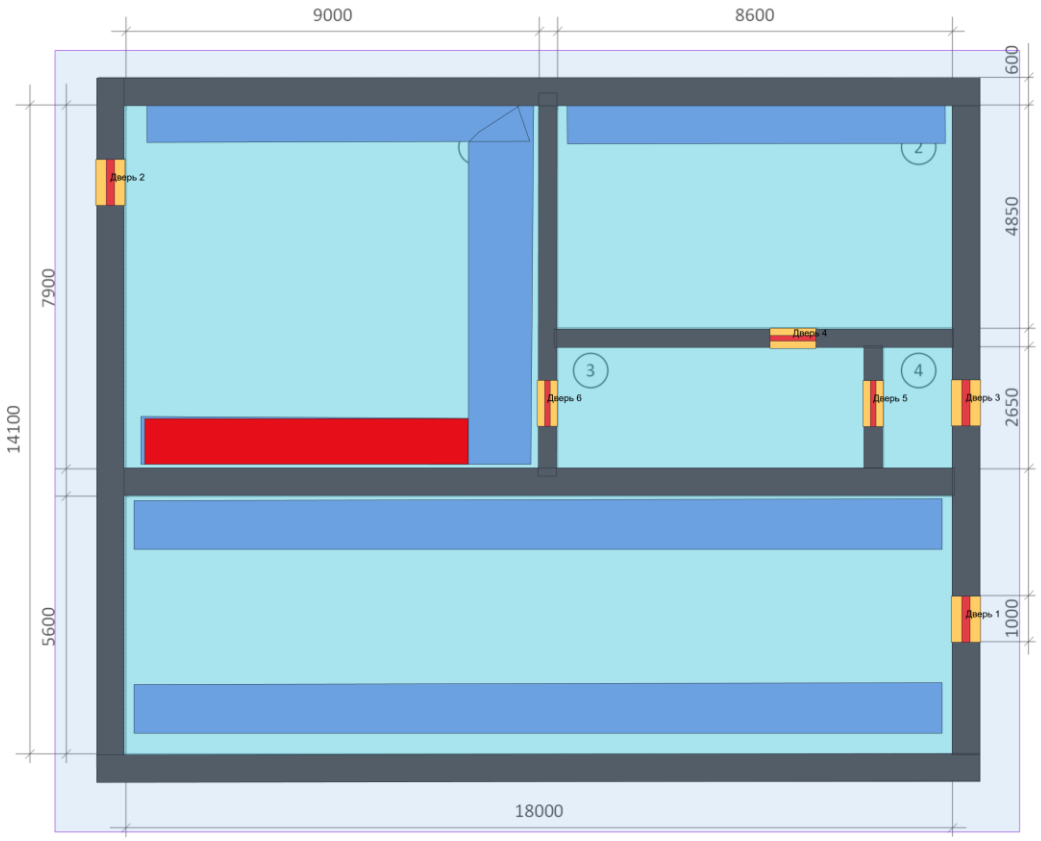


Рисунок 1. Этаж 1. Пожарная модель.

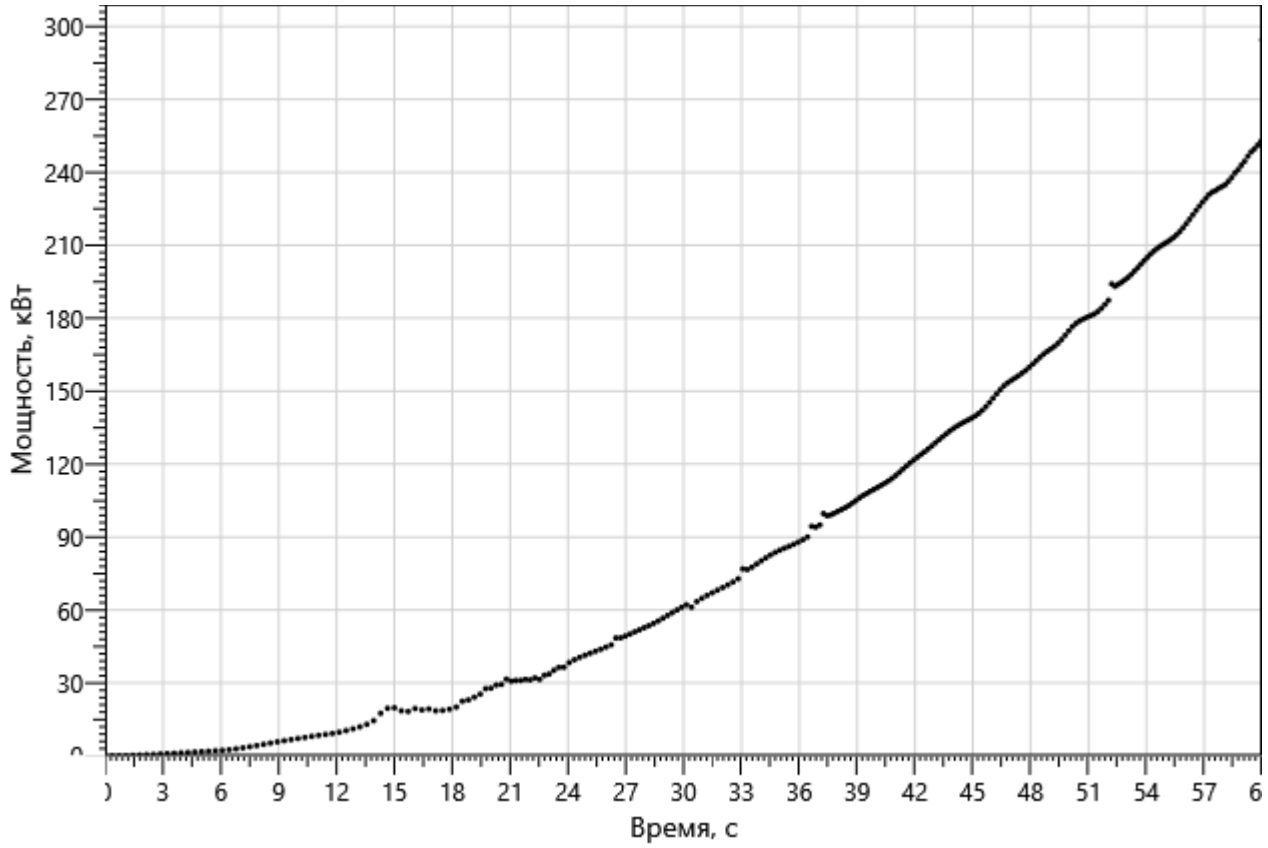


Рисунок 2. Мощность пожара

Следующие рисунки показывают динамику развития ОФП.

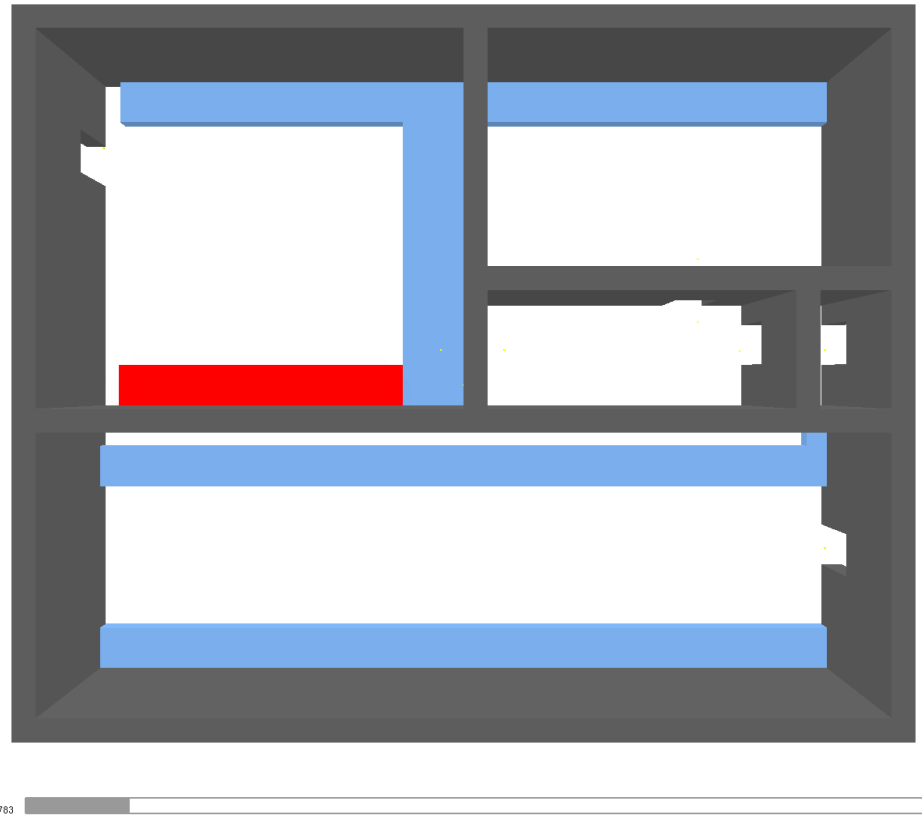


Рисунок 3. Этаж 1. Распространение дыма через 6,8 с после начала пожара.

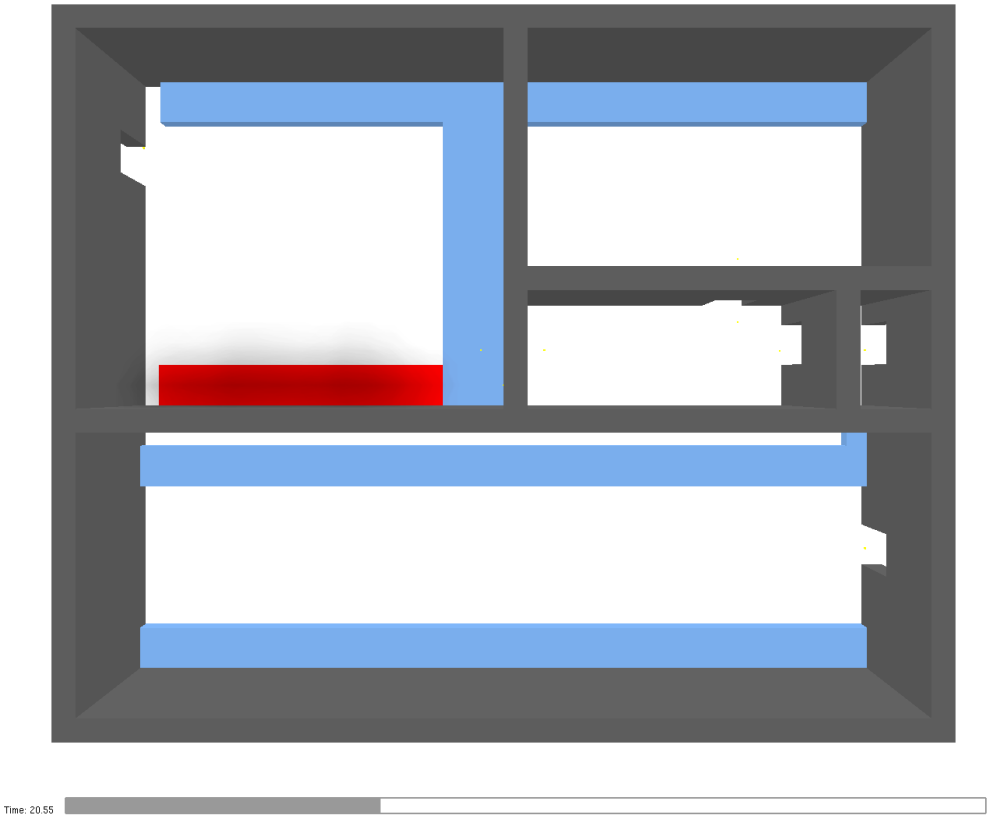


Рисунок 4. Этаж 1. Распространение дыма через 20,6 с после начала пожара.

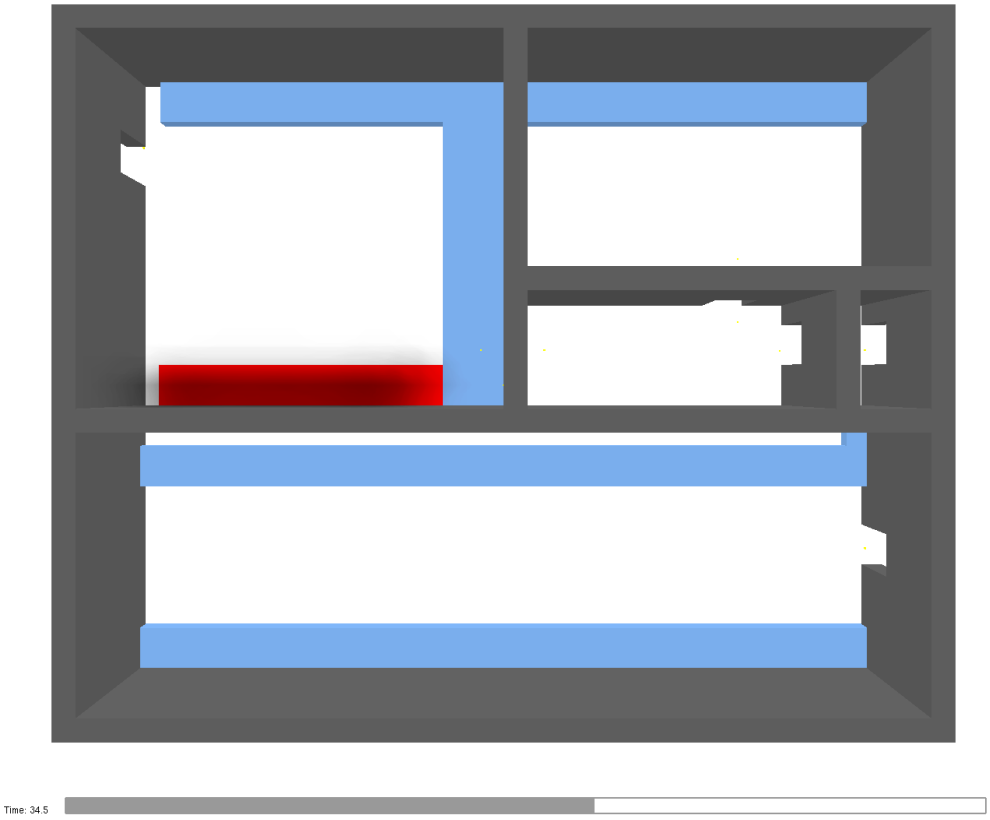


Рисунок 5. Этаж 1. Распространение дыма через 34,4 с после начала пожара.

В месте расположения всех элементов, где измеряются опасные факторы пожара, критические значения не достигаются за время 60 с.

Подробные результаты моделирования развития пожара представлены в приложении №2.

Сценарий 2

Критическое время по каждому из опасных факторов пожара определяется как время достижения этим фактором предельно допустимого значения на путях эвакуации на высоте 1,7 м от пола.

Предельно допустимые значения по каждому из опасных факторов пожара составляют:

по повышенной температуре - *70 °С*;

по тепловому потоку - *1400 Вт/м²*;

по потере видимости - *20 м*;

по пониженному содержанию кислорода - $2{,}26 \cdot 10^{-1}$ *кг/м³*;

по каждому из токсичных газообразных продуктов горения: CO_2 - $1{,}1 \cdot 10^{-1}$ *кг/м³*; *CO* - $1{,}16 \cdot 10^{-3}$ *кг/м³*; *HCL* - $2{,}3 \cdot 10^{-5}$ *кг/м³*.

Моделирование динамики развития пожара проводилось по полевой модели с помощью программы FDS версии 6.

Моделирование динамики развития пожара проводилось в следующих областях расчёта:

Таблица 10. Области расчета

Расположение	**Наименование**	**Размер, м**	**Размер ячейки, м**	**Охватываемые помещения**
Этаж 1	Область расчета 1	21×17×5	0,5	Коридор, Помещение контроллерной, Помещение трансформаторной, Помещение электрооборудования, Тамбур

Параметры окружающей среды:

— температура: 20 °C

— давление: 101325 Па (760 мм рт. ст.)

— относительная влажность: 40 %

— ветер отсутствует

— температура в помещениях: 20 °C

Горючая нагрузка: Текстолит, карболит

Описание: Электротехн. материалы; текстолит, карболит

Источники данных о параметрах пожарной нагрузки:

1. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. — М.: Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 С.

2. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / 2-ое изд., испр. и доп. / М.: ВНИИПО, 2019. - 334 С.

3. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. Изменение №1, утвержденное и введенное в действие приказом МЧС России от 14.02.2020 г. N 89 с 14.08.2020

Таблица 11. Параметры горючей нагрузки

Параметр	Единица измерения	Значение
Низшая теплота сгорания	кДж/кг	20900
Линейная скорость распространения пламени	м/с	0,0125
Удельная массовая скорость выгорания	кг/(м² · с)	0,0076
Коэффициент полноты сгорания	—	0,93
Удельная мощность	кВт/м²	147,7212
Дымообразующая способность	Нп · м²/кг	327
Потребление кислорода (O_2)	кг/кг	1,95
Выделение углекислого газа (CO_2)	кг/кг	0,375
Выделение угарного газа (CO)	кг/кг	0,0556

Выделение хлористого водорода (HCl)	кг/кг	0,0054

Проводилось моделирование динамики развития пожара в течение 60 с.

Опасные факторы пожара измерялись в месте расположения следующих элементов:

На этаже Этаж 1:

— на уровне 1,7 м (на высоте 1,7 м от уровня этажа): "Дверь 2", "Дверь 1", "Дверь 3", "Дверь 6", "Дверь 4", "Дверь 5"

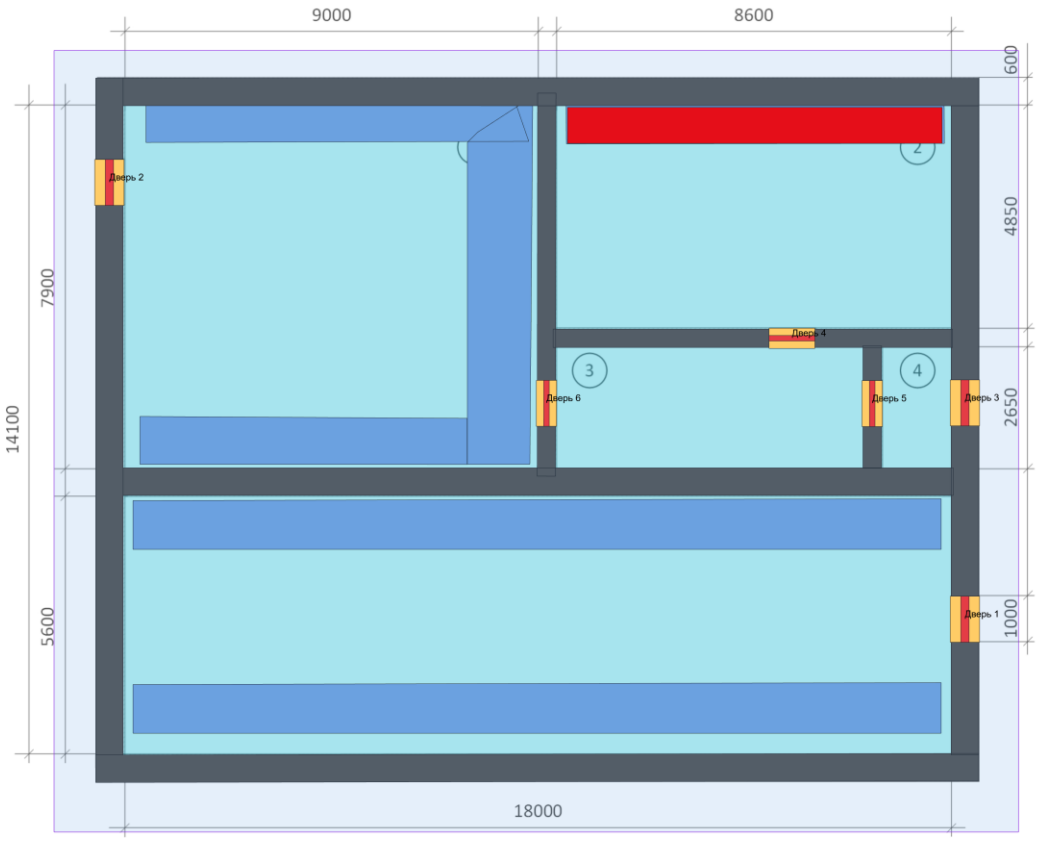


Рисунок 6. Этаж 1. Пожарная модель.

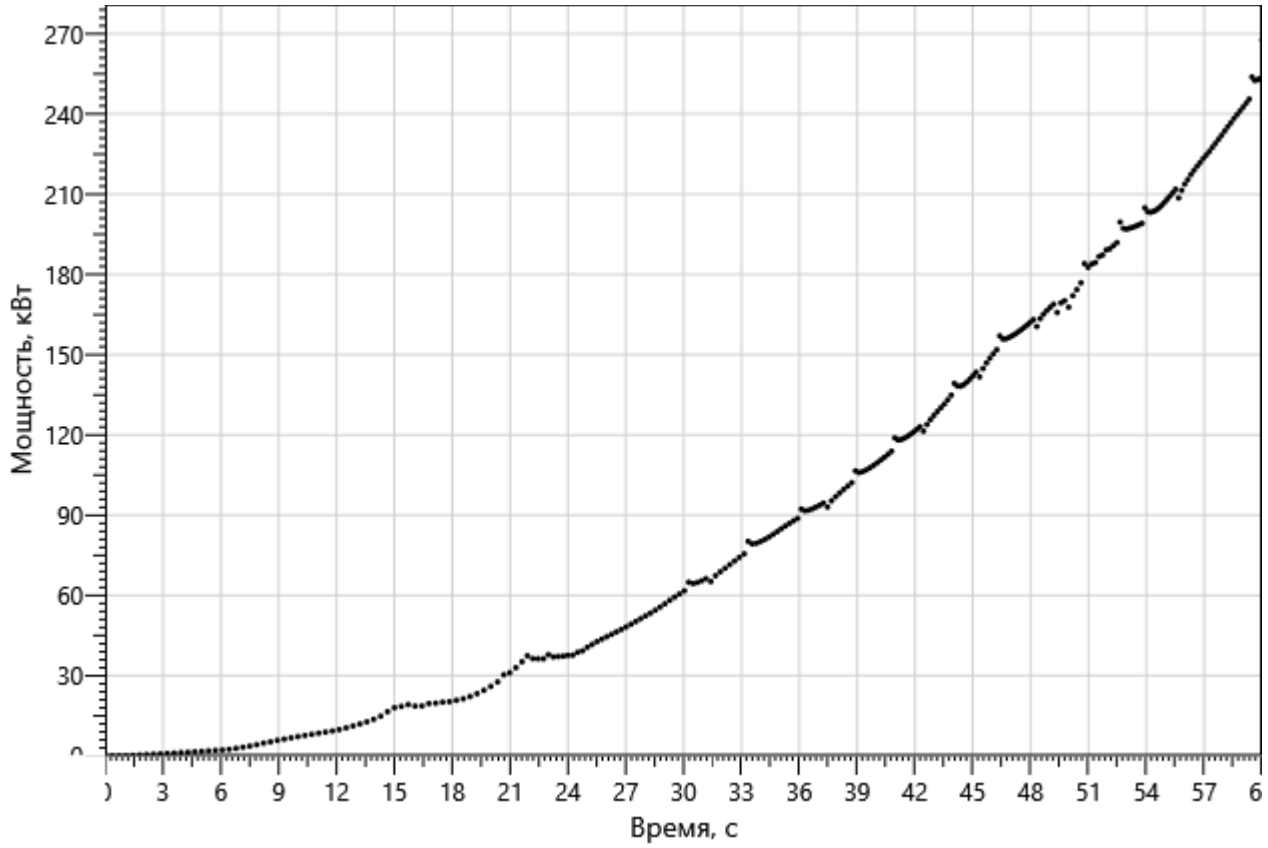


Рисунок 7. Мощность пожара

Следующие рисунки показывают динамику развития ОФП.

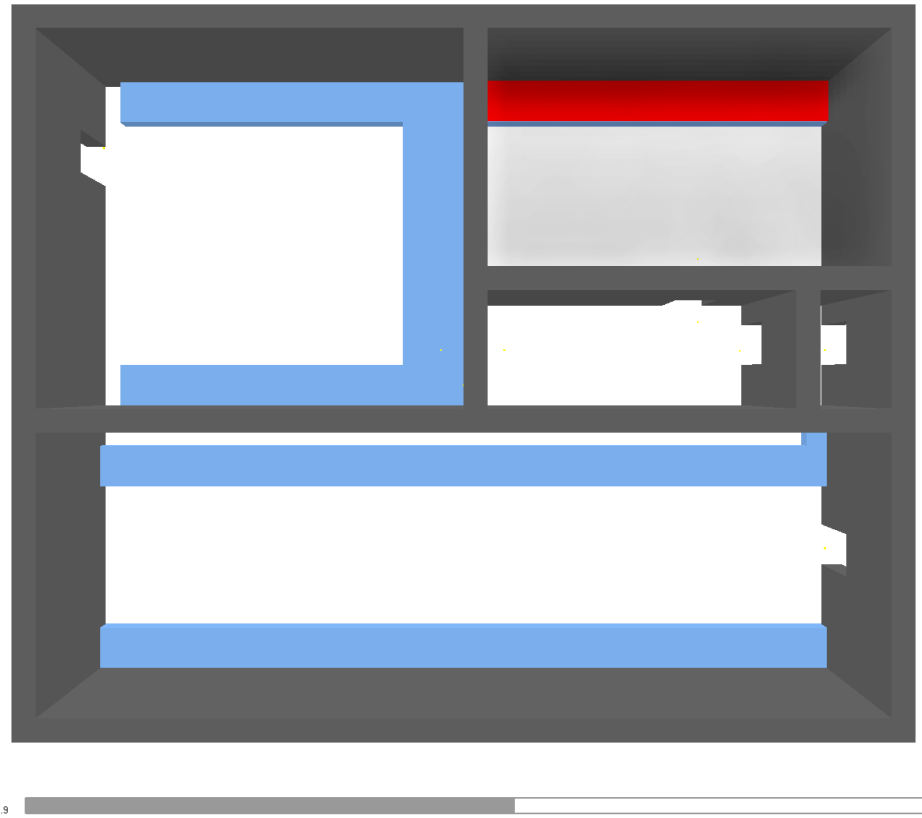


Рисунок 8. Этаж 1. Распространение дыма через 31,8 с после начала пожара.

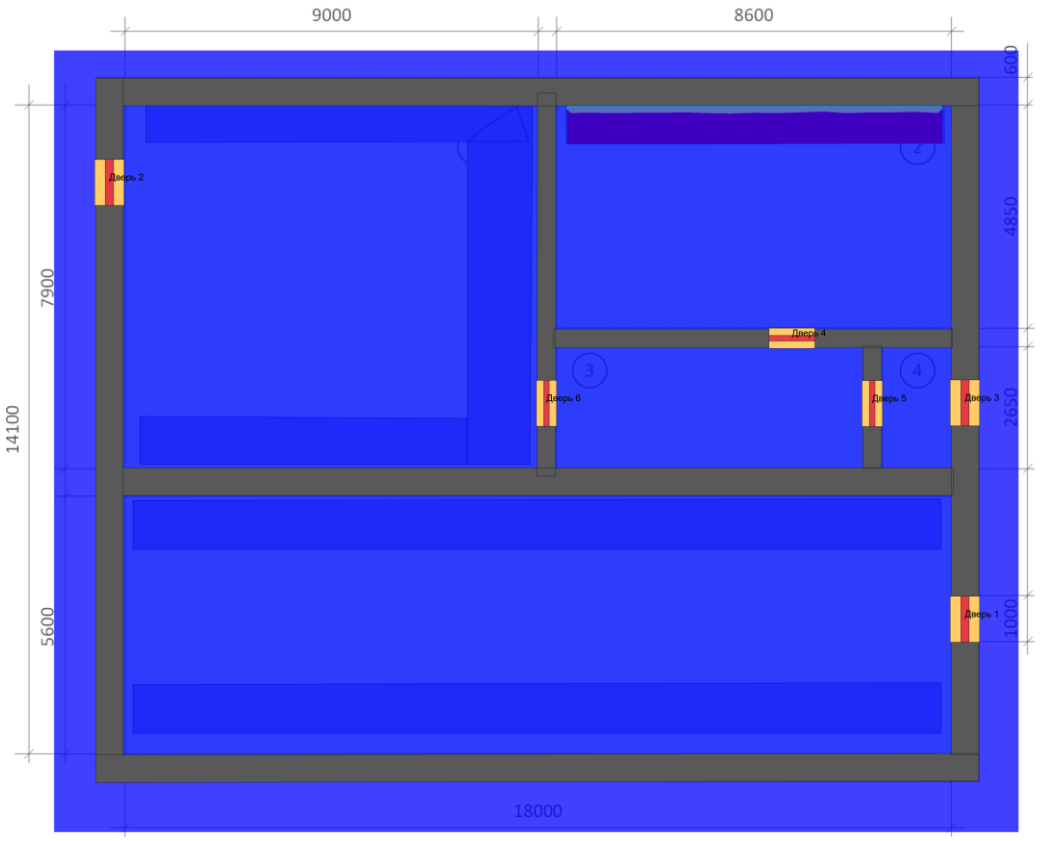


Рисунок 9. Этаж 1. Температура воздуха на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 31,8 с.

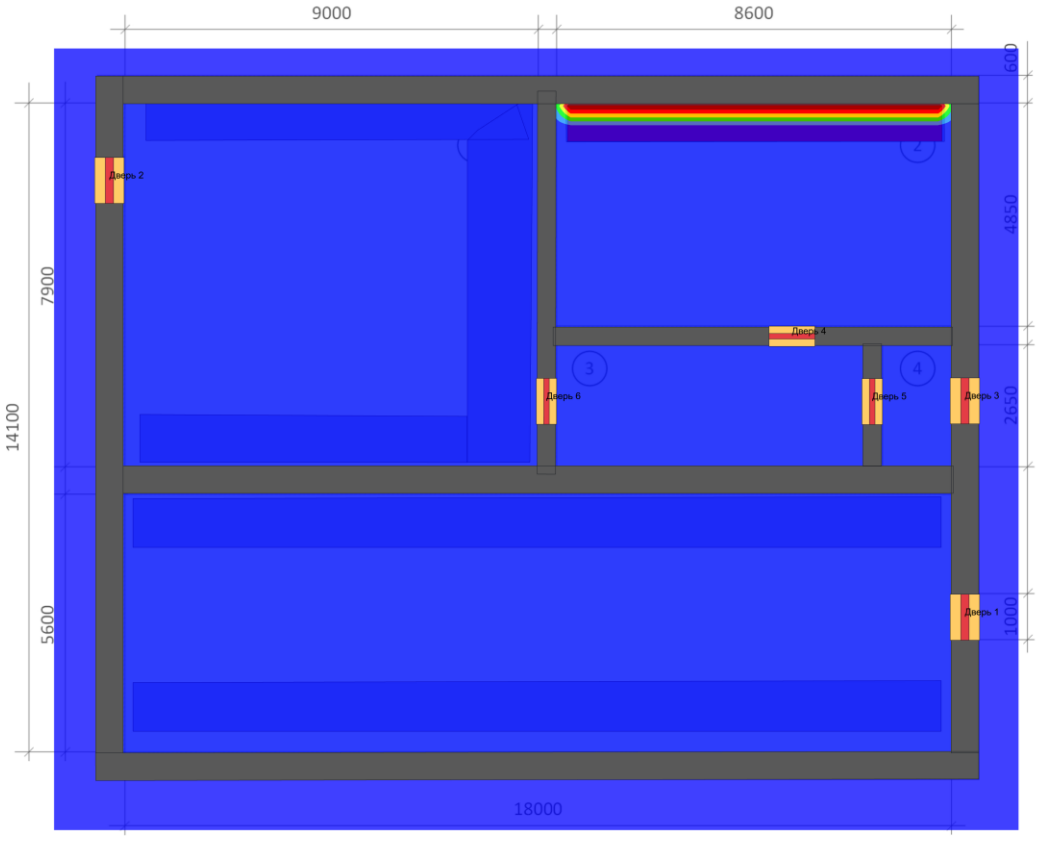


Рисунок 10. Этаж 1. Видимость на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 31,8 с.

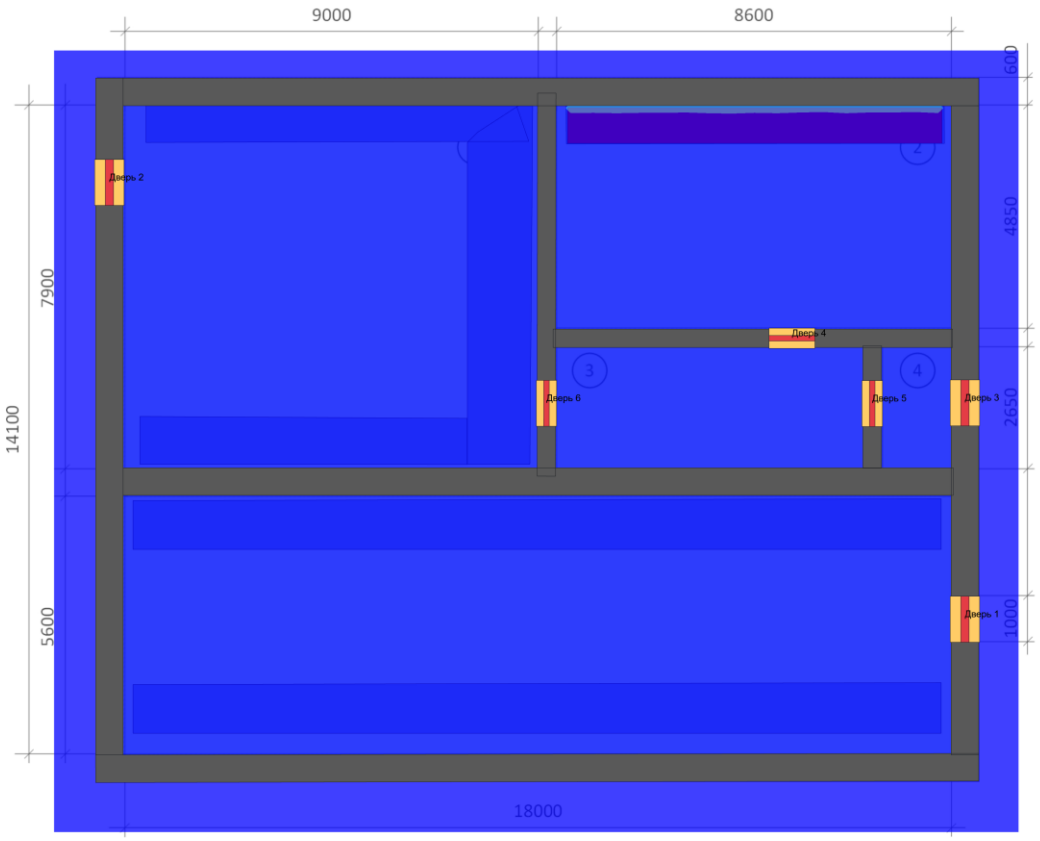


Рисунок 11. Этаж 1. O_2 на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 31,8 с.

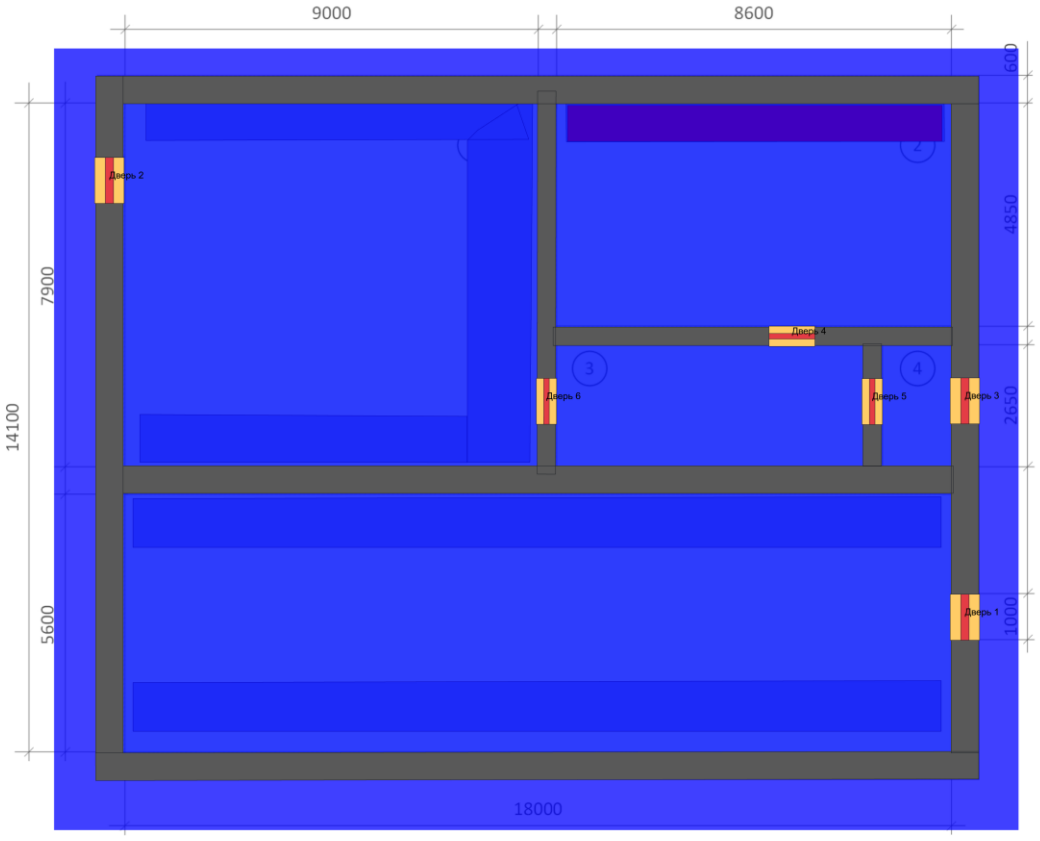


Рисунок 12. Этаж 1. CO_2 на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 31,8 с.

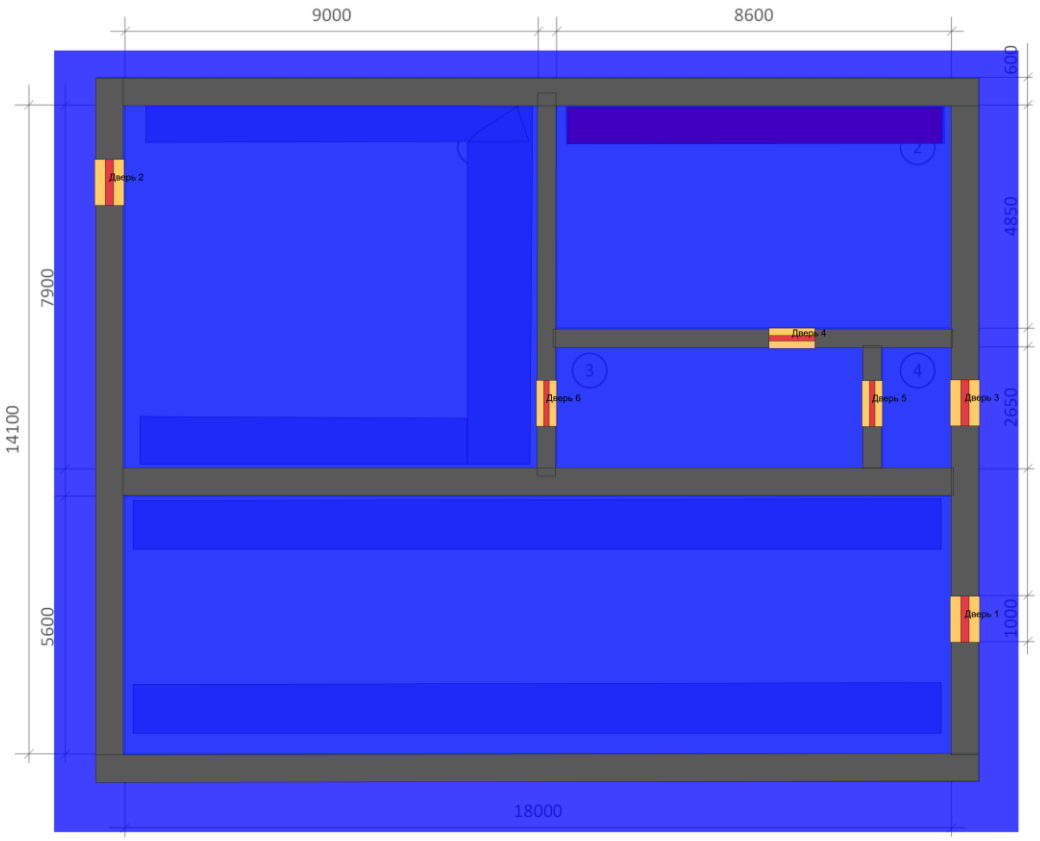


Рисунок 13. Этаж 1. CO на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 31,8 с.

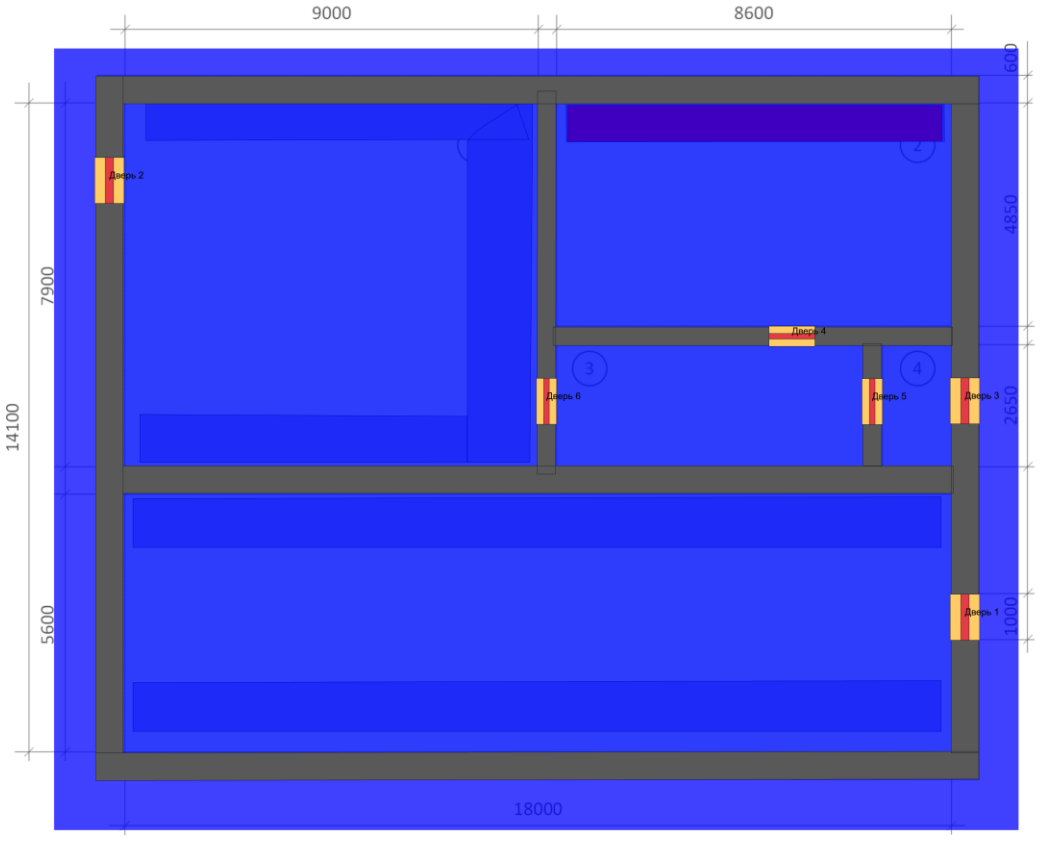


Рисунок 14. Этаж 1. HCl на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 31,8 с.

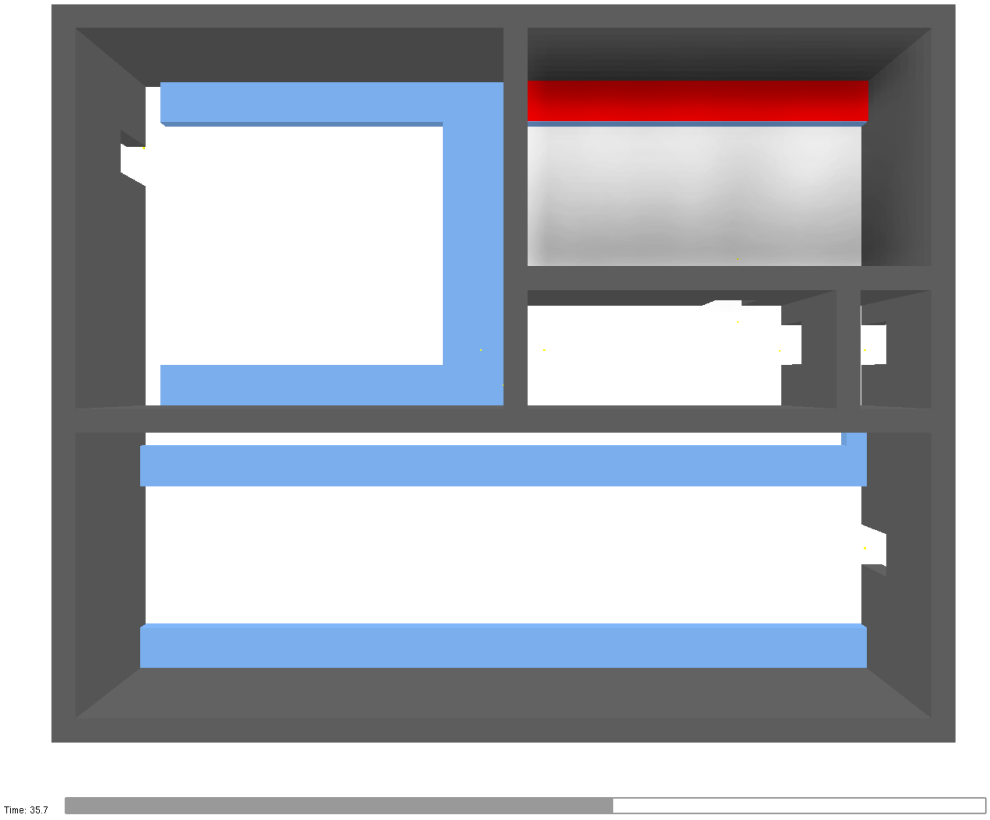


Рисунок 15. Этаж 1. Распространение дыма через 35,6 с после начала пожара.

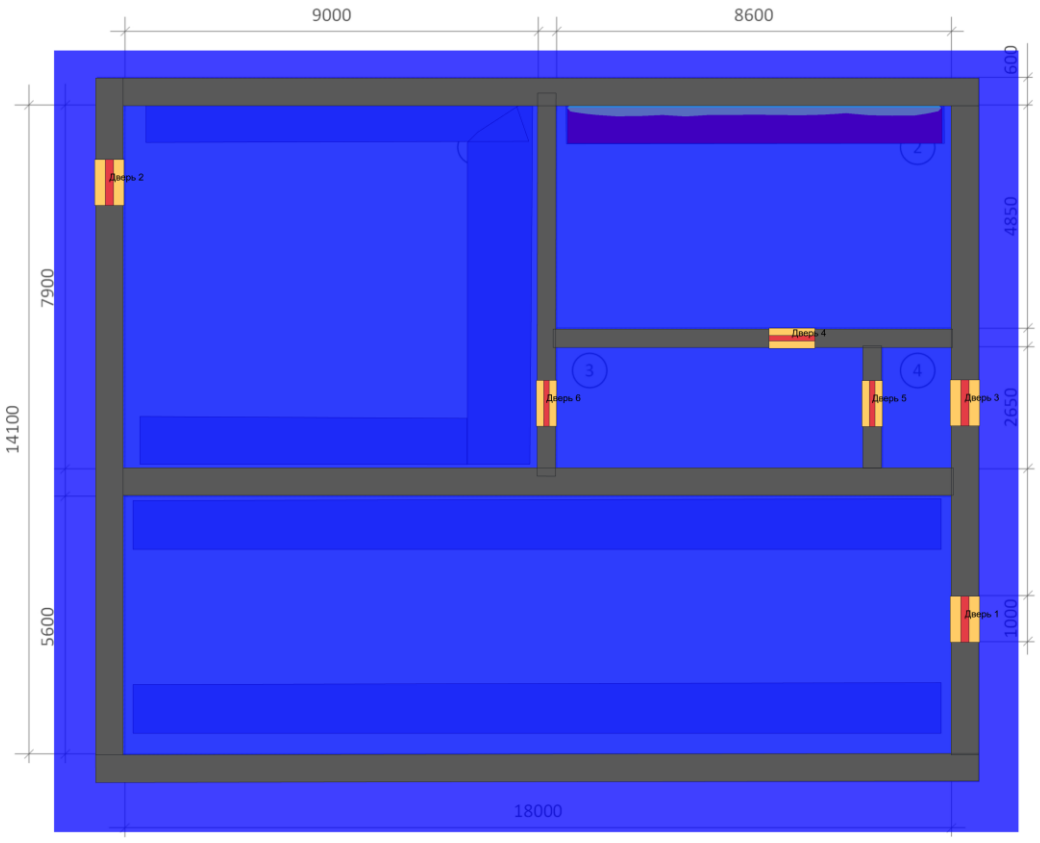


Рисунок 16. Этаж 1. Температура воздуха на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 35,6 с.

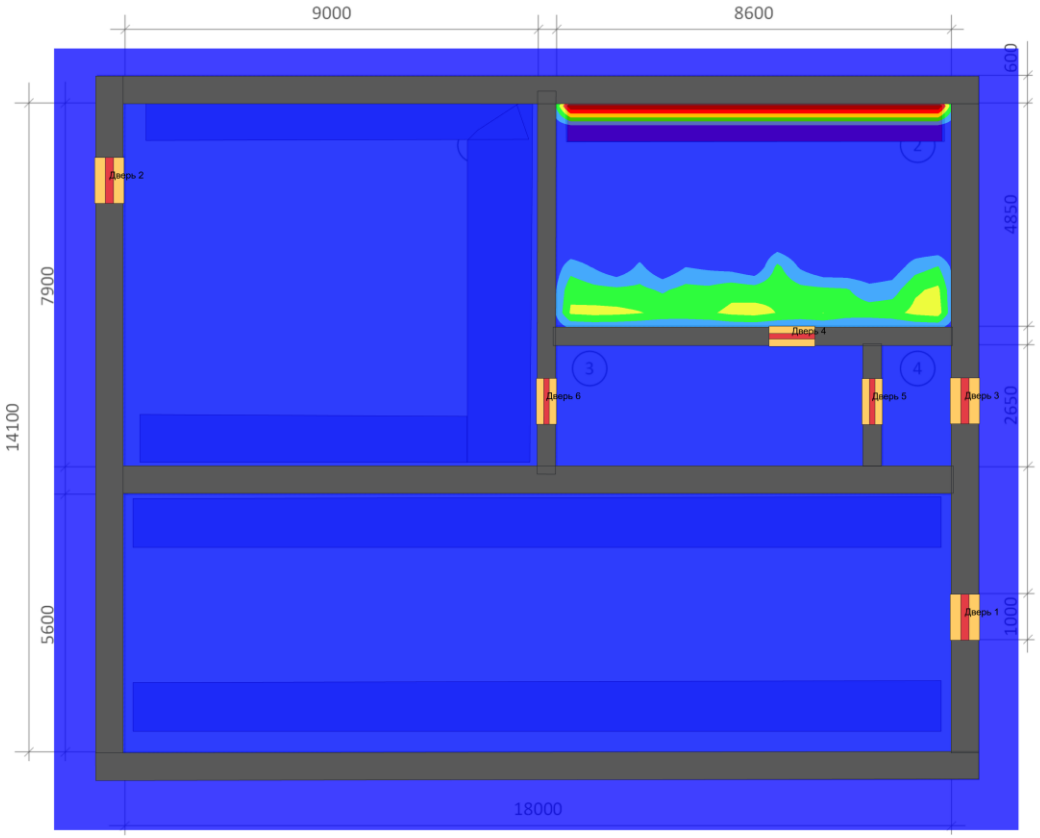


Рисунок 17. Этаж 1. Видимость на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 35,6 с.

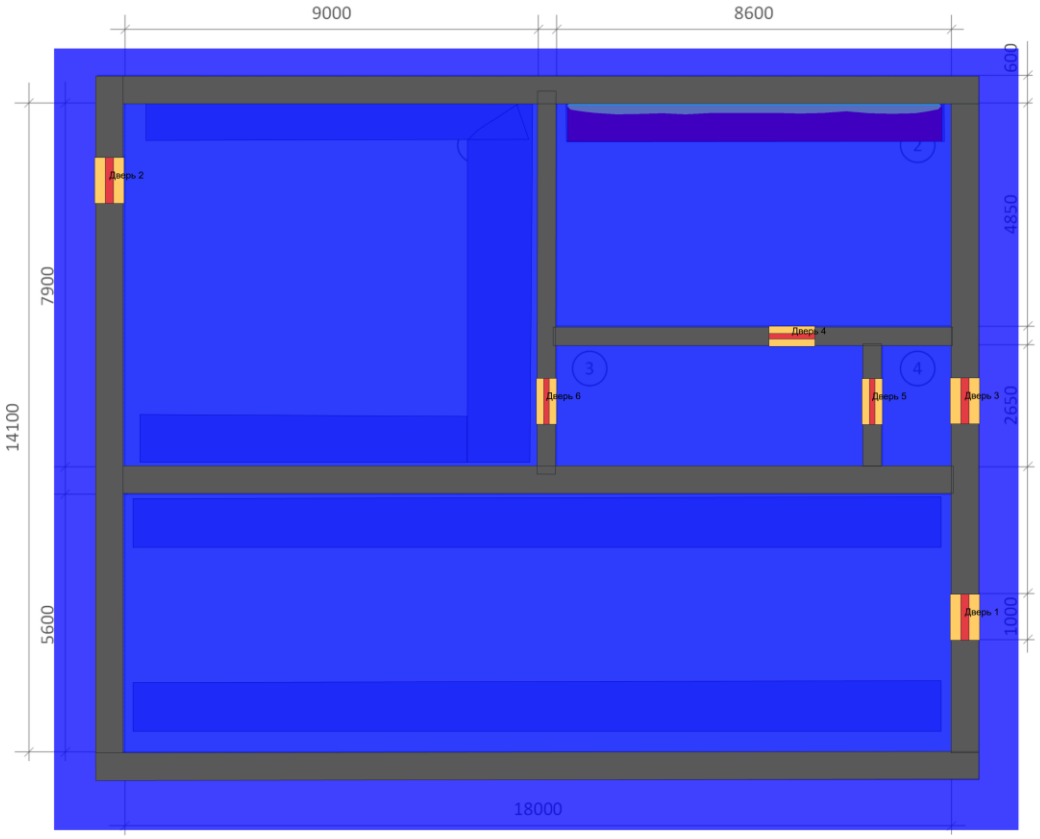


Рисунок 18. Этаж 1. O_2 на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 35,6 с.

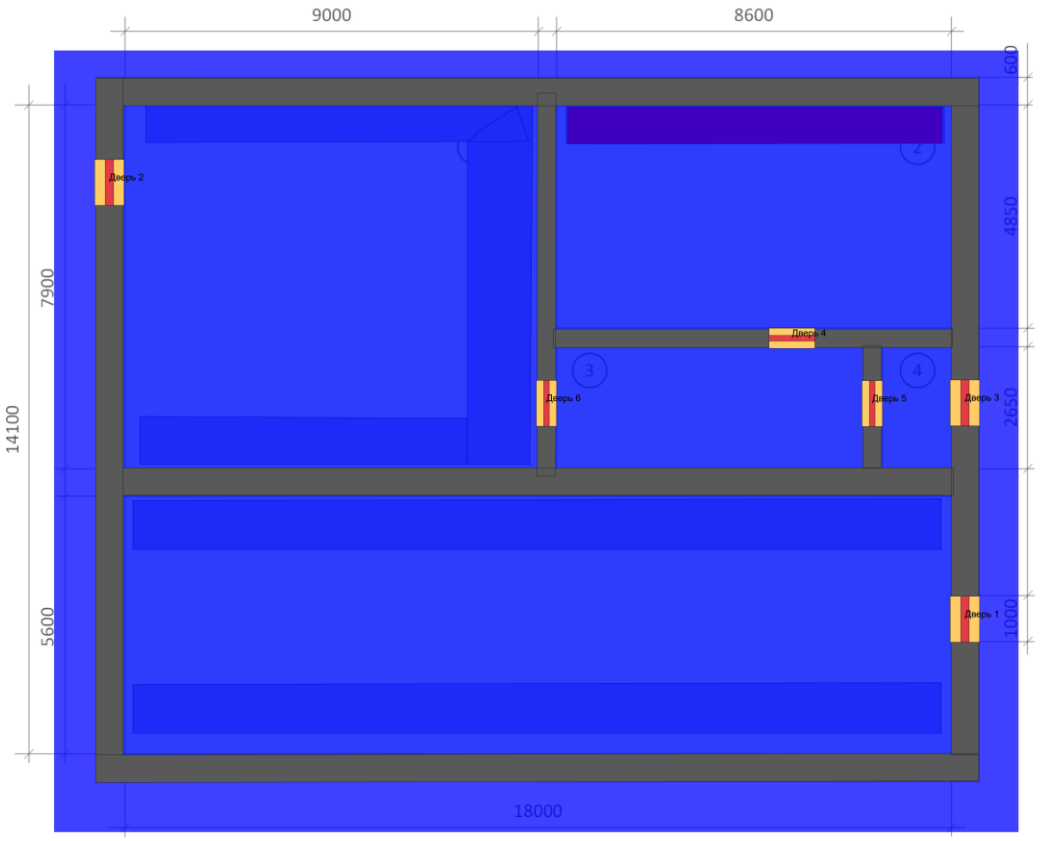


Рисунок 19. Этаж 1. CO_2 на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 35,6 с.

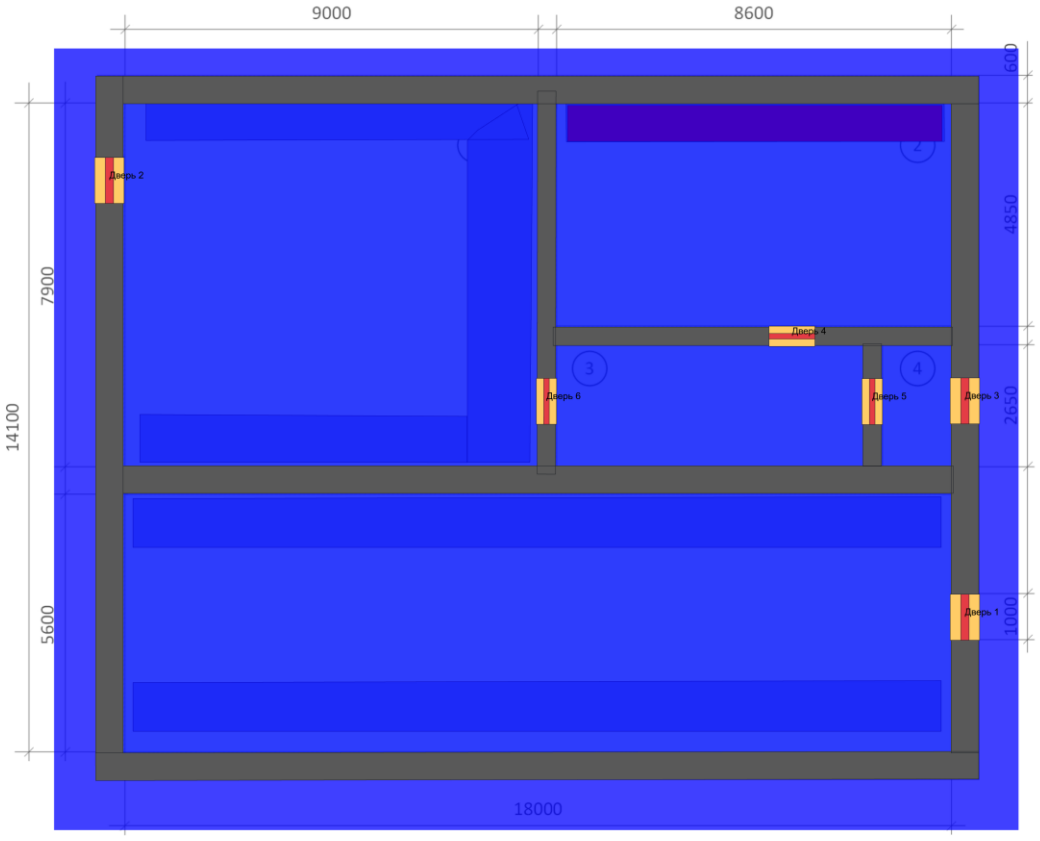


Рисунок 20. Этаж 1. CO на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 35,6 с.

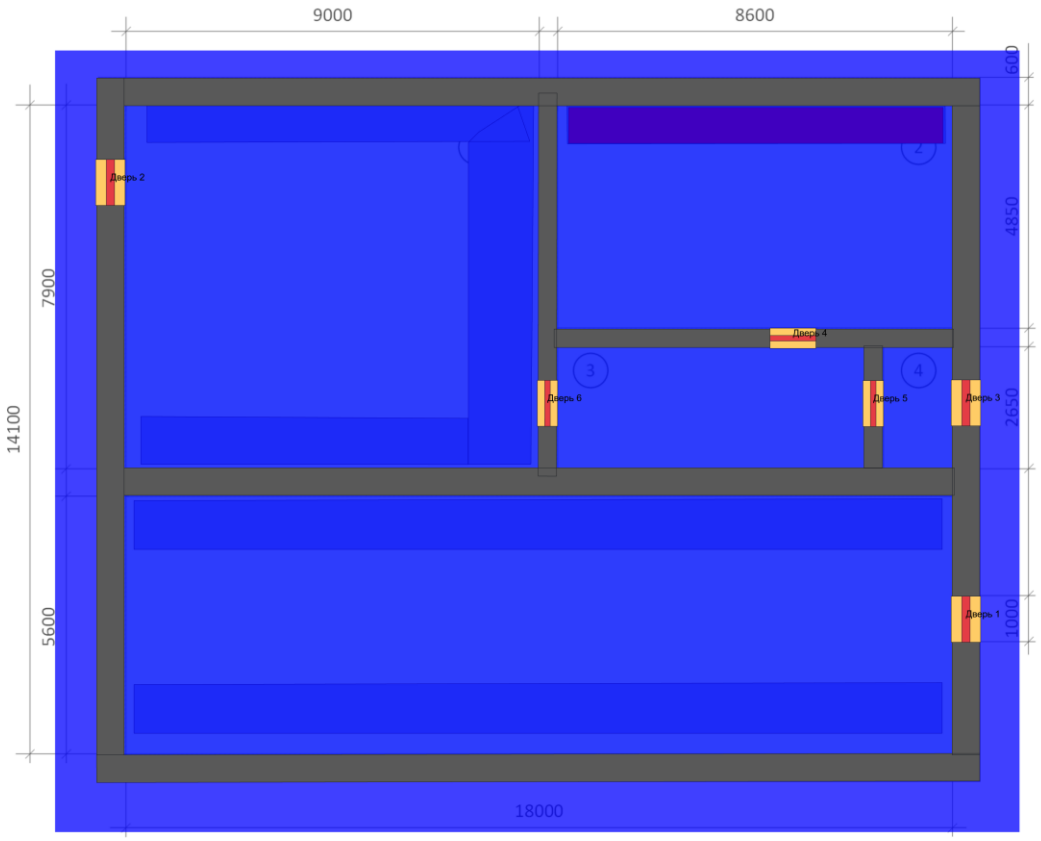


Рисунок 21. Этаж 1. HCl на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 35,6 с.

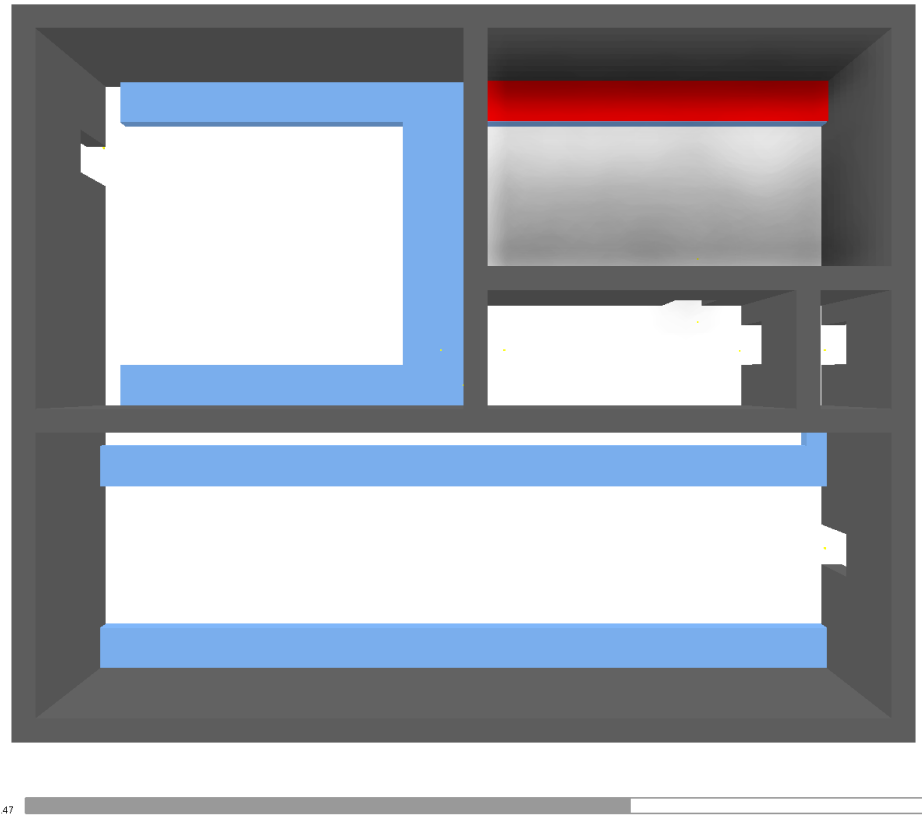


Рисунок 22. Этаж 1. Распространение дыма через 39,4 с после начала пожара.

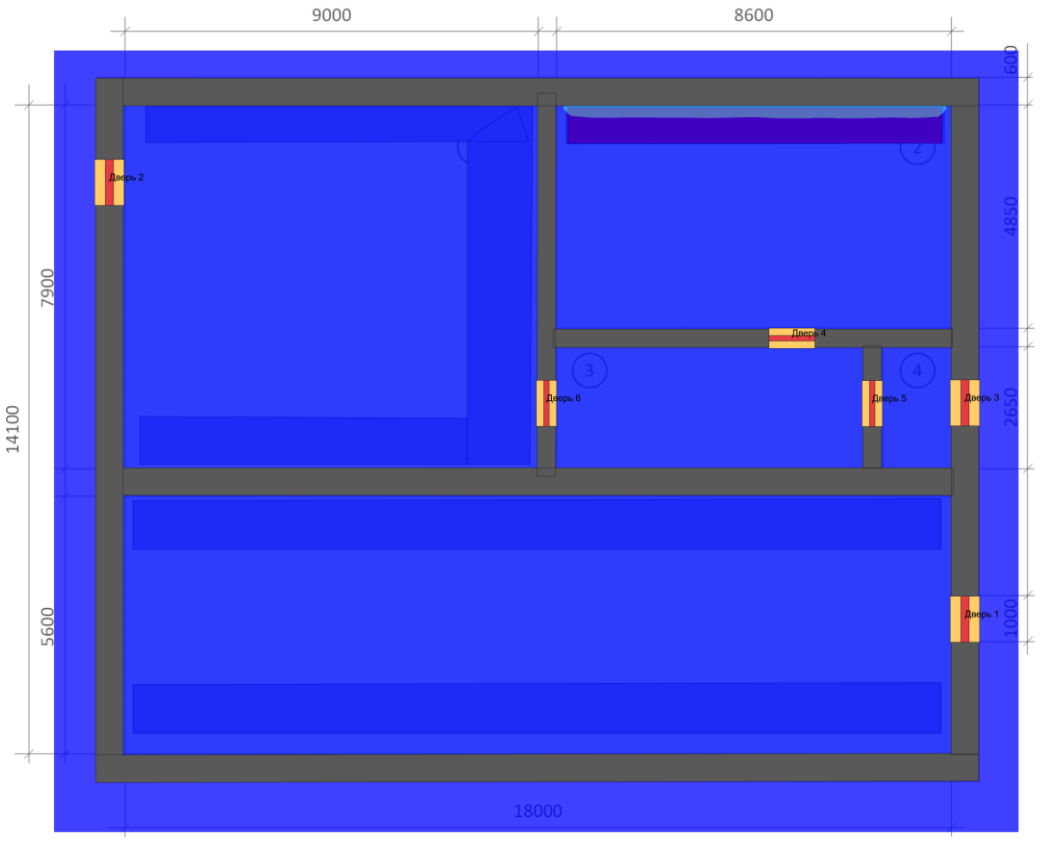


Рисунок 23. Этаж 1. Температура воздуха на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 39,4 с.

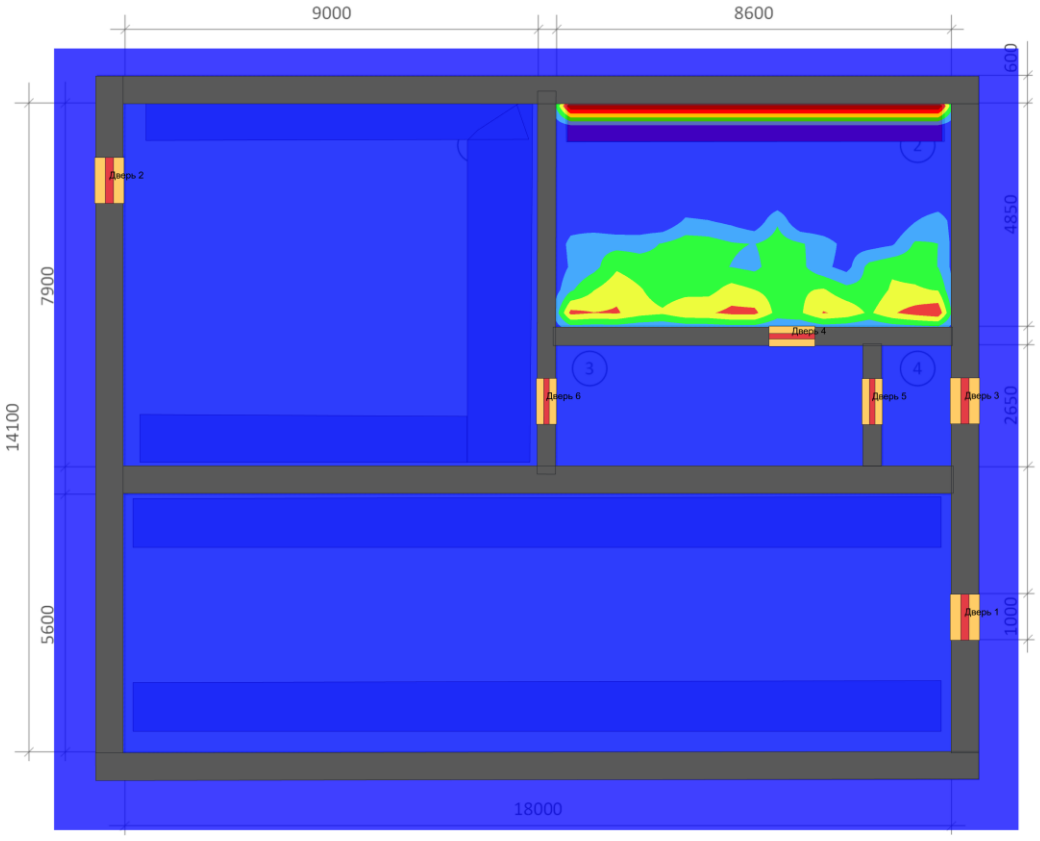


Рисунок 24. Этаж 1. Видимость на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 39,4 с.

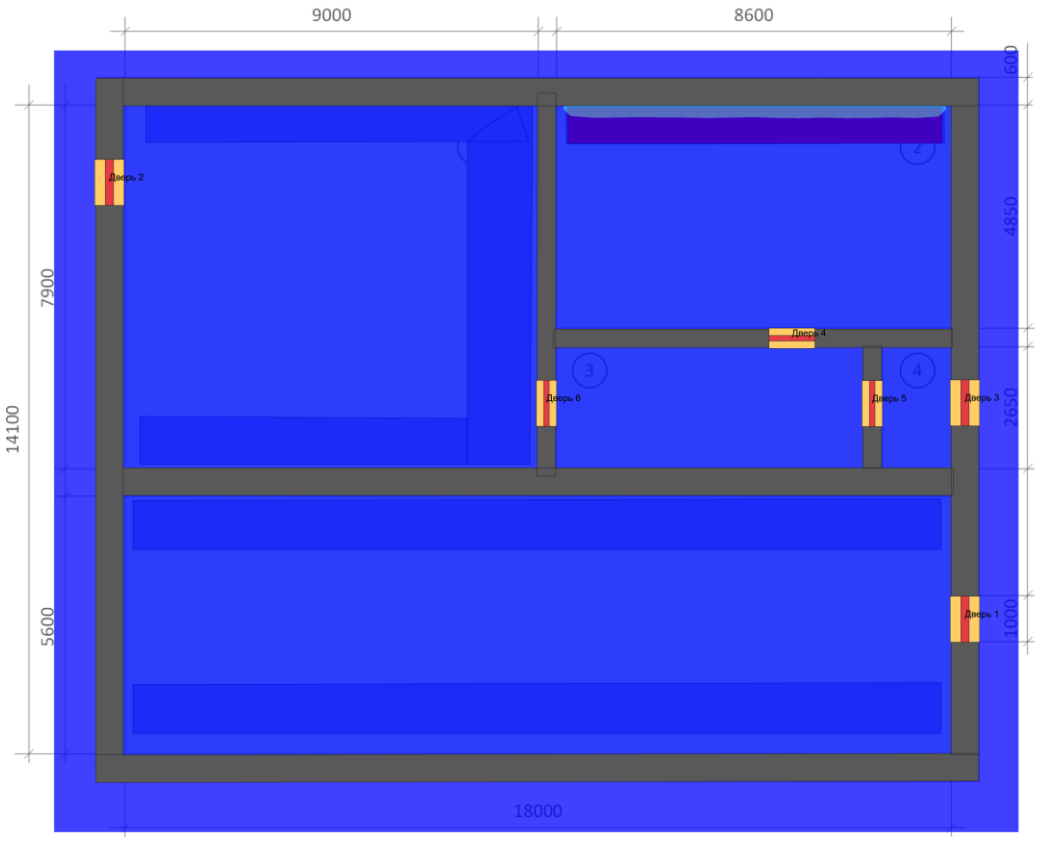


Рисунок 25. Этаж 1. O_2 на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 39,4 с.

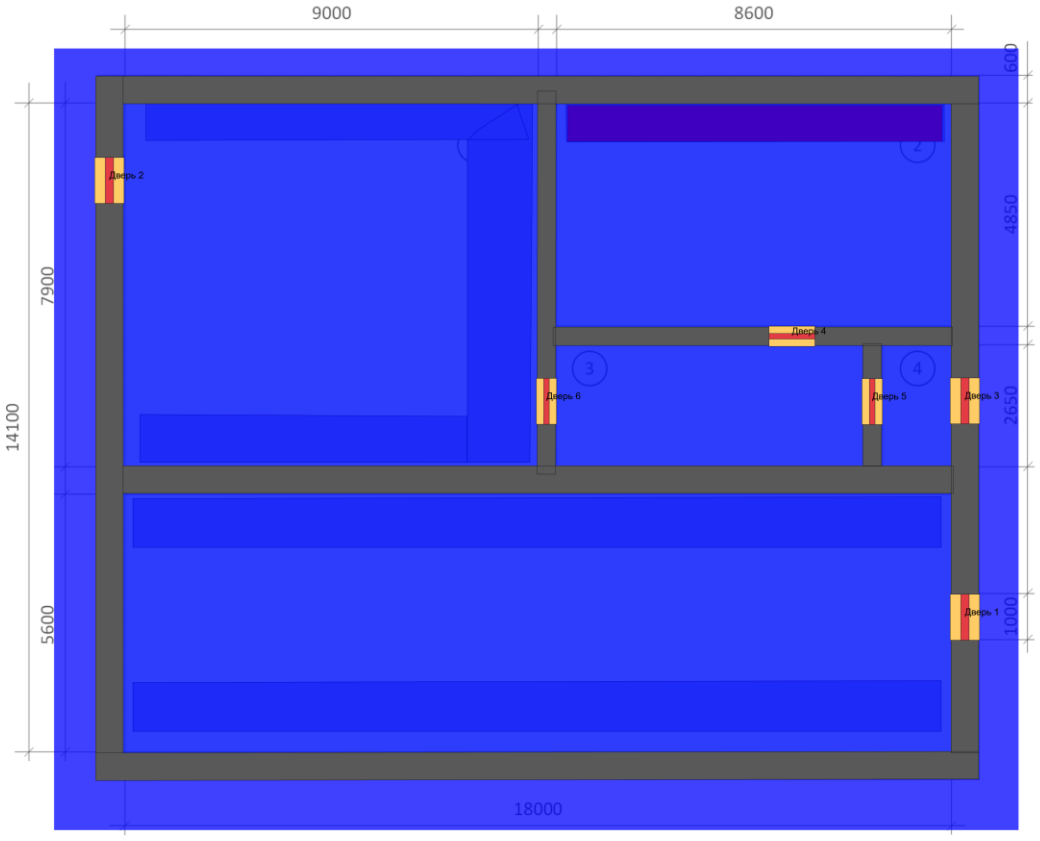


Рисунок 26. Этаж 1. CO_2 на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 39,4 с.

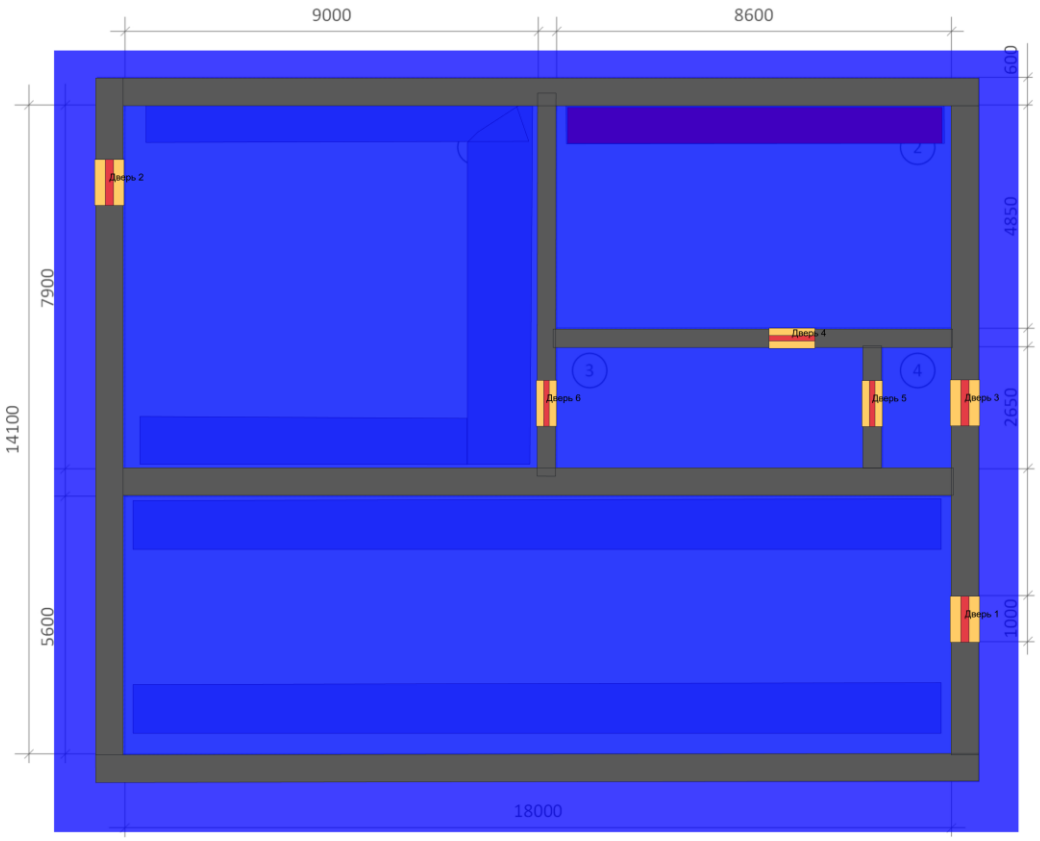


Рисунок 27. Этаж 1. CO на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 39,4 с.

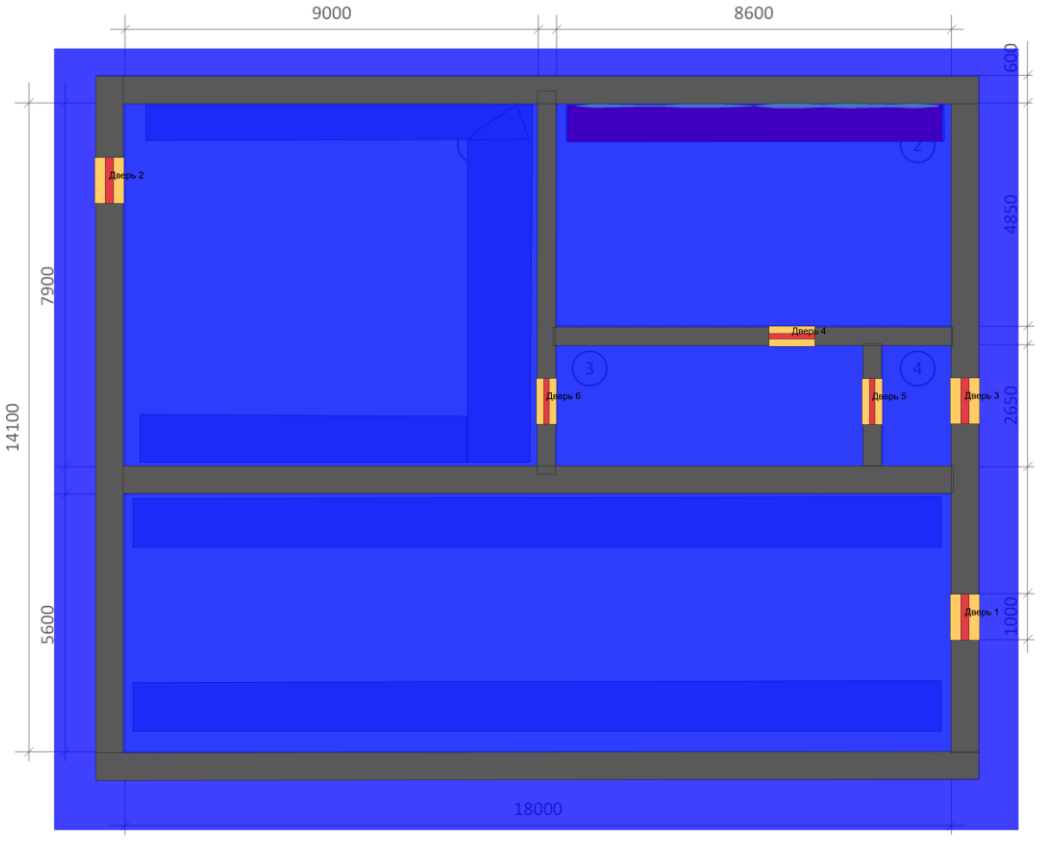


Рисунок 28. Этаж 1. HCl на высоте 1,7 м от уровня этажа. Время: 39,4 с.

Таблица 12 показывает, через какое время после начала пожара достигаются предельно допустимые значения по каждому из опасных факторов пожара.

Таблица 12. Время блокирования в здании "Здание"

Расположение	**Наименование**	**Время блокирования по каждому ОФП, с**						
		Температура воздуха	**Тепловой поток**	**Видимость**	**O_2**	**CO_2**	**CO**	**HCl**
Этаж 1								
Помещение электрооборудования	Дверь 4	>60	>60	41,9	>60	>60	>60	>60

В месте расположения других элементов, где измеряются опасные факторы пожара, критические значения не достигаются за время 60 с.

Подробные результаты моделирования развития пожара представлены в приложении №2.

Сценарий 3

Критическое время по каждому из опасных факторов пожара определяется как время достижения этим фактором предельно допустимого значения на путях эвакуации на высоте 1,7 м от пола.

Предельно допустимые значения по каждому из опасных факторов пожара составляют:

по повышенной температуре - *70 °C*;

по тепловому потоку - *1400 Вт/м²*;

по потере видимости - *20 м*;

по пониженному содержанию кислорода - $2{,}26 \cdot 10^{-1}$ *кг/м³*;

по каждому из токсичных газообразных продуктов горения: CO_2 - $1{,}1 \cdot 10^{-1}$ *кг/м³*; *CO* - $1{,}16 \cdot 10^{-3}$ *кг/м³*; *HCL* - $2{,}3 \cdot 10^{-5}$ *кг/м³*.

Моделирование динамики развития пожара проводилось по полевой модели с помощью программы FDS версии 6.

Моделирование динамики развития пожара проводилось в следующих областях расчёта:

Таблица 13. Области расчета

Расположение	**Наименование**	**Размер, м**	**Размер ячейки, м**	**Охватываемые помещения**
Этаж 1	Область расчета 1	21×17×5	0,5	Коридор, Помещение контроллерной, Помещение трансформаторной, Помещение электрооборудования, Тамбур

Параметры окружающей среды:

— температура: 20 °C

— давление: 101325 Па (760 мм рт. ст.)

— относительная влажность: 40 %

— ветер отсутствует

— температура в помещениях: 20 °C

Горючая нагрузка: Текстолит, карболит

Описание: Электротехн. материалы; текстолит, карболит

Источники данных о параметрах пожарной нагрузки:

1. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. — М.: Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 С.

2. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / 2-ое изд., испр. и доп. / М.: ВНИИПО, 2019. - 334 С.

3. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. Изменение №1, утвержденное и введенное в действие приказом МЧС России от 14.02.2020 г. N 89 с 14.08.2020

Таблица 14. Параметры горючей нагрузки

Параметр	Единица измерения	Значение
Низшая теплота сгорания	кДж/кг	20900
Линейная скорость распространения пламени	м/с	0,0125
Удельная массовая скорость выгорания	кг/(м² · с)	0,0076
Коэффициент полноты сгорания	—	0,93
Удельная мощность	кВт/м²	147,7212
Дымообразующая способность	Нп · м²/кг	327
Потребление кислорода (O_2)	кг/кг	1,95
Выделение углекислого газа (CO_2)	кг/кг	0,375
Выделение угарного газа (CO)	кг/кг	0,0556
Выделение хлористого водорода (HCl)	кг/кг	0,0054

Проводилось моделирование динамики развития пожара в течение 60 с.

Опасные факторы пожара измерялись в месте расположения следующих элементов:

На этаже Этаж 1:

— на уровне 1,7 м (на высоте 1,7 м от уровня этажа): "Дверь 2", "Дверь 1", "Дверь 3", "Дверь 6", "Дверь 4", "Дверь 5"

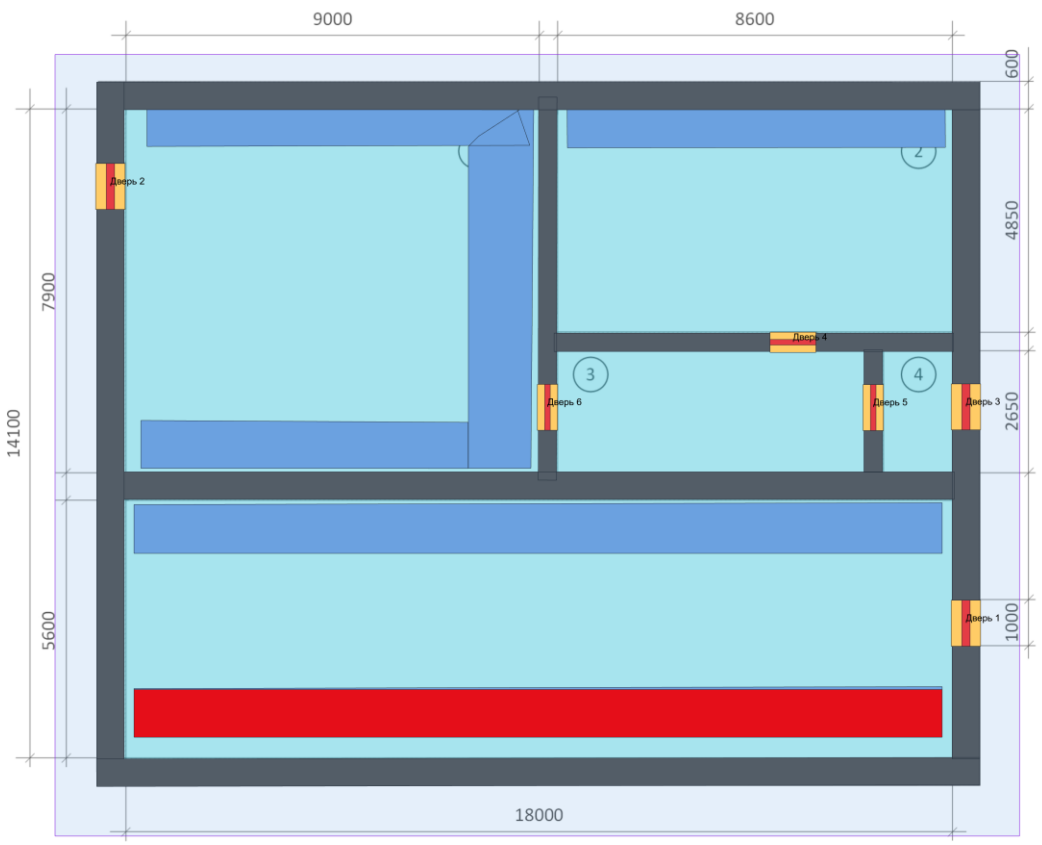


Рисунок 29. Этаж 1. Пожарная модель.

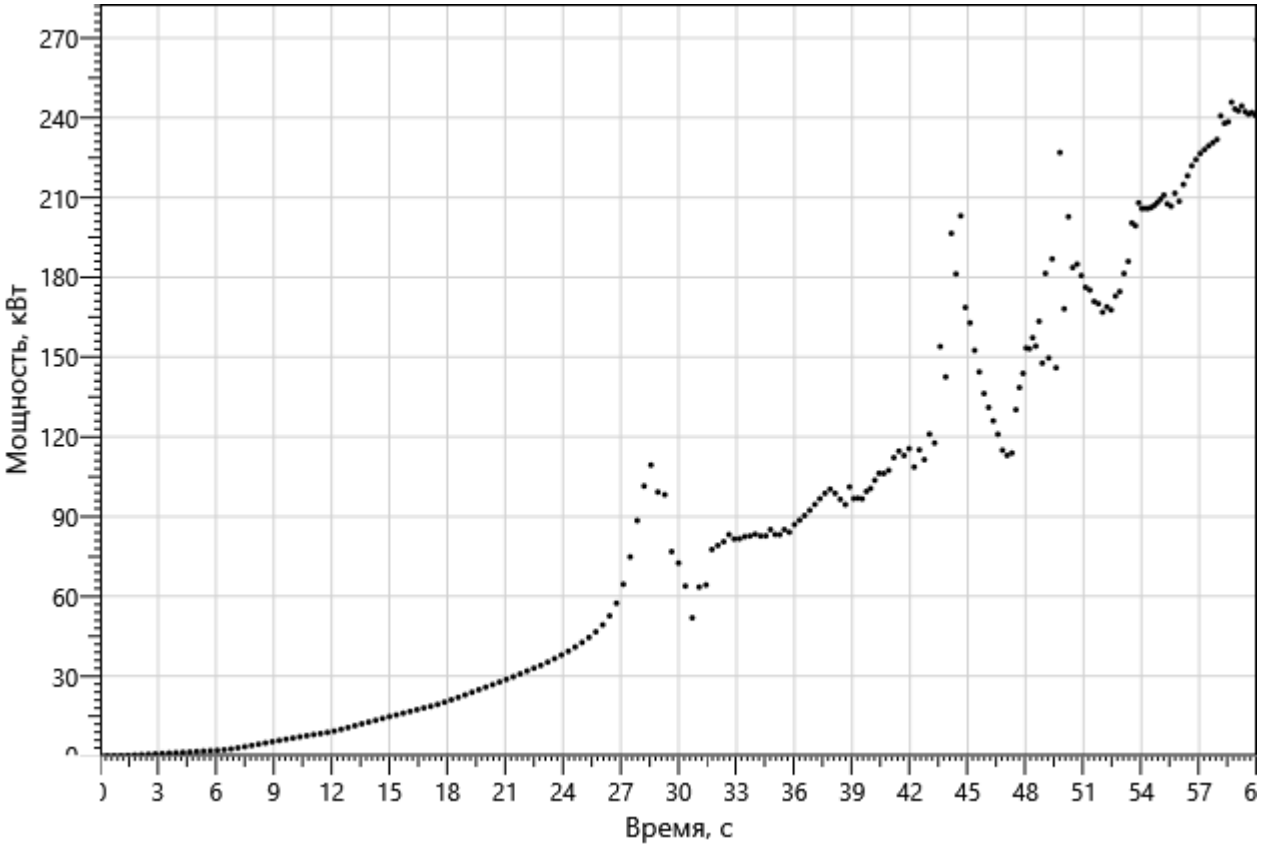


Рисунок 30. Мощность пожара

Следующие рисунки показывают динамику развития ОФП.

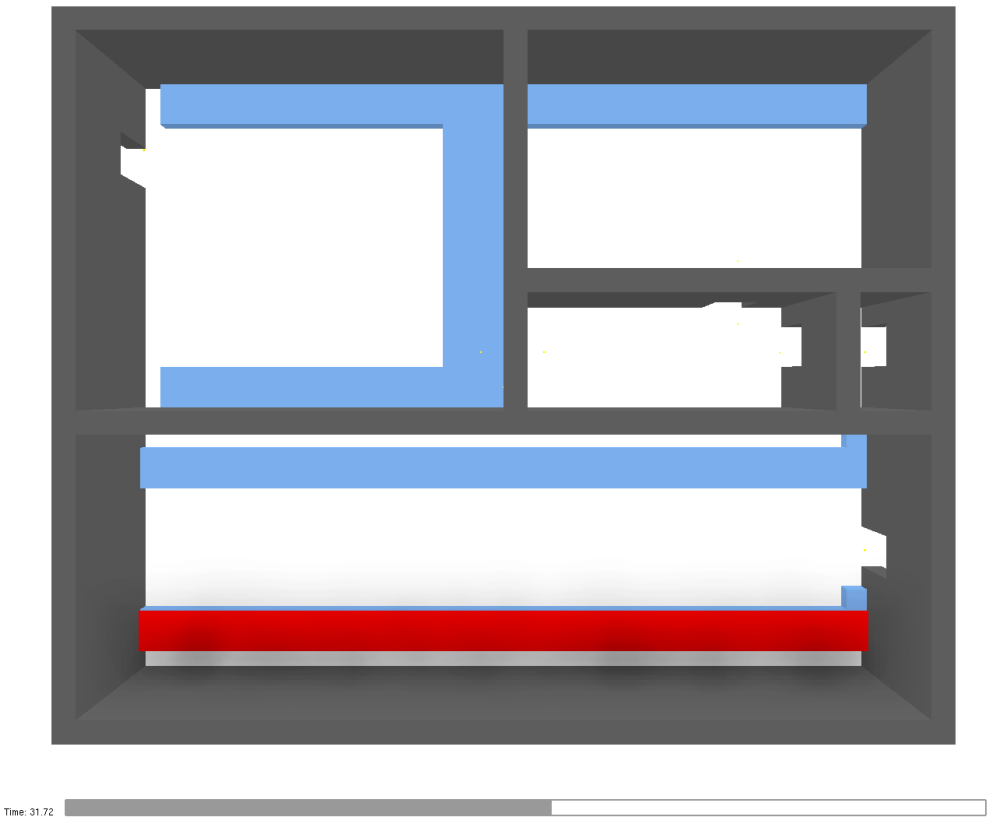


Рисунок 31. Этаж 1. Распространение дыма через 31,8 с после начала пожара.



Рисунок 32. Этаж 1. Распространение дыма через 35,6 с после начала пожара.



Рисунок 33. Этаж 1. Распространение дыма через 39,4 с после начала пожара.

В месте расположения всех элементов, где измеряются опасные факторы пожара, критические значения не достигаются за время 60 с.

Подробные результаты моделирования развития пожара представлены в приложении №2.

Определение расчетного времени эвакуации людей из здания

Сценарий 1

В соответствии с объемно-планировочными решениями здания, геометрическими размерами эвакуационных путей и выходов, а также известными особенностями поведения людей при пожарах (движение к более широким и хорошо заметным выходам, выбор более короткого пути эвакуации, использование знакомых маршрутов движения и т.п.) были составлены расчётные схемы эвакуации с этажей здания. Количество и

расположение людей принималось в соответствии с данными, предоставленными заказчиком.

Общее количество людей в здании: 3

Таблица 15. Количество людей в здании "Здание"

Контингент	**Количество людей контингента**	**Доля контингента, %**	**Группа мобильности**	**Количество людей группы мобильности**	**Доля группы мобильности, %**
M1	3	100	M1	3	100

Таблица 16. Расположение людей в здании "Здание"

Расположение		**Количество людей**
Этаж 1		Всего: 3 2 - Оператор 1 - Электрик
	Помещение контроллерной	Всего: 1 1 - Оператор
	Помещение трансформаторной	Всего: 1 1 - Электрик
	Помещение электрооборудования	Всего: 1 1 - Оператор

Для определения времени эвакуации были составлены поэтажные расчётные схемы эвакуации.

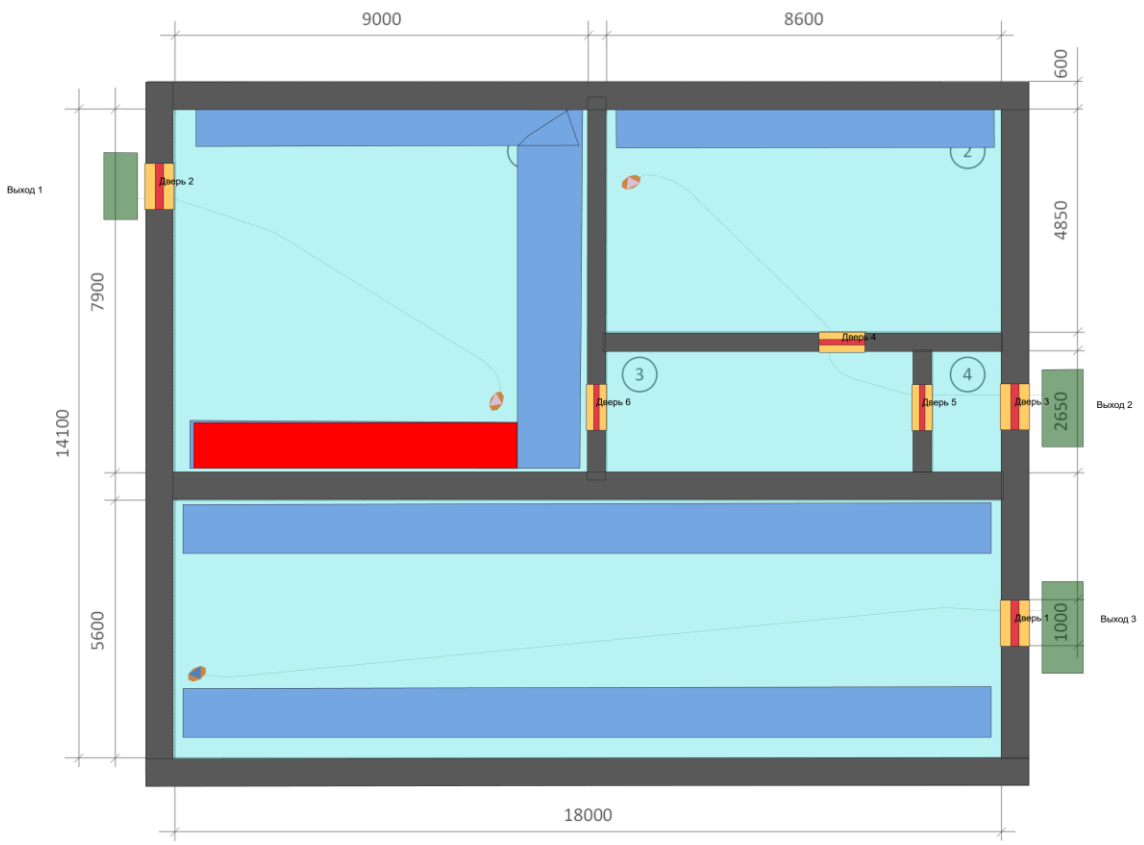


Рисунок 34. Этаж 1. Люди и траектории их движения на этаже.

Следующие рисунки показывают динамику движения людей.

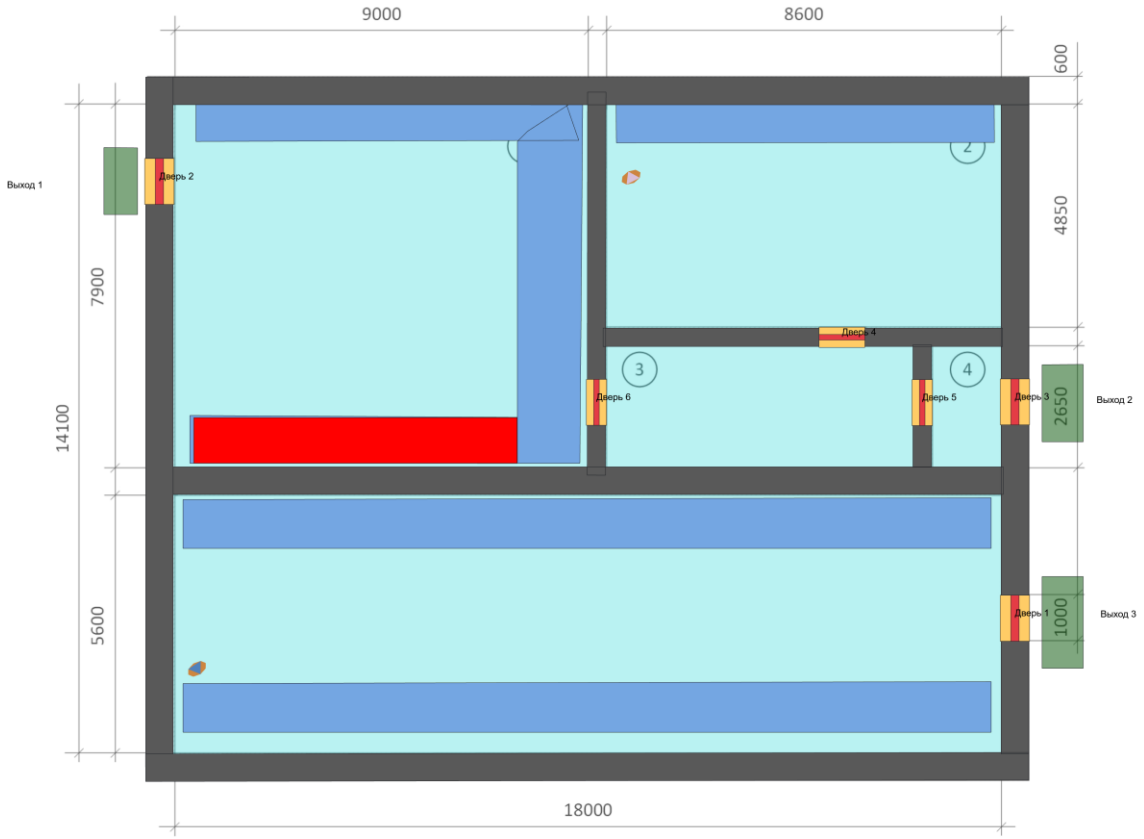


Рисунок 35. Этаж 1. Расположение людей через 6,8 с после начала пожара

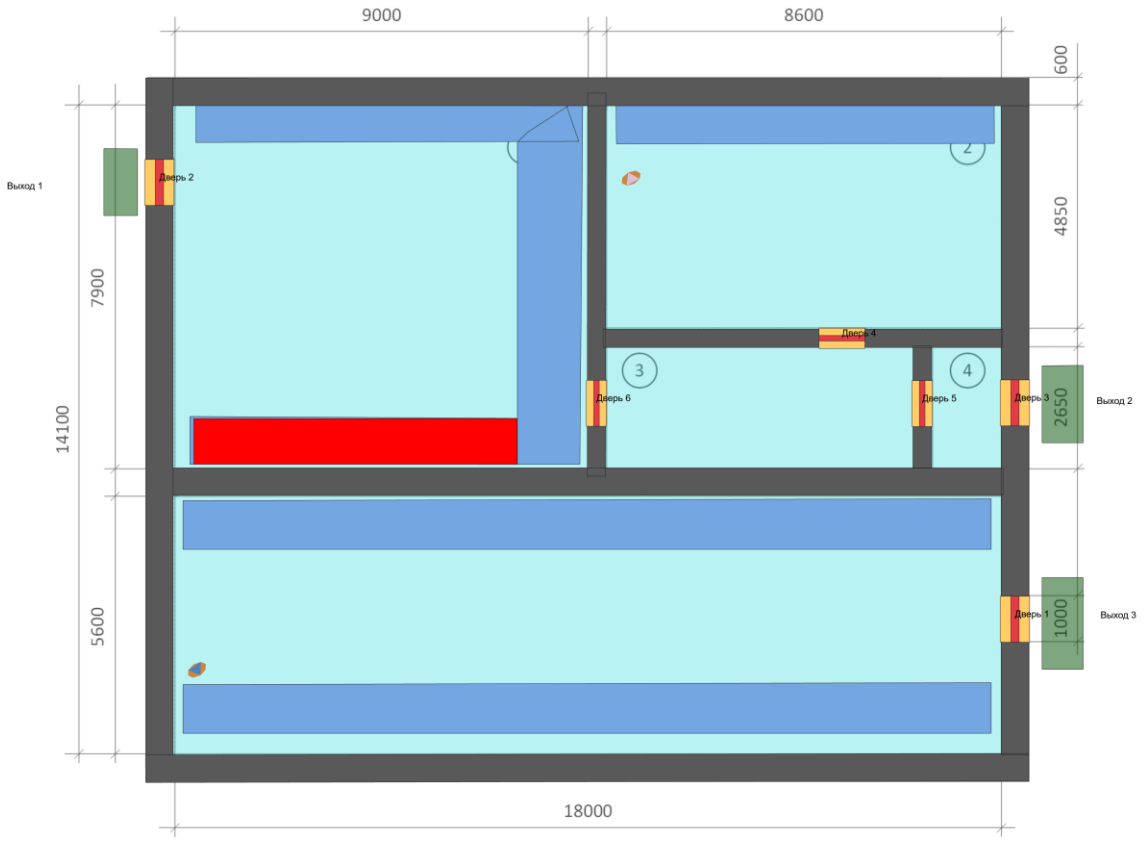


Рисунок 36. Этаж 1. Расположение людей через 20,6 с после начала пожара

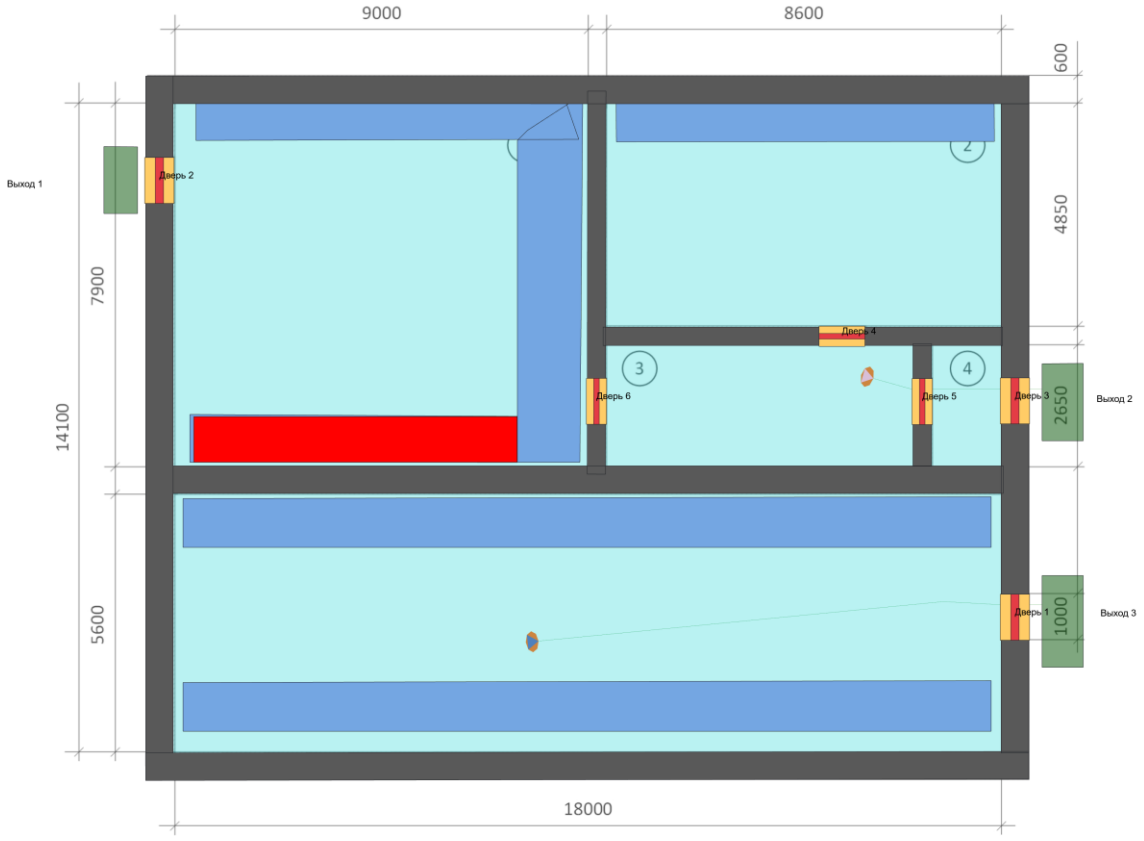


Рисунок 37. Этаж 1. Расположение людей через 34,4 с после начала пожара

Таблица 17. Статистика использования выходов в здании "Здание"

Расположение	Наименование	Время первого, с	Время последнего, с	Количество людей
Этаж 1				
	Выход 1	5,8	5,8	1
	Выход 2	36,8	36,8	1
	Выход 3	41,2	41,2	1

На следующих графиках показано количество людей, эвакуировавшихся в выходы, в зависимости от времени.

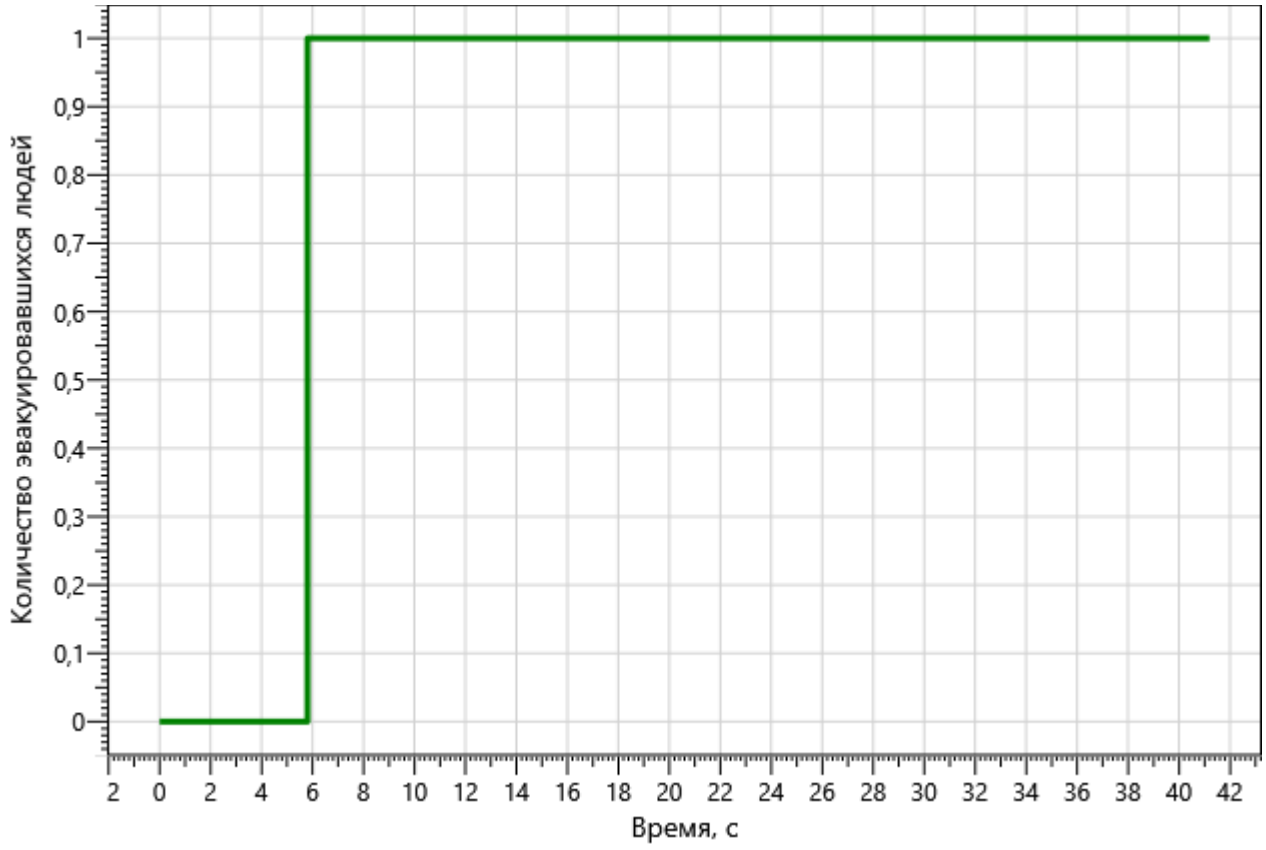


Рисунок 38. Выход 1

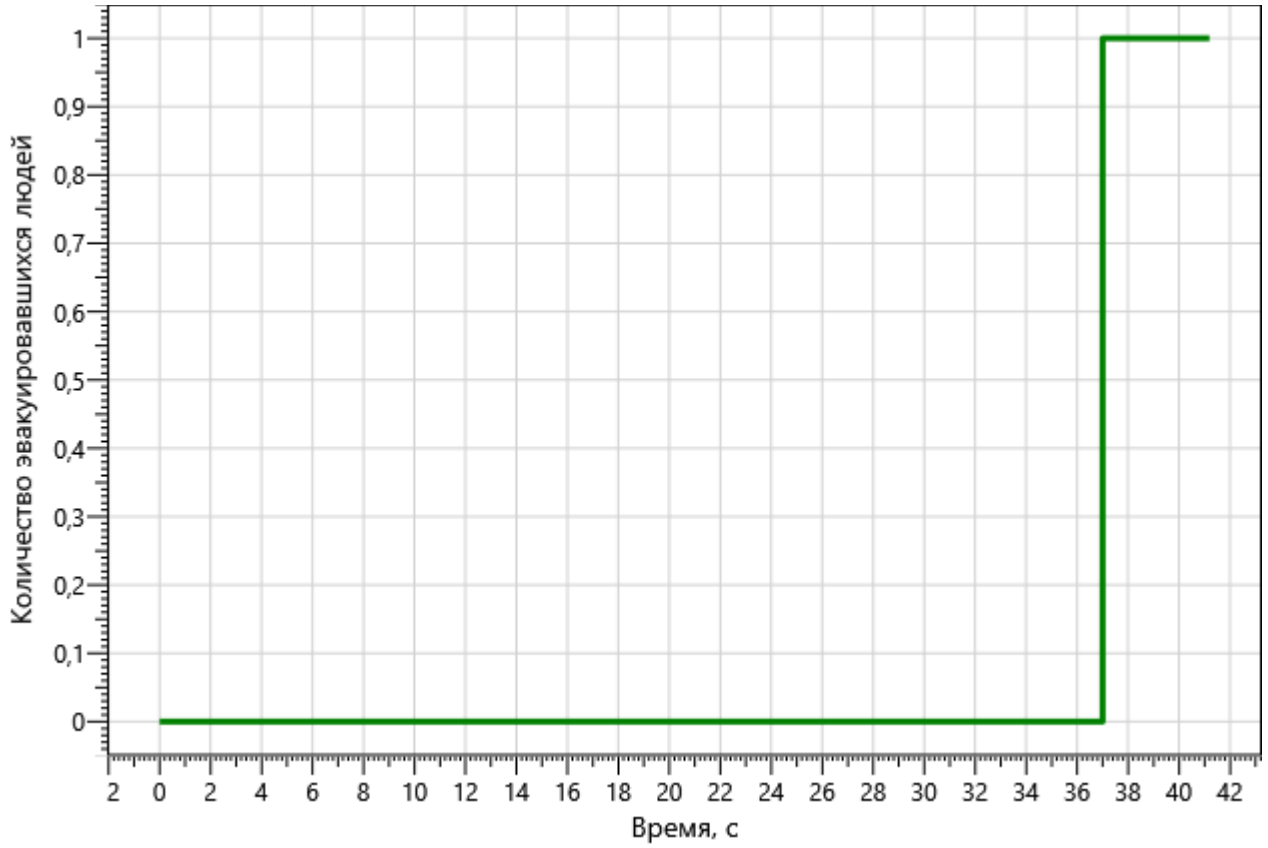


Рисунок 39. Выход 2

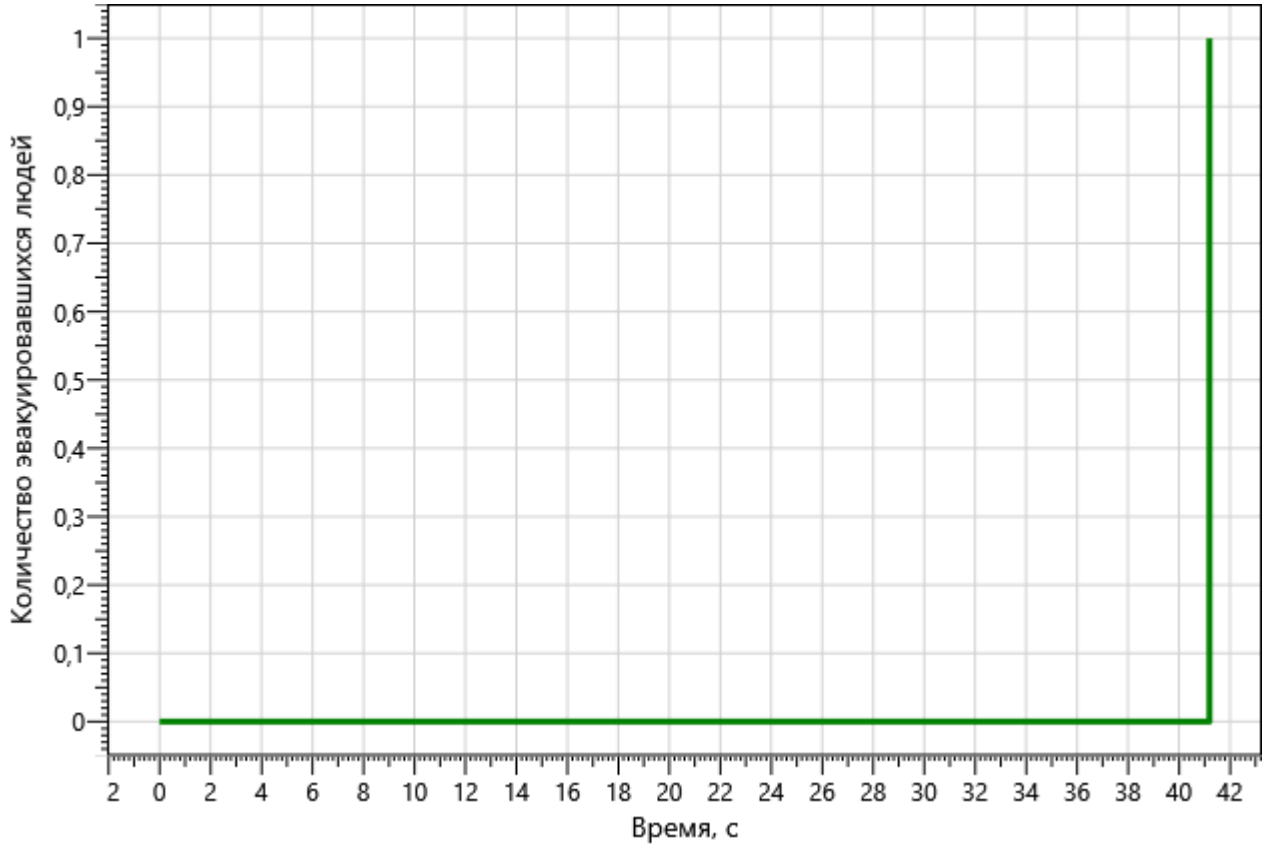


Рисунок 40. Выход 3

На графике ниже показано количество людей, эвакуировавшихся из здания в целом, в зависимости от времени.

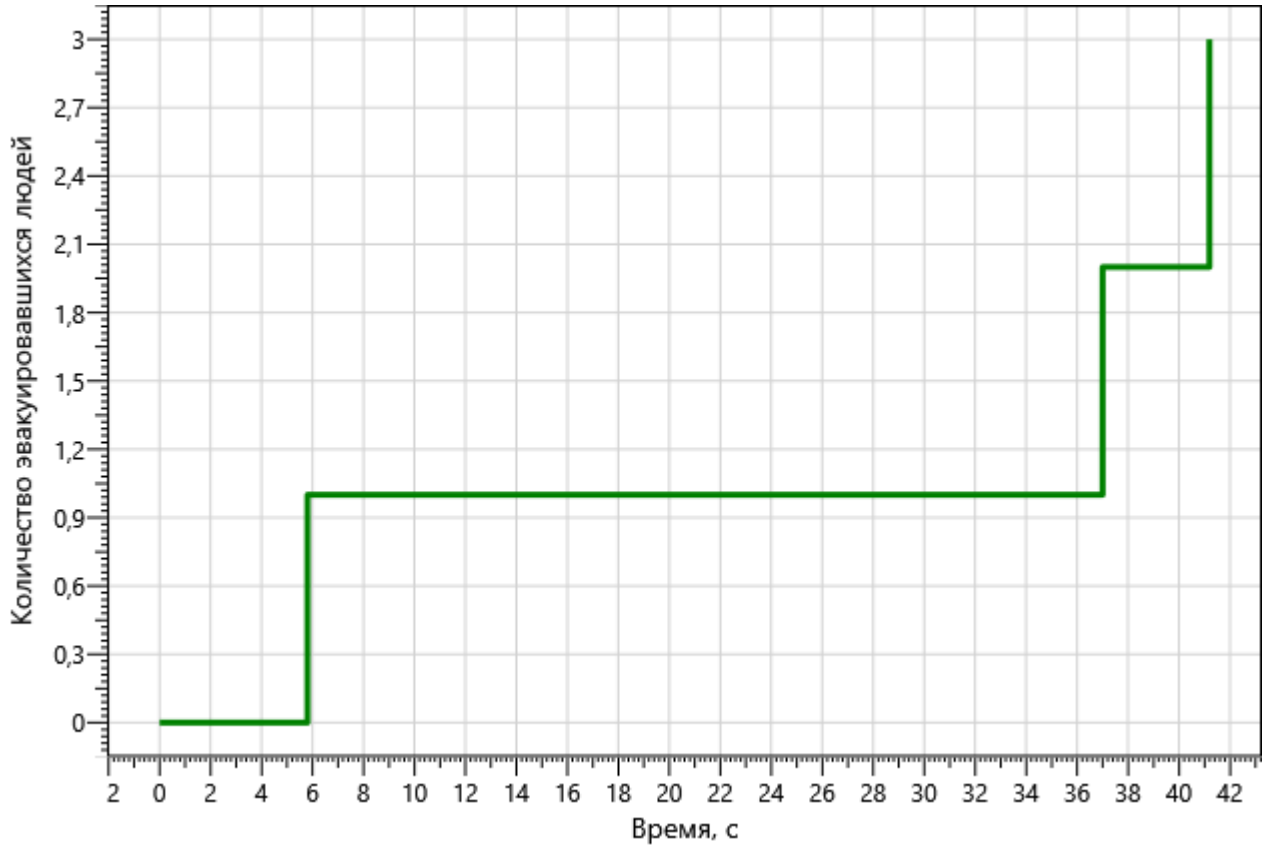


Рисунок 41. Здание

Таблица 18. Статистика прохождения в здании "Здание"

Расположение	Наименование	Время первого, с	Время последнего, с	Количество людей
Этаж 1				
Помещение контроллерной	Дверь 2	5,2	5,2	1
Помещение трансформаторной	Дверь 1	40,6	40,6	1
Помещение электрооборудования	Дверь 3	36,2	36,2	1
	Дверь 4	33,4	33,4	1
	Дверь 5	35,0	35,0	1

На следующих графиках показано количество людей, прошедших через регистраторы, в зависимости от времени.

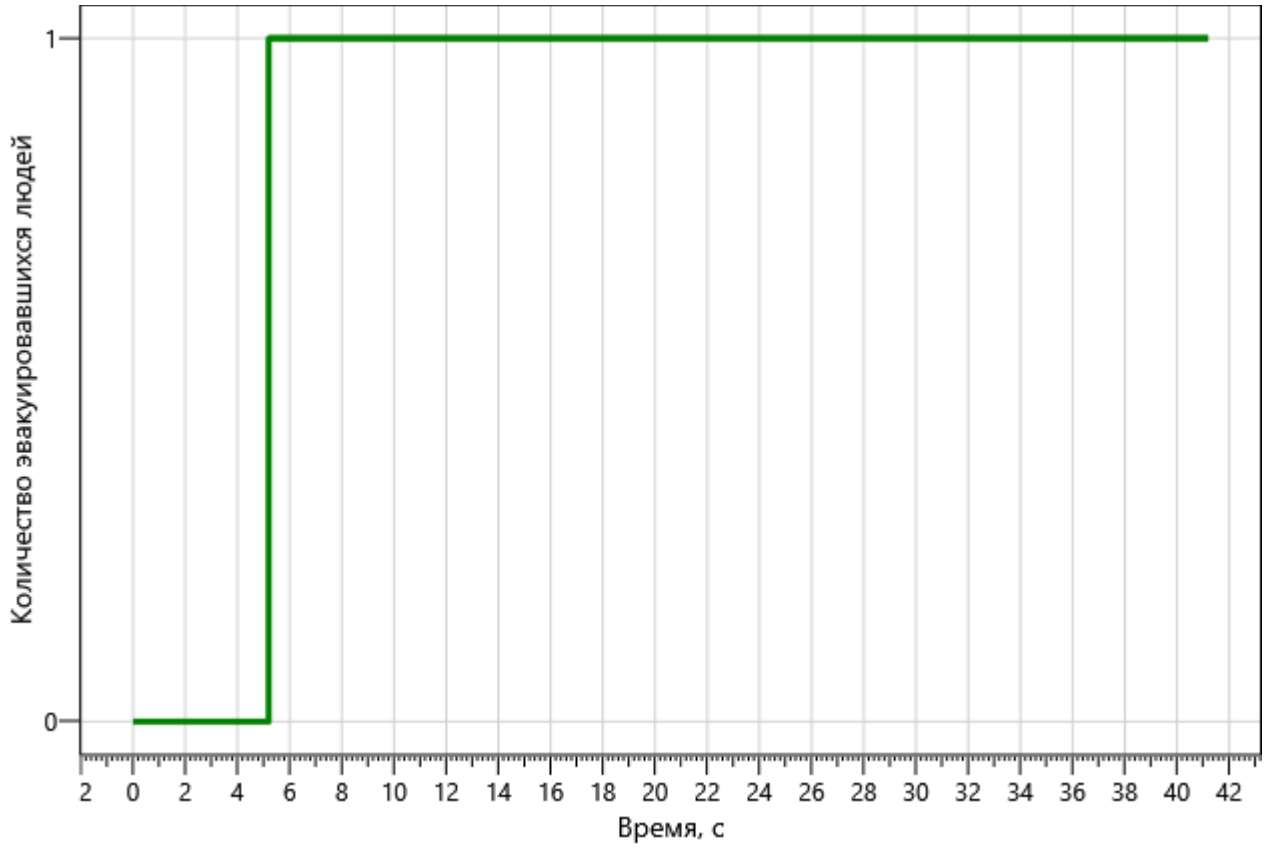


Рисунок 42. Дверь 2

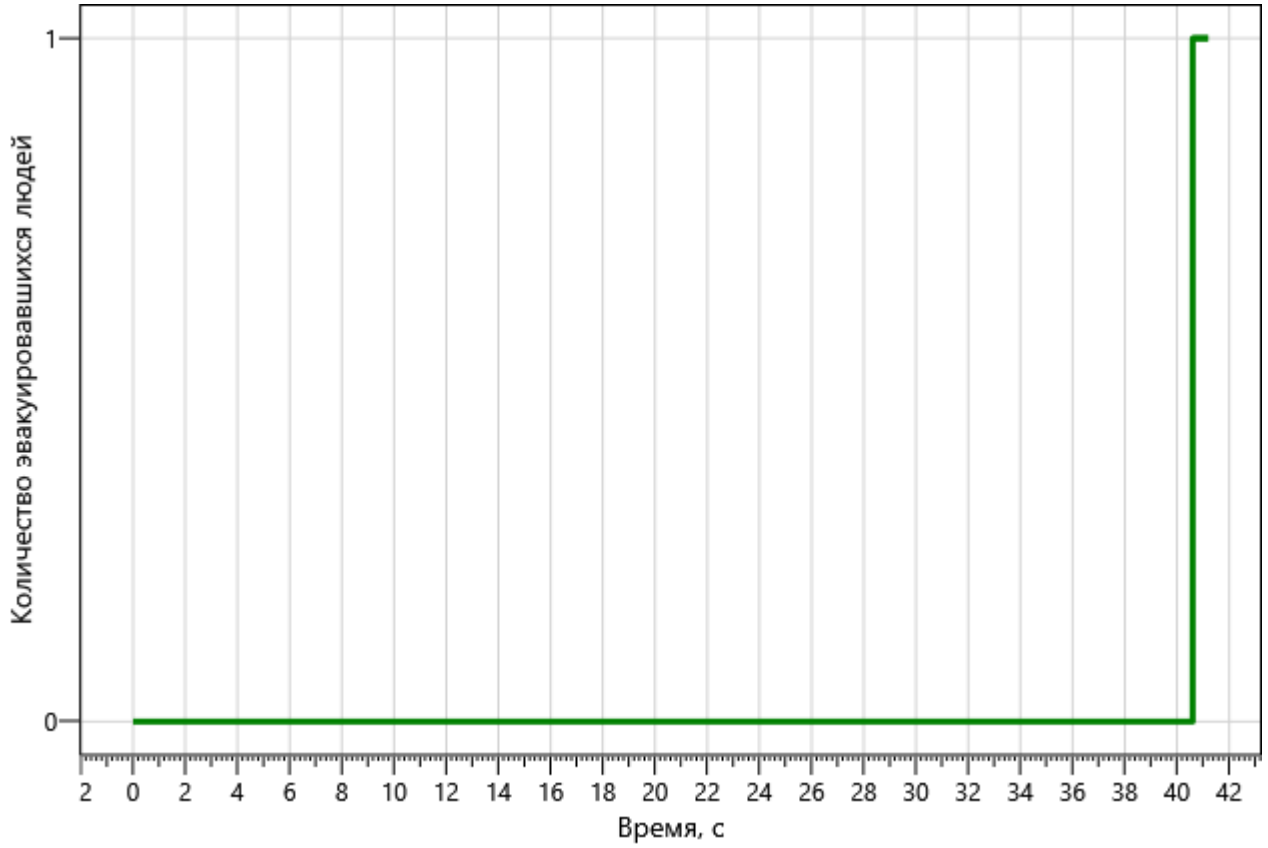


Рисунок 43. Дверь 1

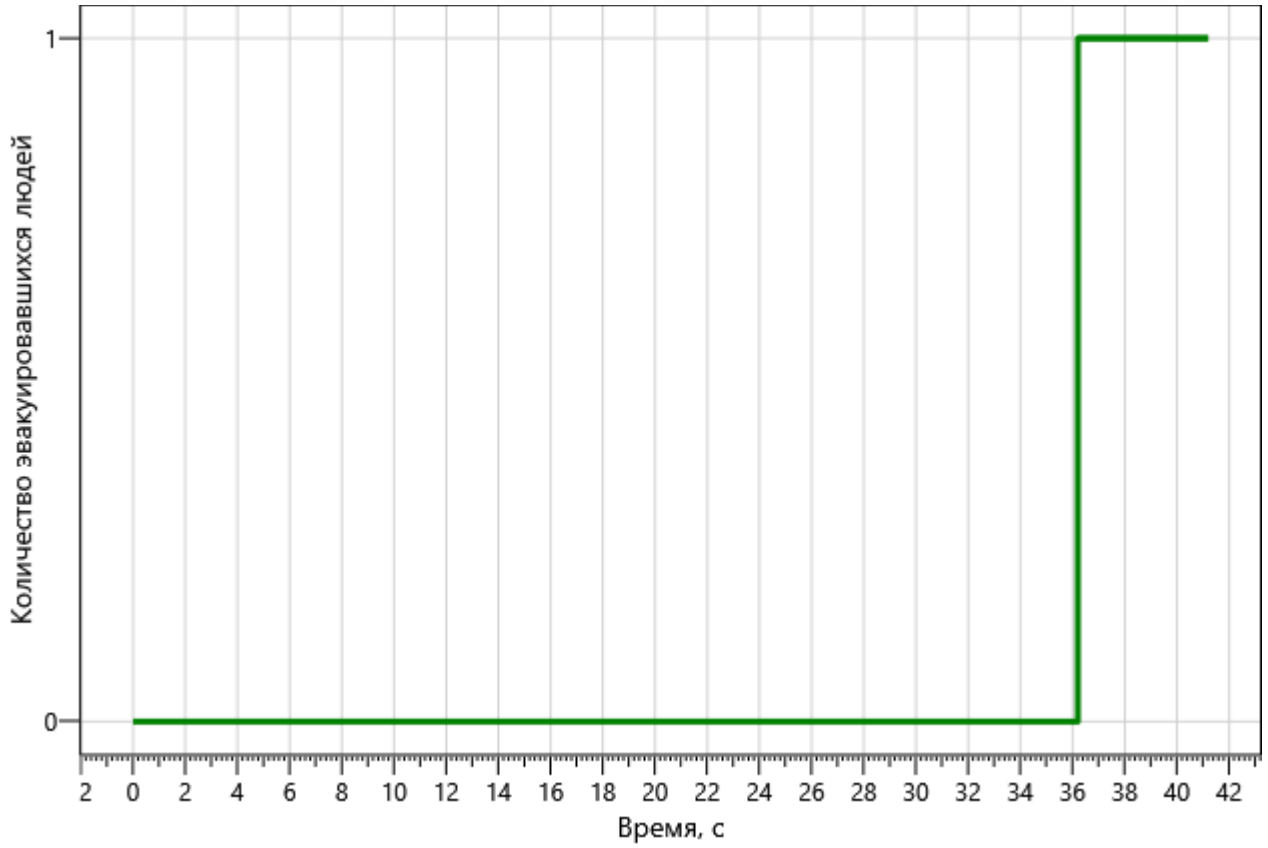


Рисунок 44. Дверь 3

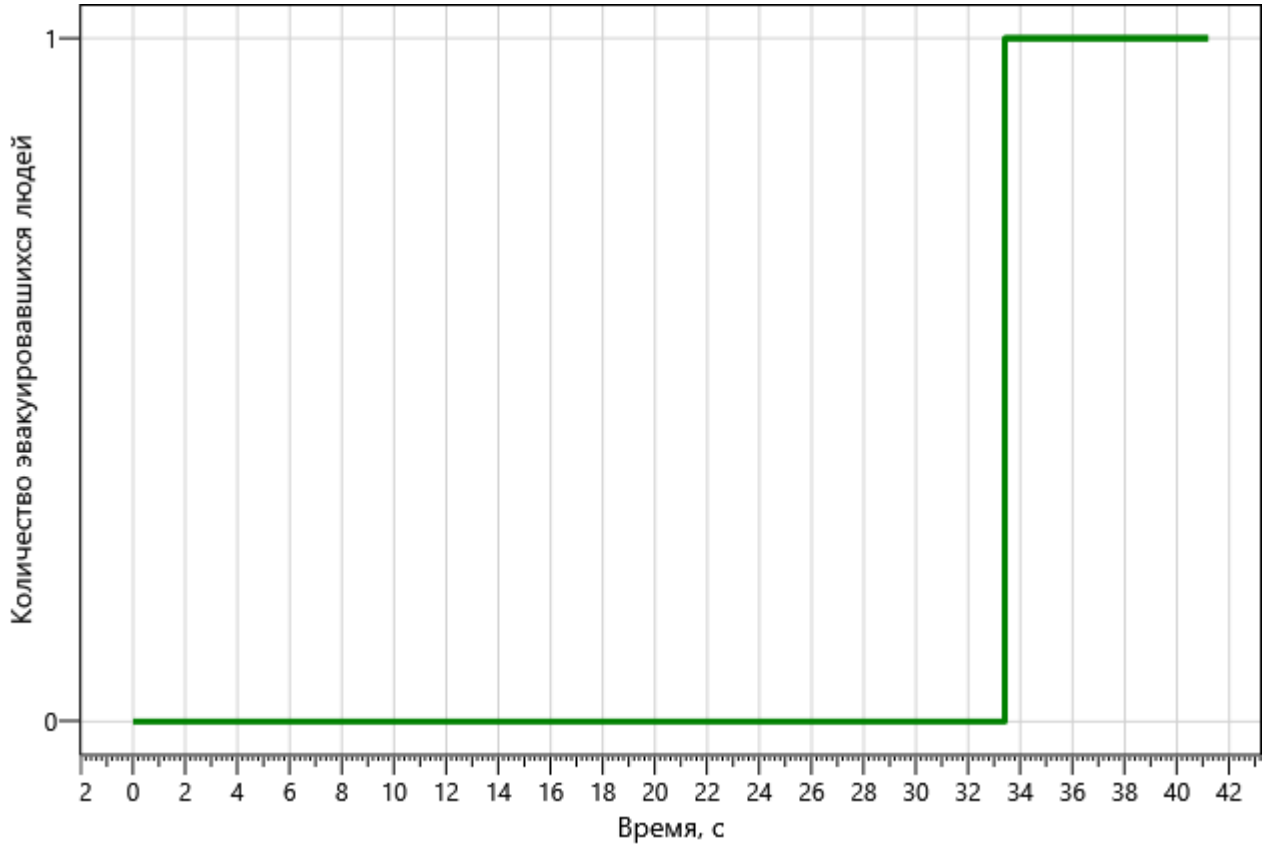


Рисунок 45. Дверь 4

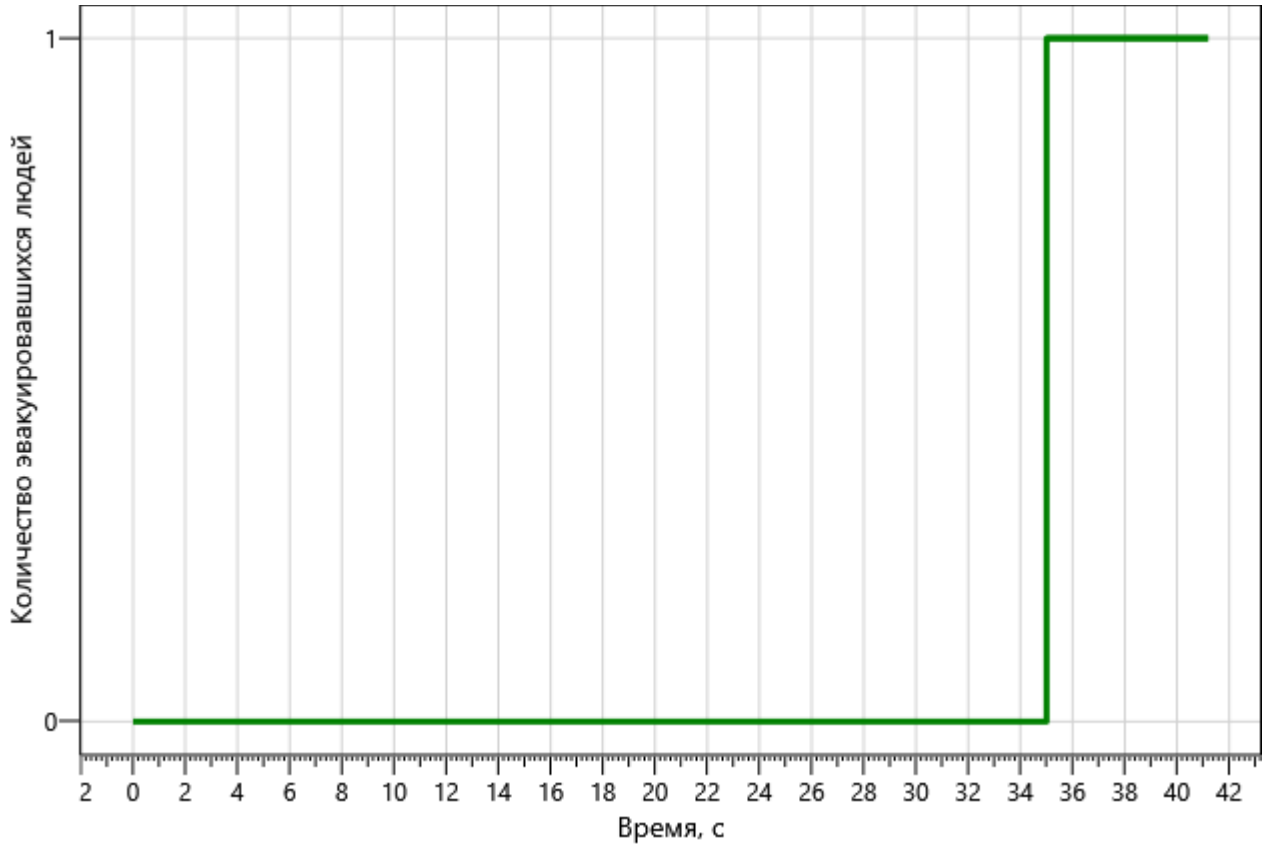


Рисунок 46. Дверь 5

Сценарий 2

В соответствии с объемно-планировочными решениями здания, геометрическими размерами эвакуационных путей и выходов, а также известными особенностями поведения людей при пожарах (движение к более широким и хорошо заметным выходам, выбор более короткого пути эвакуации, использование знакомых маршрутов движения и т.п.) были составлены расчётные схемы эвакуации с этажей здания. Количество и расположение людей принималось в соответствии с данными, предоставленными заказчиком.

Общее количество людей в здании: 3

Таблица 19. Количество людей в здании "Здание"

Контингент	Количество людей контингента	Доля контингента, %	Группа мобильности	Количество людей группы	Доля группы мобильности, %

				мобильности	
M1	3	100	M1	3	100

Таблица 20. Расположение людей в здании "Здание"

Расположение		**Количество людей**
Этаж 1		Всего: 3 2 - Оператор 1 - Электрик
	Помещение контроллерной	Всего: 1 1 - Оператор
	Помещение трансформаторной	Всего: 1 1 - Электрик
	Помещение электрооборудования	Всего: 1 1 - Оператор

Для определения времени эвакуации были составлены поэтажные расчётные схемы эвакуации.

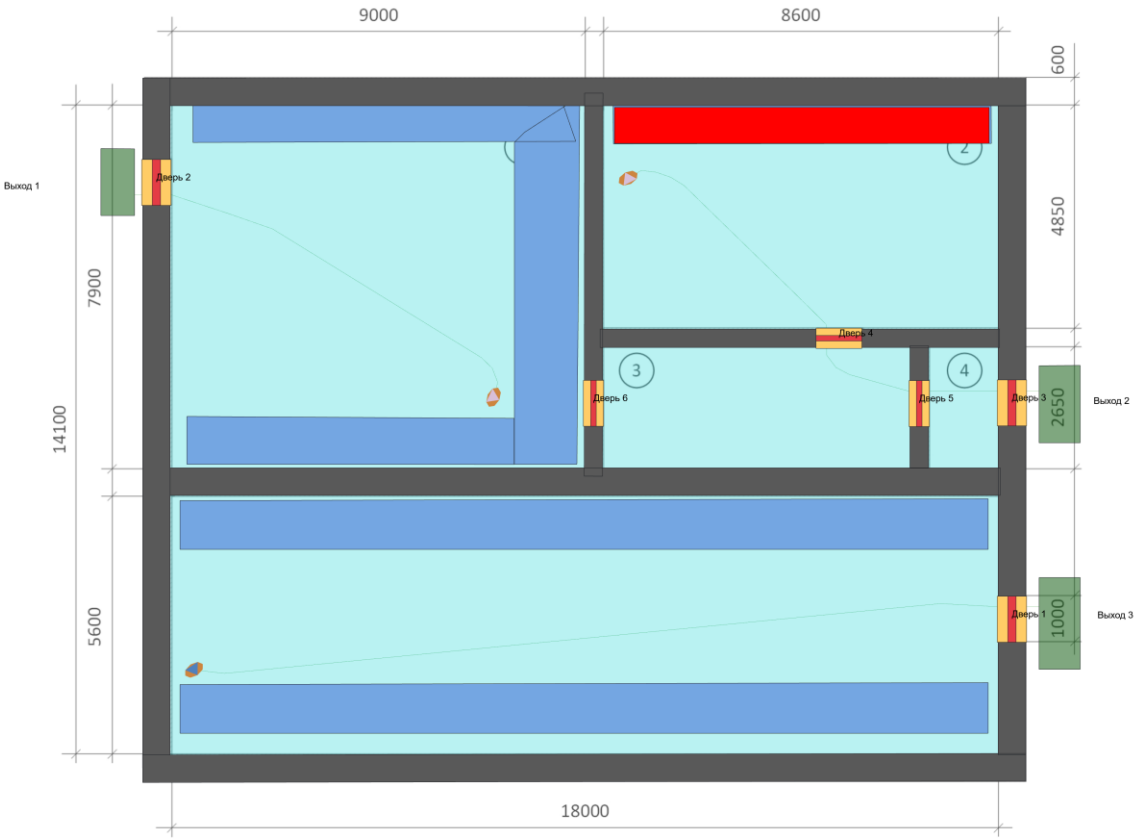


Рисунок 47. Этаж 1. Люди и траектории их движения на этаже.

Следующие рисунки показывают динамику движения людей.

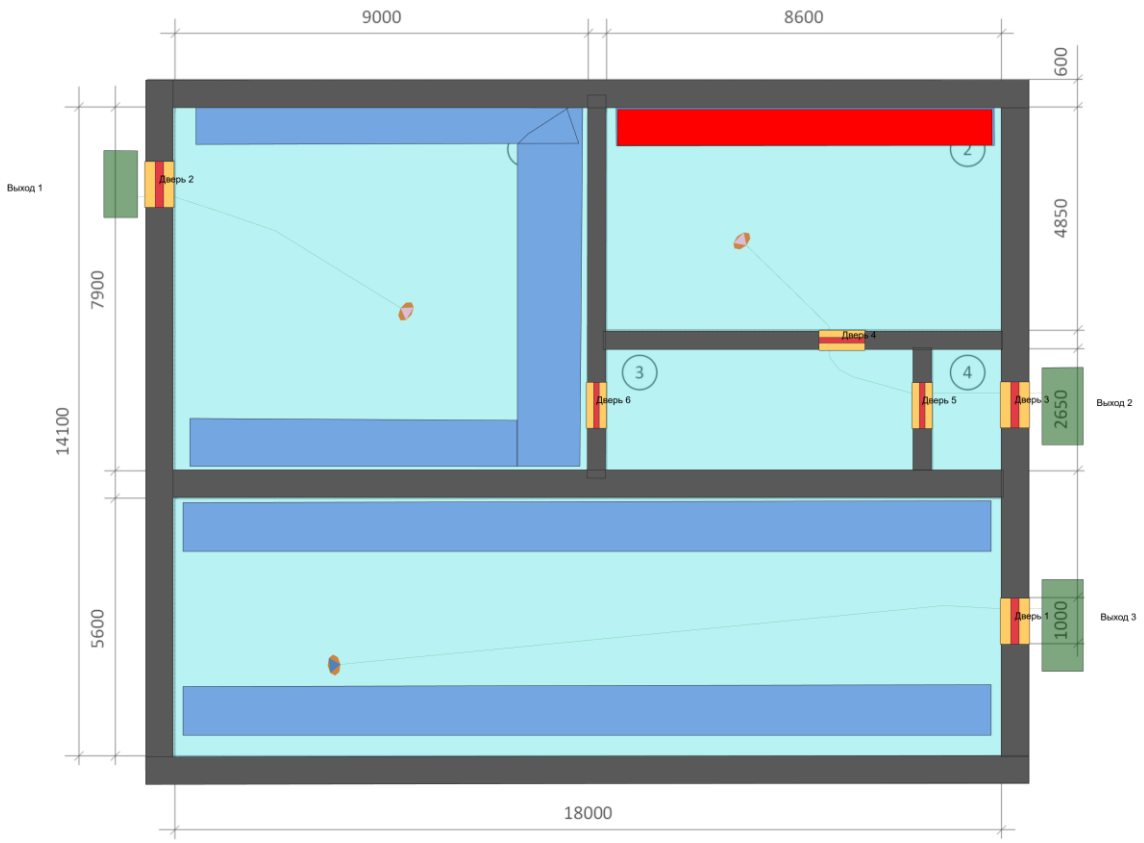


Рисунок 48. Этаж 1. Расположение людей через 31,8 с после начала пожара

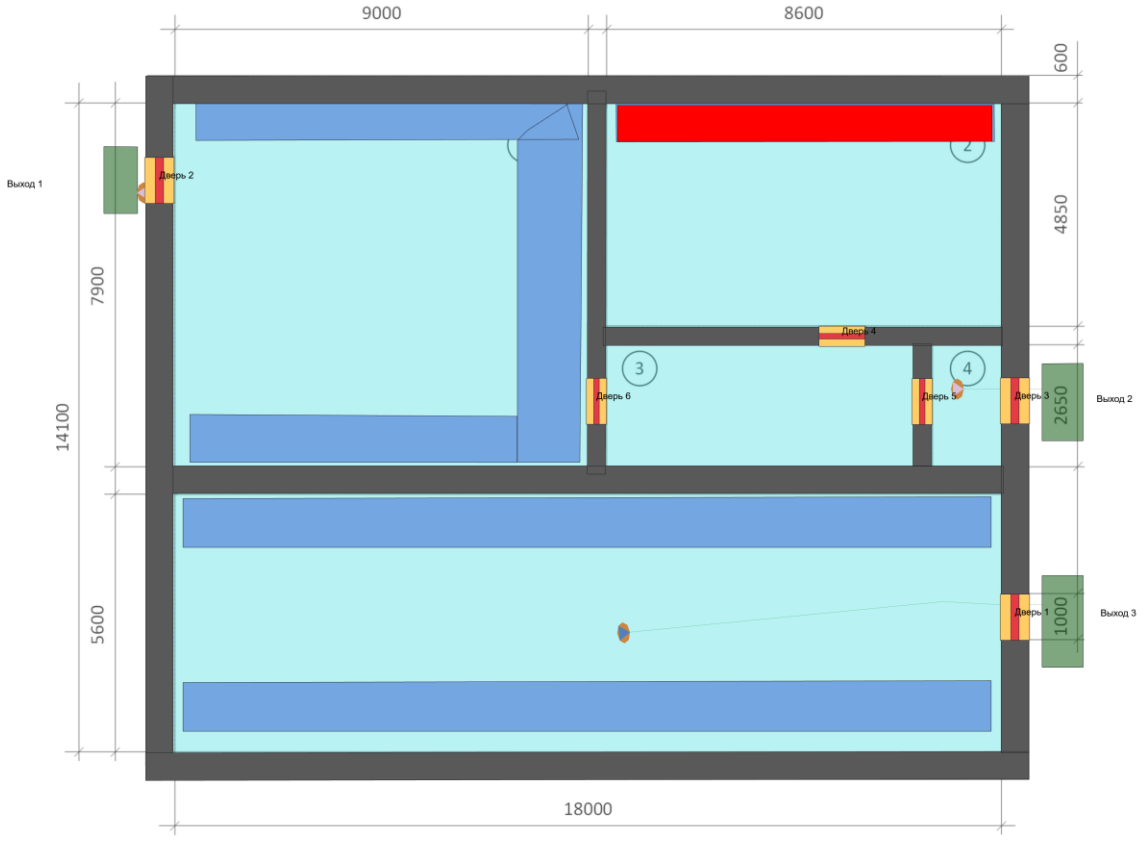


Рисунок 49. Этаж 1. Расположение людей через 35,6 с после начала пожара

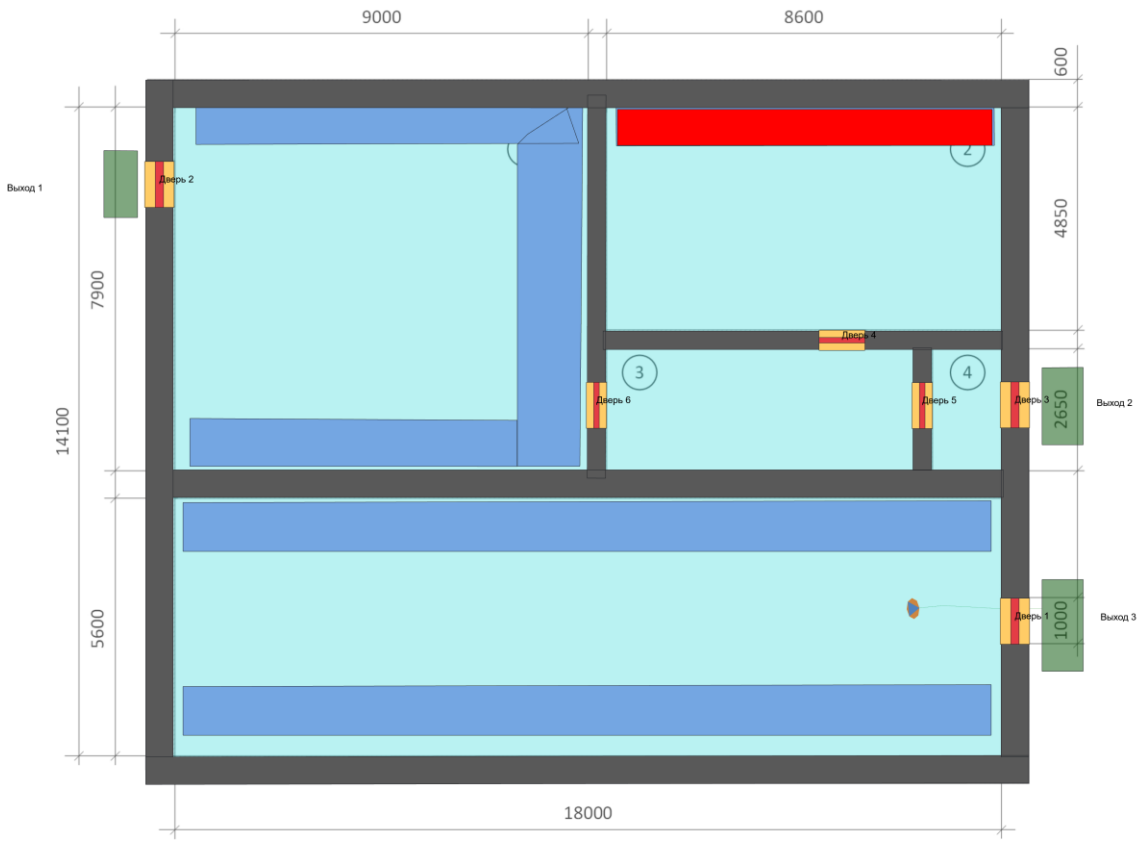


Рисунок 50. Этаж 1. Расположение людей через 39,4 с после начала пожара

Таблица 21. Статистика использования выходов в здании "Здание"

Расположение	**Наименование**	**Время первого, с**	**Время последнего, с**	**Количество людей**
Этаж 1				
	Выход 1	35,8	35,8	1
	Выход 2	36,8	36,8	1
	Выход 3	41,2	41,2	1

На следующих графиках показано количество людей, эвакуировавшихся в выходы, в зависимости от времени.

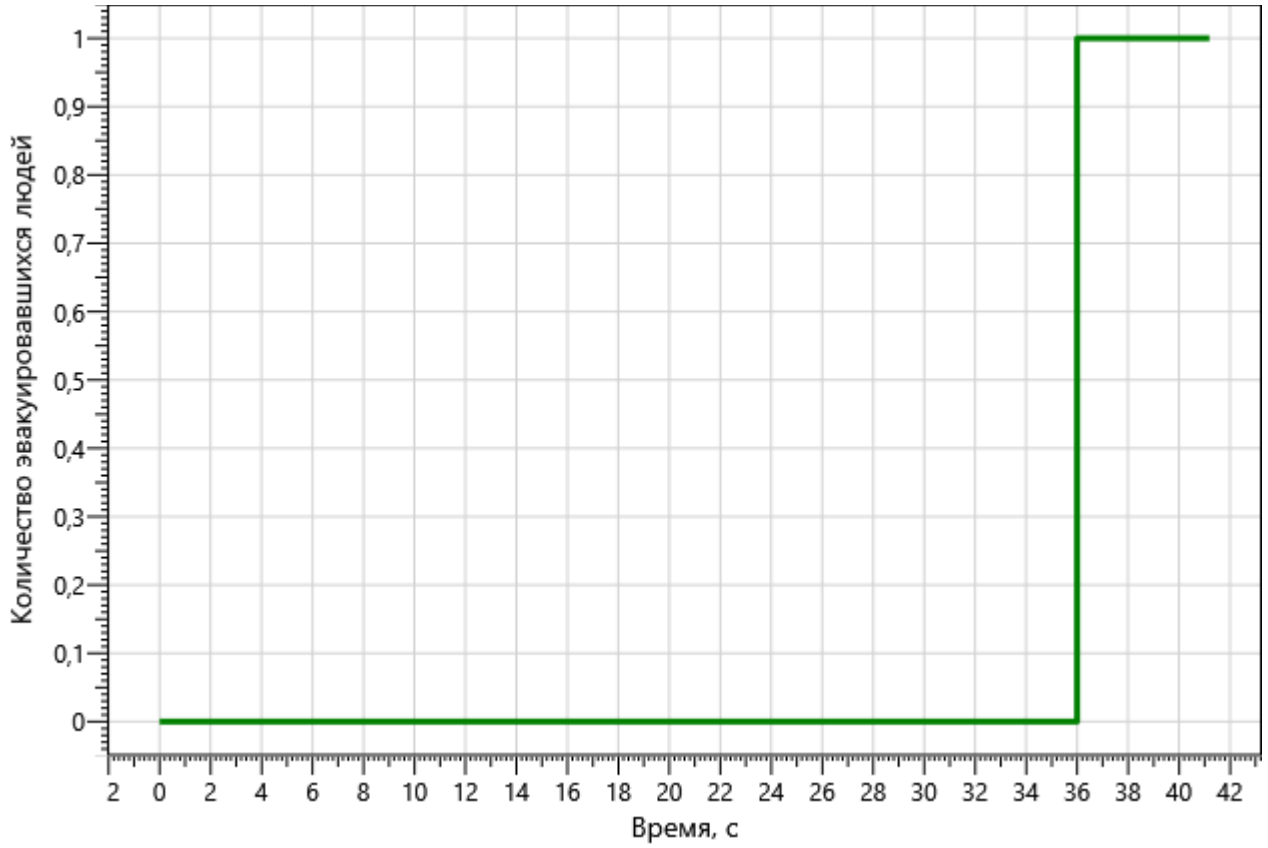


Рисунок 51. Выход 1

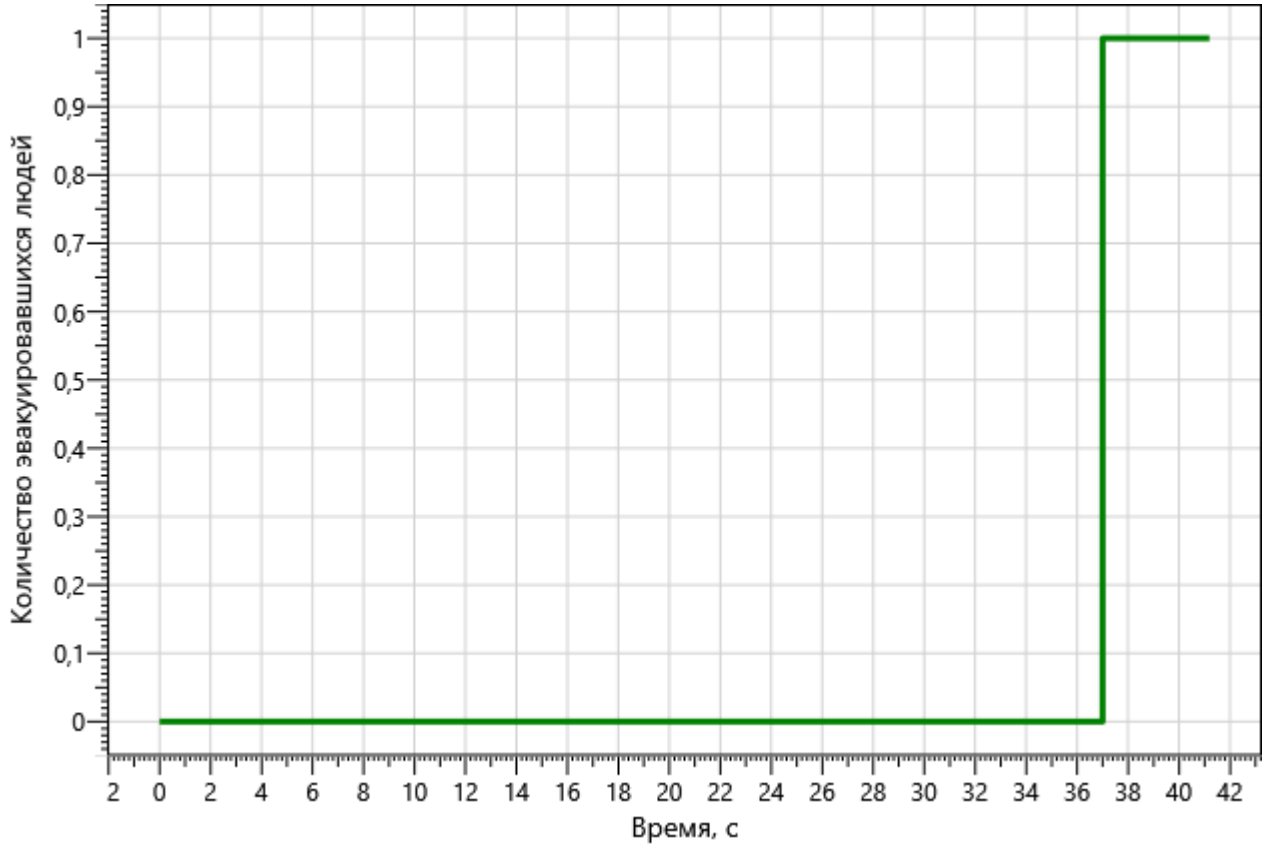


Рисунок 52. Выход 2

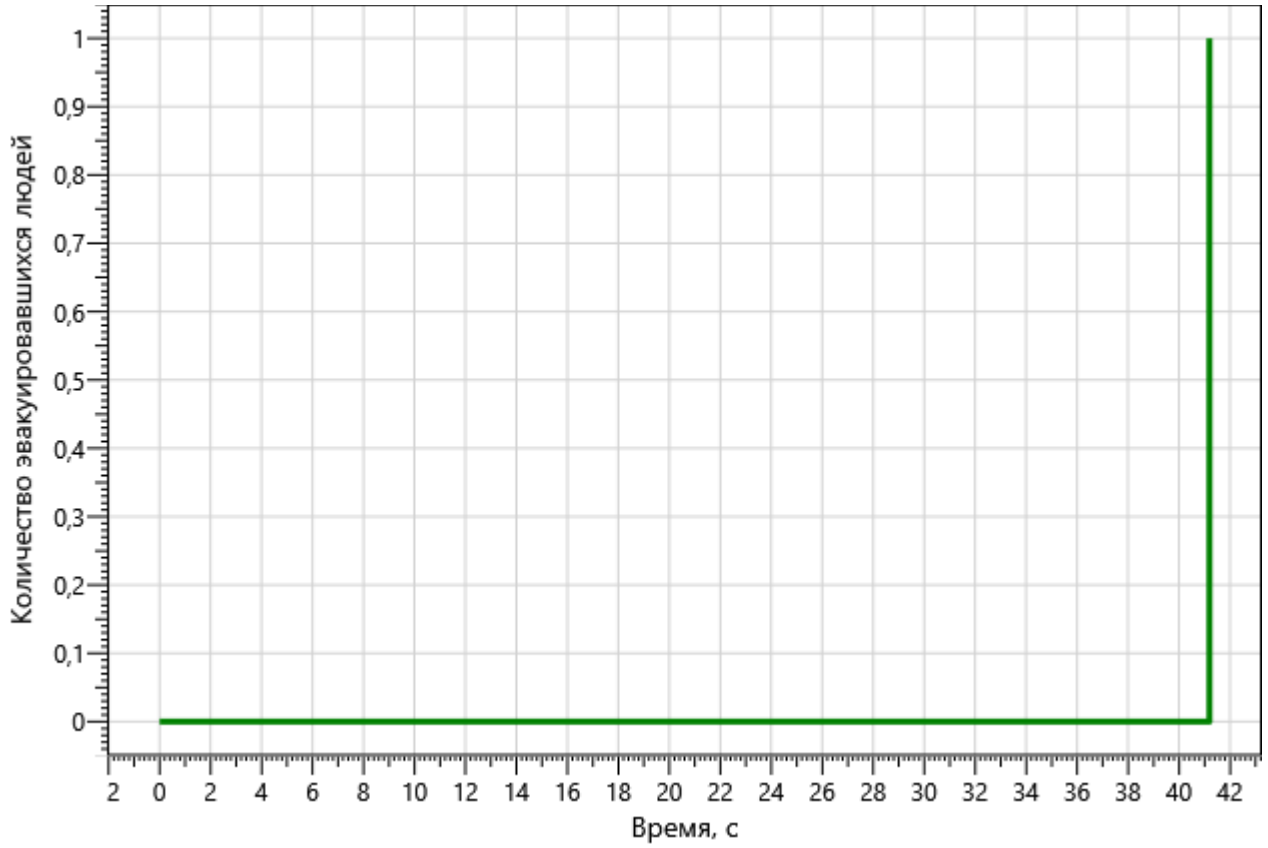


Рисунок 53. Выход 3

На графике ниже показано количество людей, эвакуировавшихся из здания в целом, в зависимости от времени.

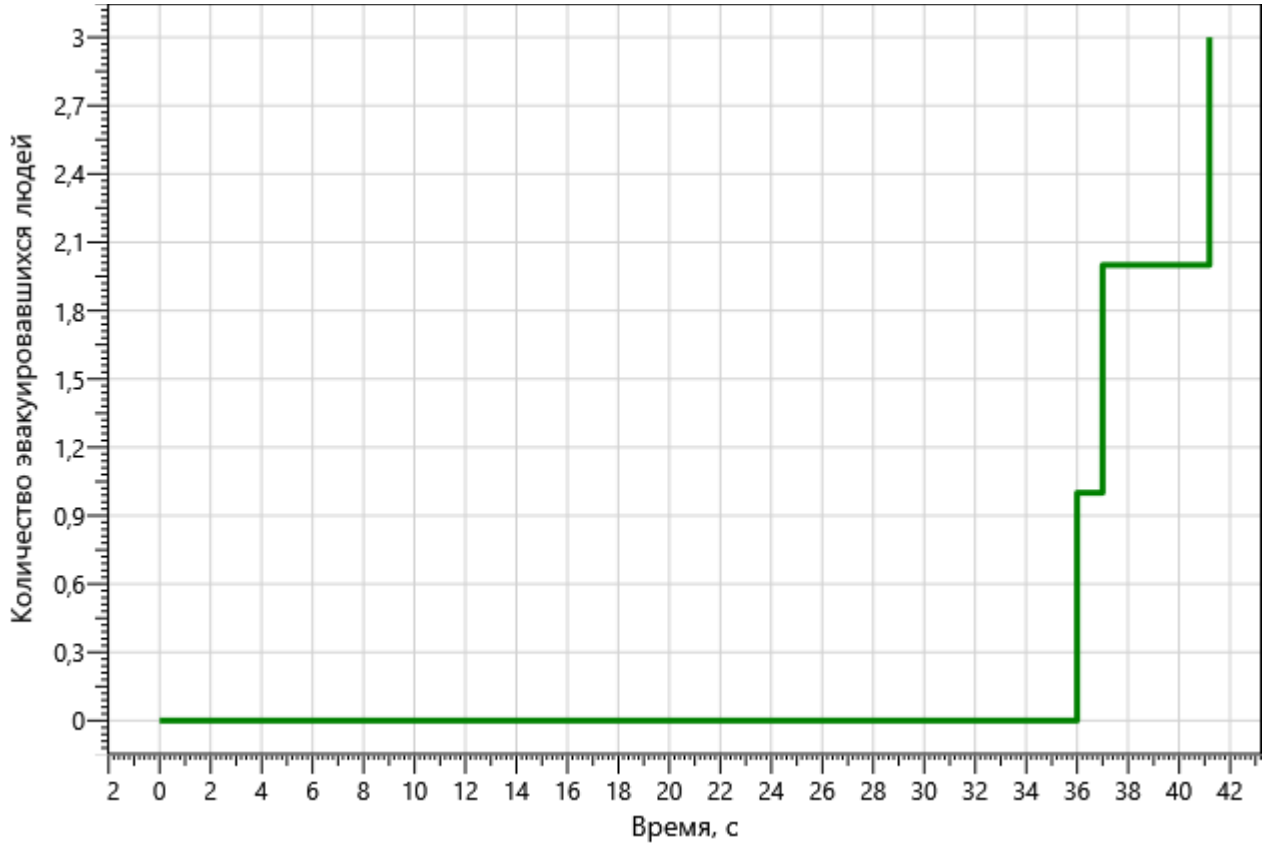


Рисунок 54. Здание

Таблица 22. Статистика прохождения в здании "Здание"

Расположение	Наименование	Время первого, с	Время последнего, с	Количество людей
Этаж 1				
Помещение контроллерной	Дверь 2	35,2	35,2	1
Помещение трансформаторной	Дверь 1	40,6	40,6	1
Помещение электрооборудования	Дверь 3	36,2	36,2	1
	Дверь 4	33,4	33,4	1
	Дверь 5	35,0	35,0	1

На следующих графиках показано количество людей, прошедших через регистраторы, в зависимости от времени.

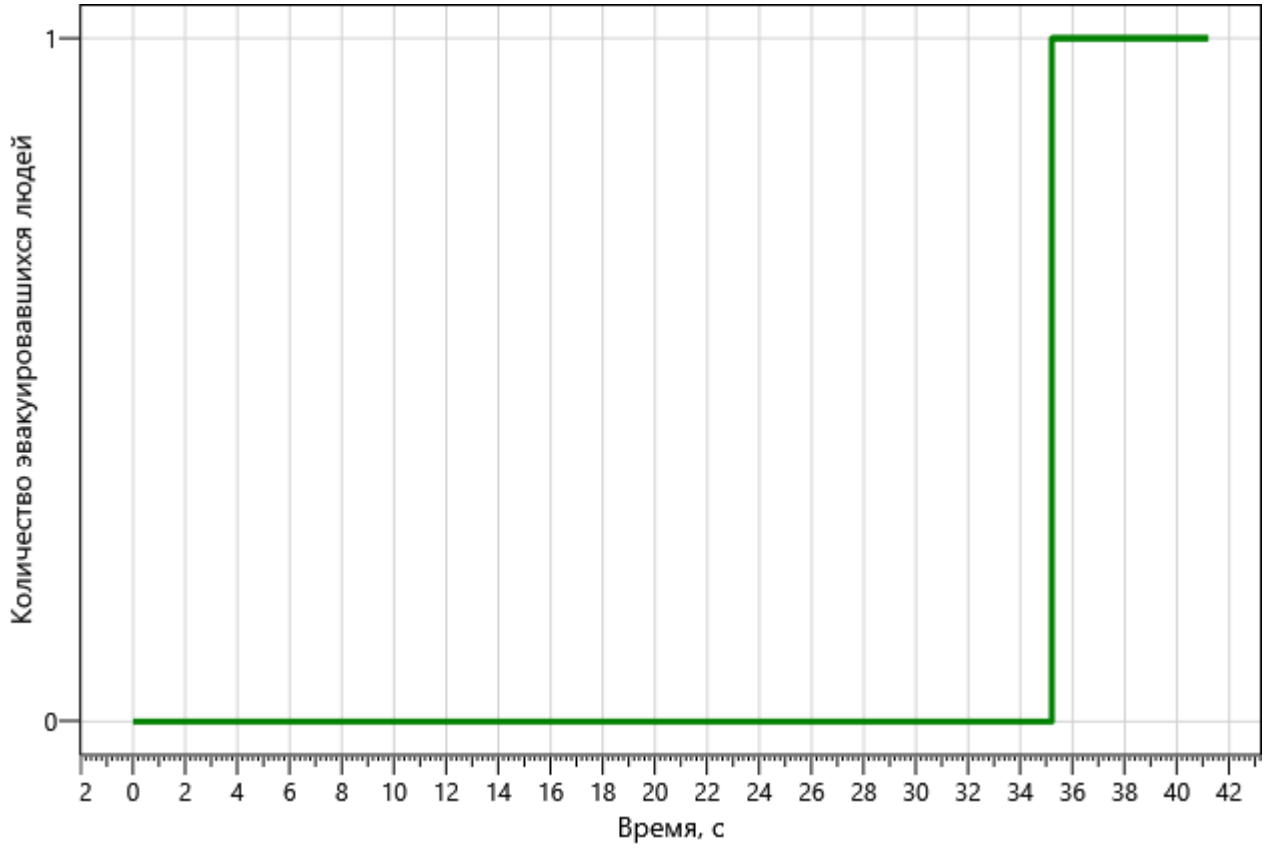


Рисунок 55. Дверь 2

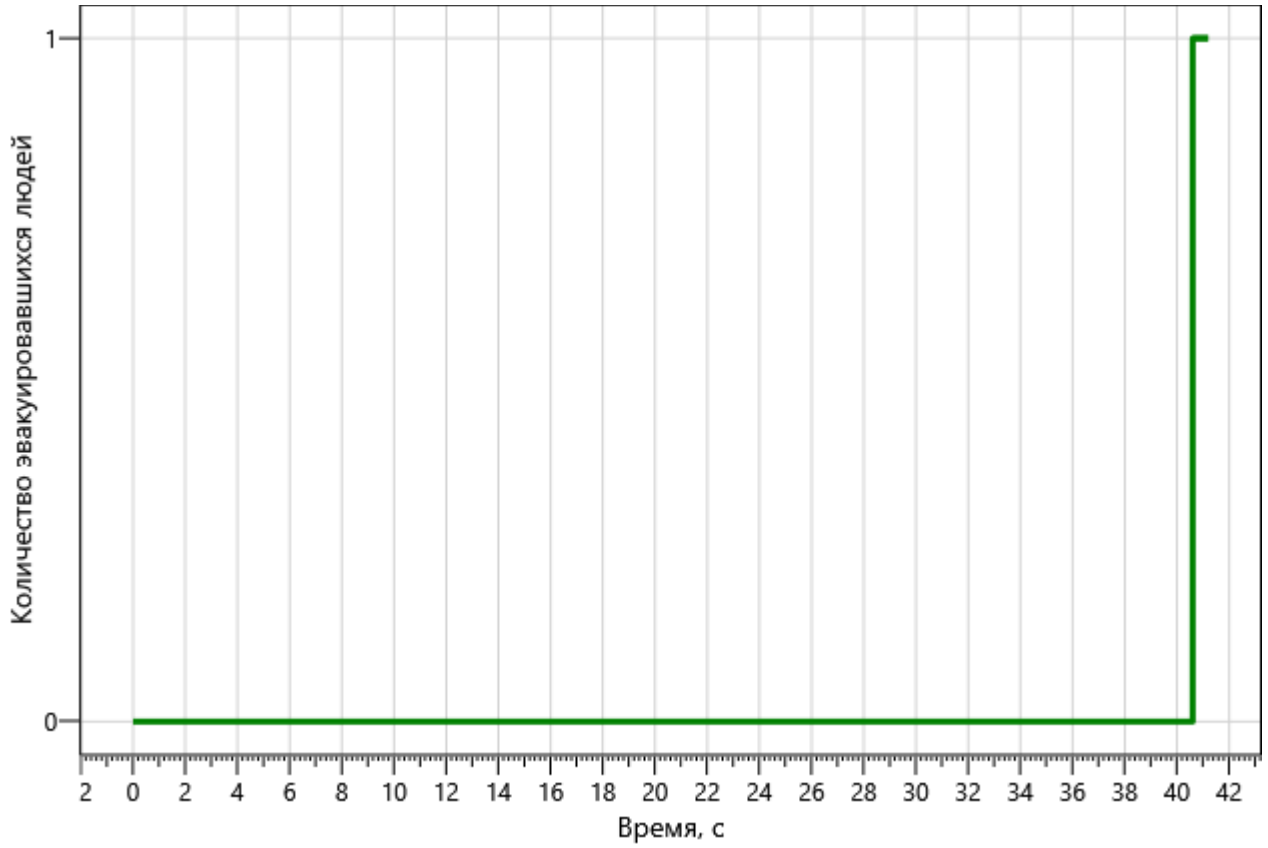


Рисунок 56. Дверь 1

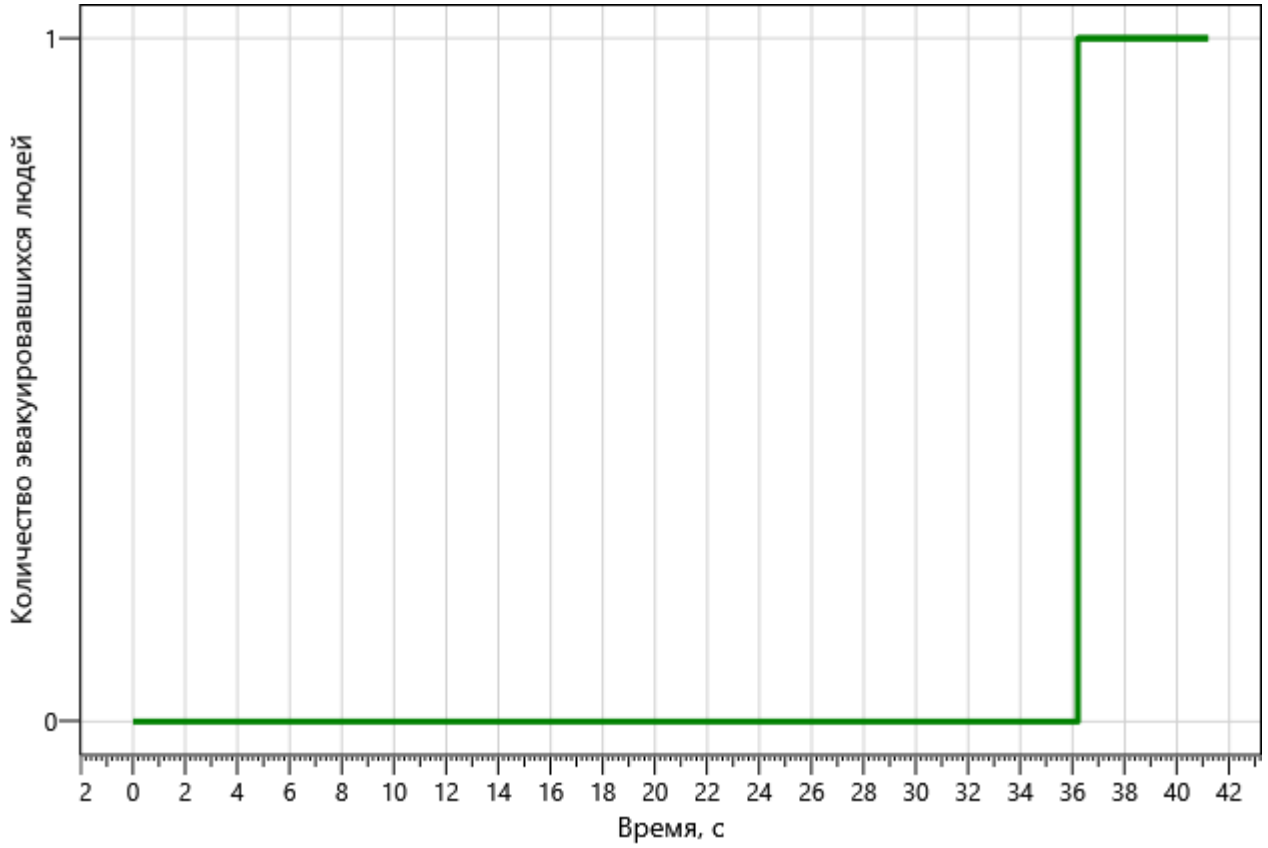


Рисунок 57. Дверь 3

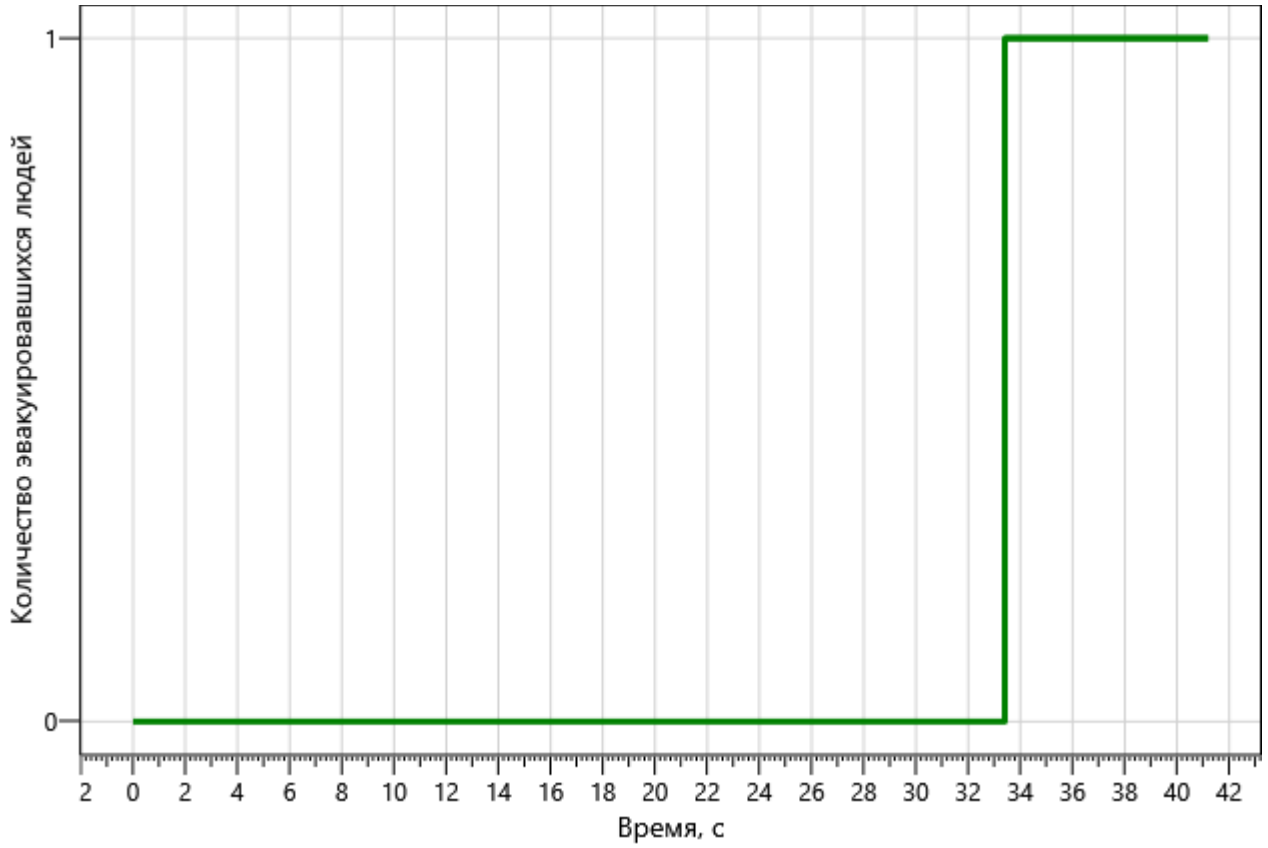


Рисунок 58. Дверь 4

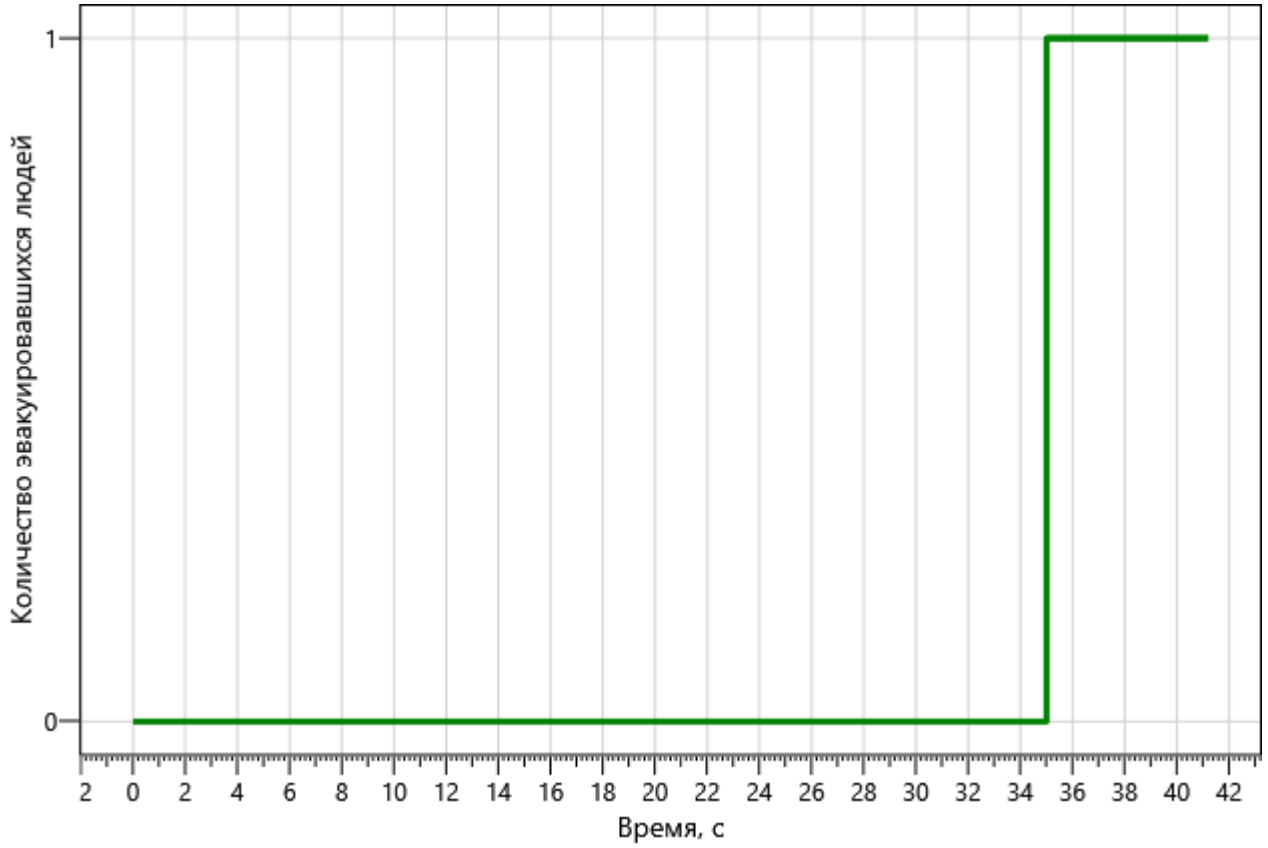


Рисунок 59. Дверь 5

Сценарий 3

В соответствии с объемно-планировочными решениями здания, геометрическими размерами эвакуационных путей и выходов, а также известными особенностями поведения людей при пожарах (движение к более широким и хорошо заметным выходам, выбор более короткого пути эвакуации, использование знакомых маршрутов движения и т.п.) были составлены расчётные схемы эвакуации с этажей здания. Количество и расположение людей принималось в соответствии с данными, предоставленными заказчиком.

Общее количество людей в здании: 3

Таблица 23. Количество людей в здании "Здание"

Контингент	Количество людей контингента	Доля контингента, %	Группа мобильности	Количество людей группы мобильности	Доля группы мобильности, %
М1	3	100	М1	3	100

Таблица 24. Расположение людей в здании "Здание"

Расположение		Количество людей
Этаж 1		Всего: 3 2 - Оператор 1 - Электрик
	Помещение контроллерной	Всего: 1 1 - Оператор
	Помещение трансформаторной	Всего: 1 1 - Электрик
	Помещение электрооборудования	Всего: 1 1 - Оператор

Для определения времени эвакуации были составлены поэтажные расчётные схемы эвакуации.

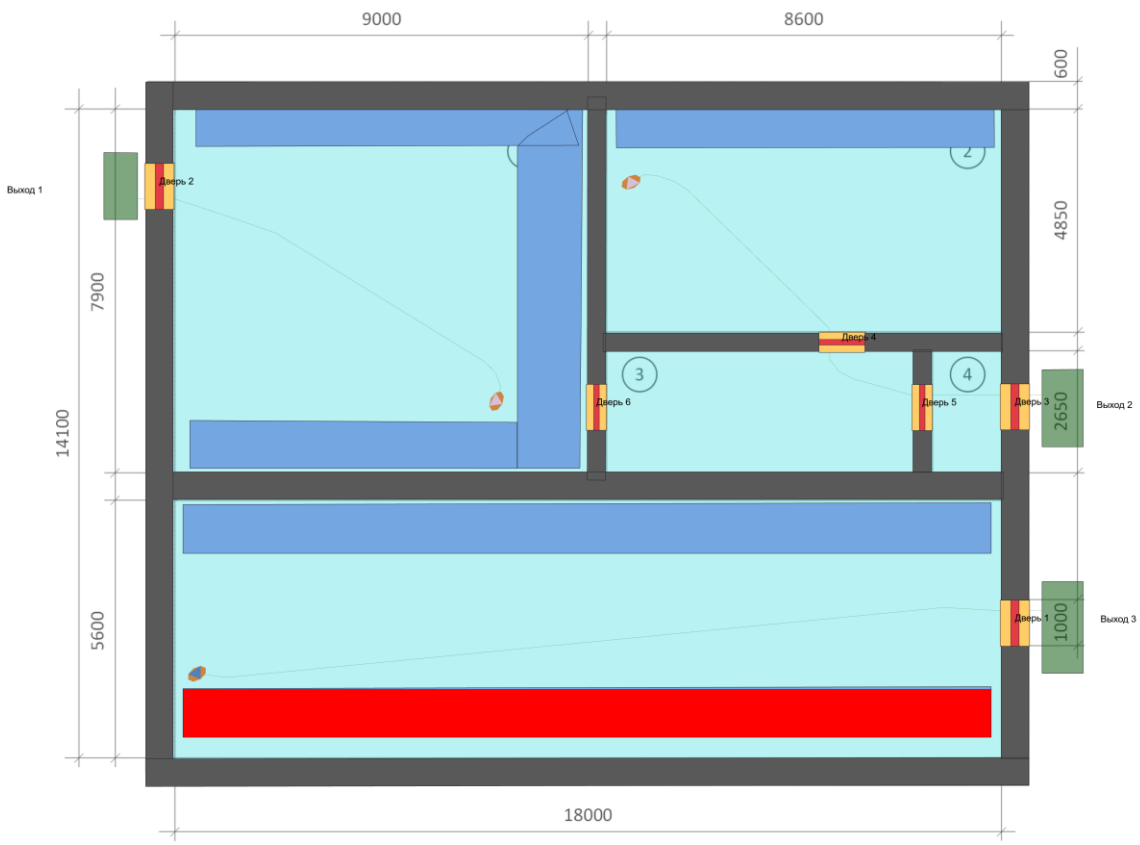


Рисунок 60. Этаж 1. Люди и траектории их движения на этаже.

Следующие рисунки показывают динамику движения людей.

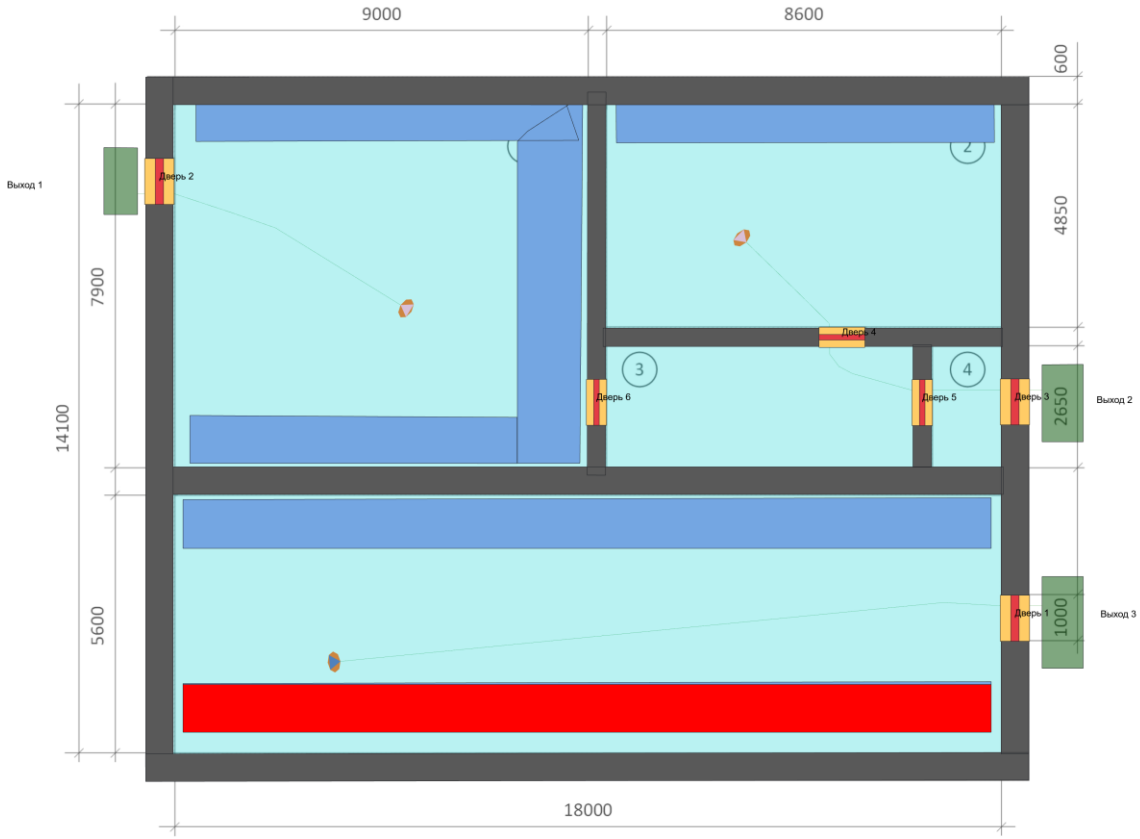


Рисунок 61. Этаж 1. Расположение людей через 31,8 с после начала пожара

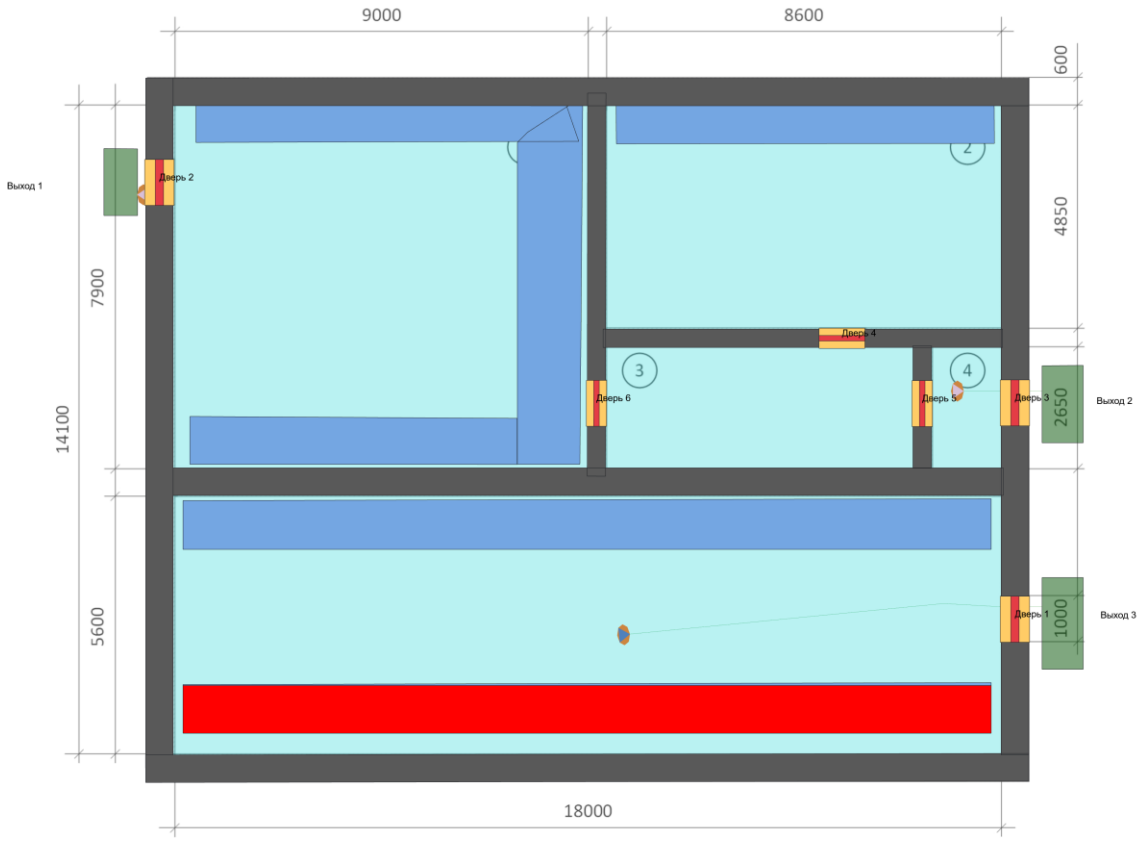


Рисунок 62. Этаж 1. Расположение людей через 35,6 с после начала пожара

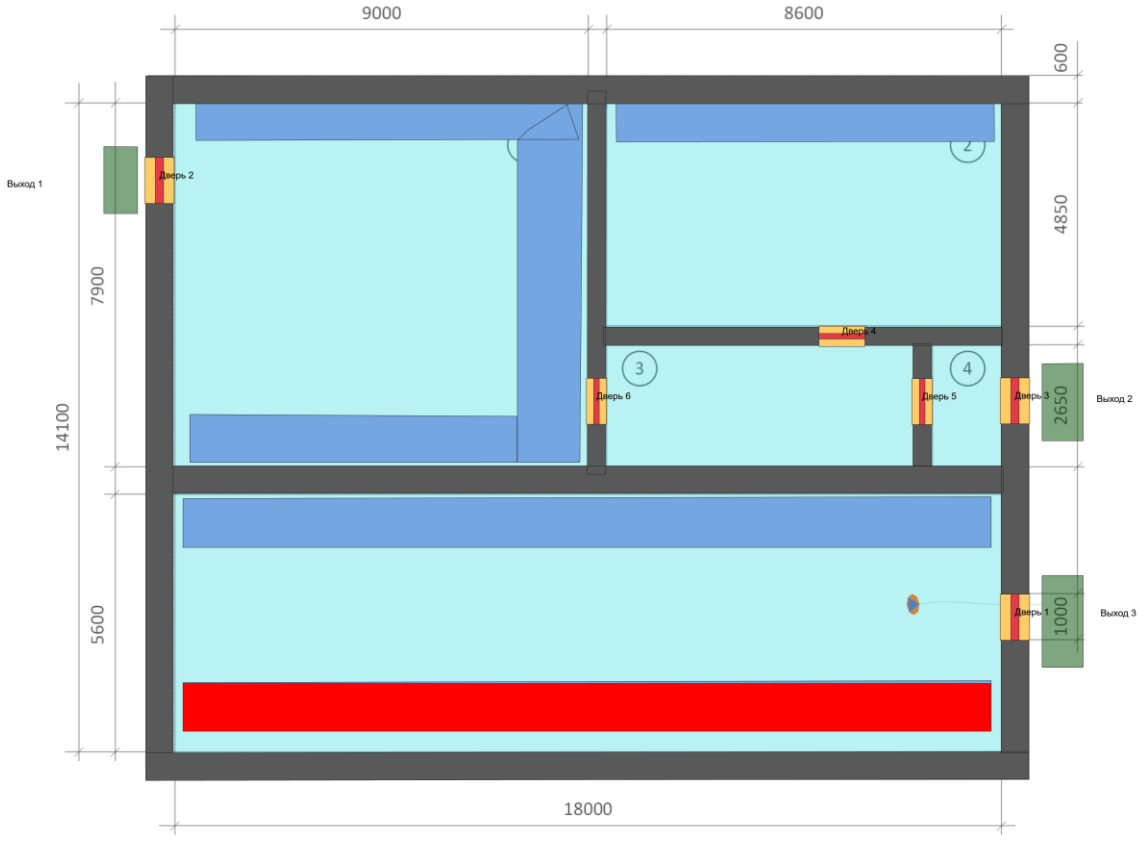


Рисунок 63. Этаж 1. Расположение людей через 39,4 с после начала пожара

Таблица 25. Статистика использования выходов в здании "Здание"

Расположение	Наименование	Время первого, с	Время последнего, с	Количество людей
Этаж 1				
	Выход 1	35,8	35,8	1
	Выход 2	36,8	36,8	1
	Выход 3	41,2	41,2	1

На следующих графиках показано количество людей, эвакуировавшихся в выходы, в зависимости от времени.

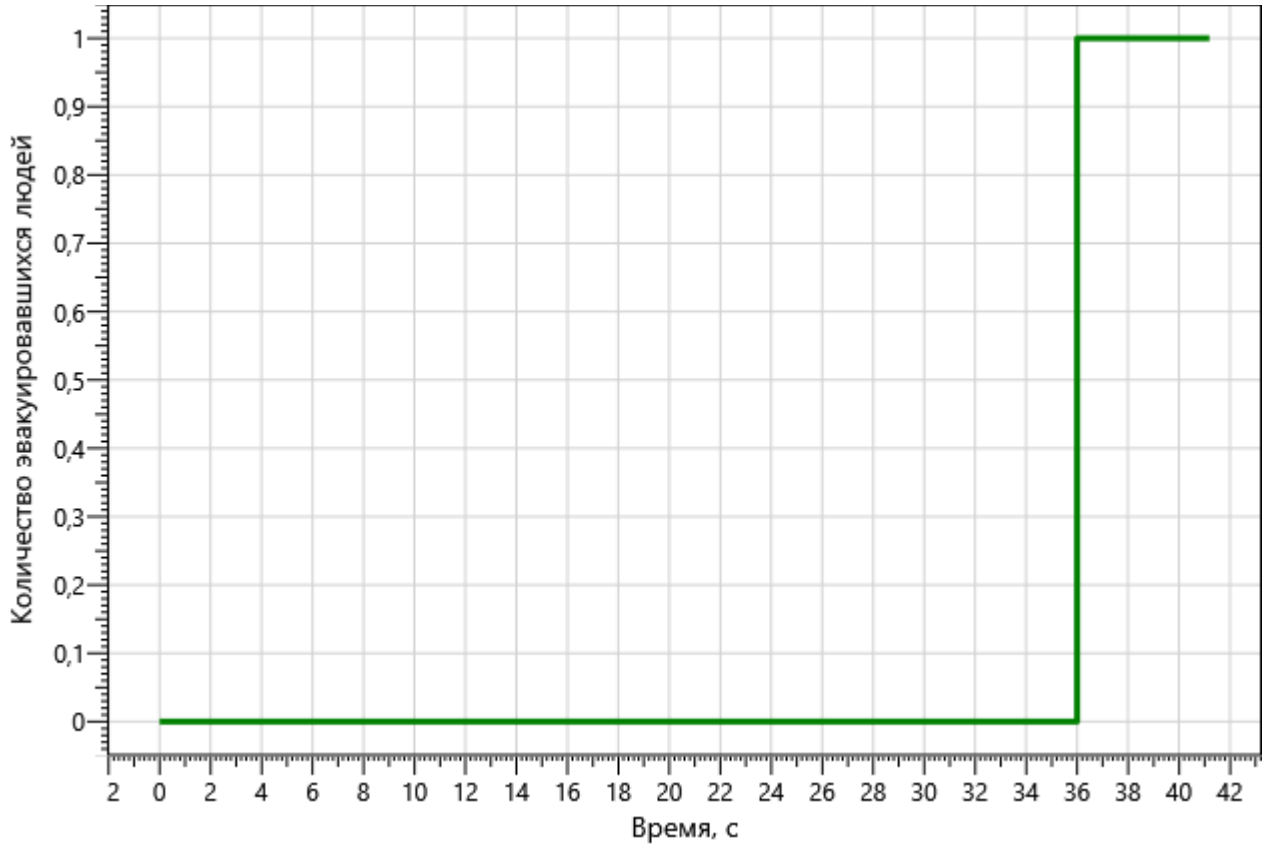


Рисунок 64. Выход 1

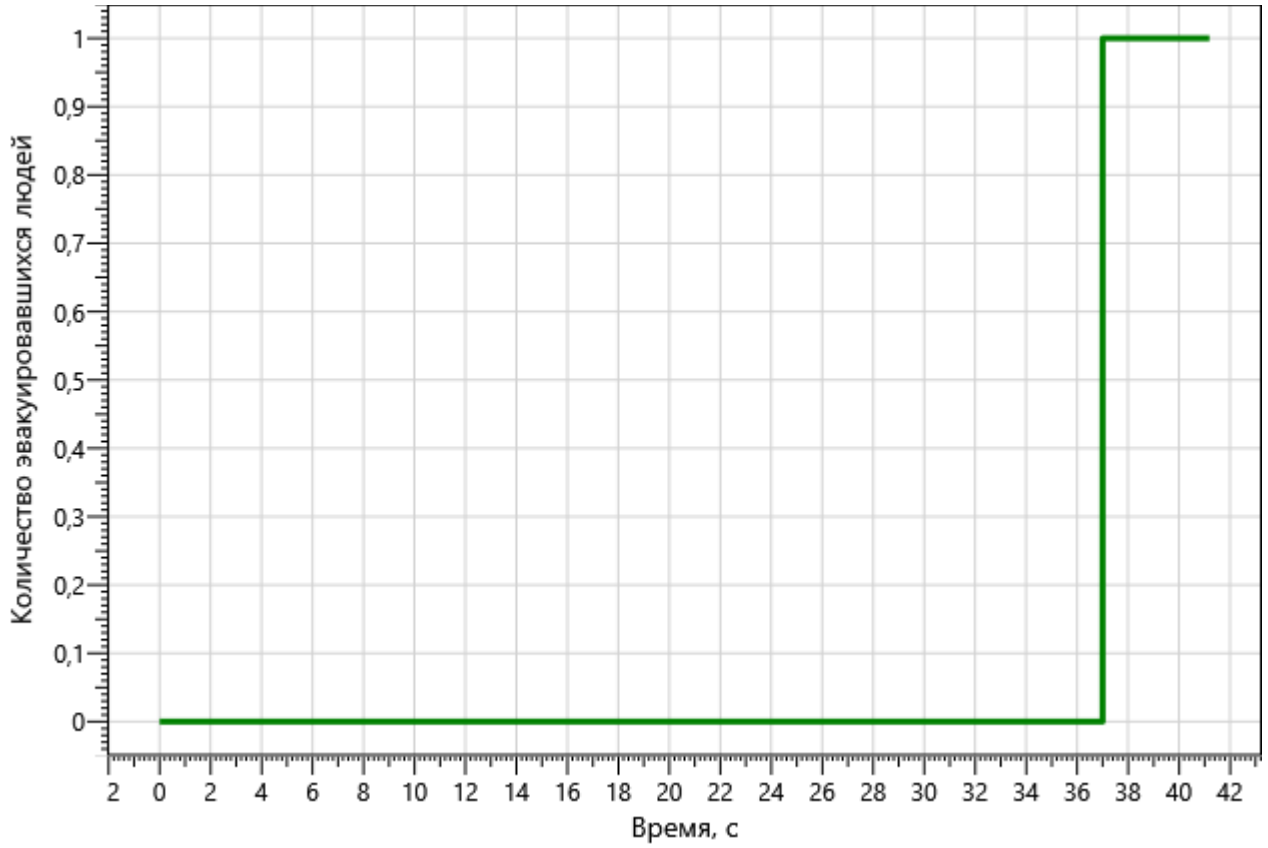


Рисунок 65. Выход 2

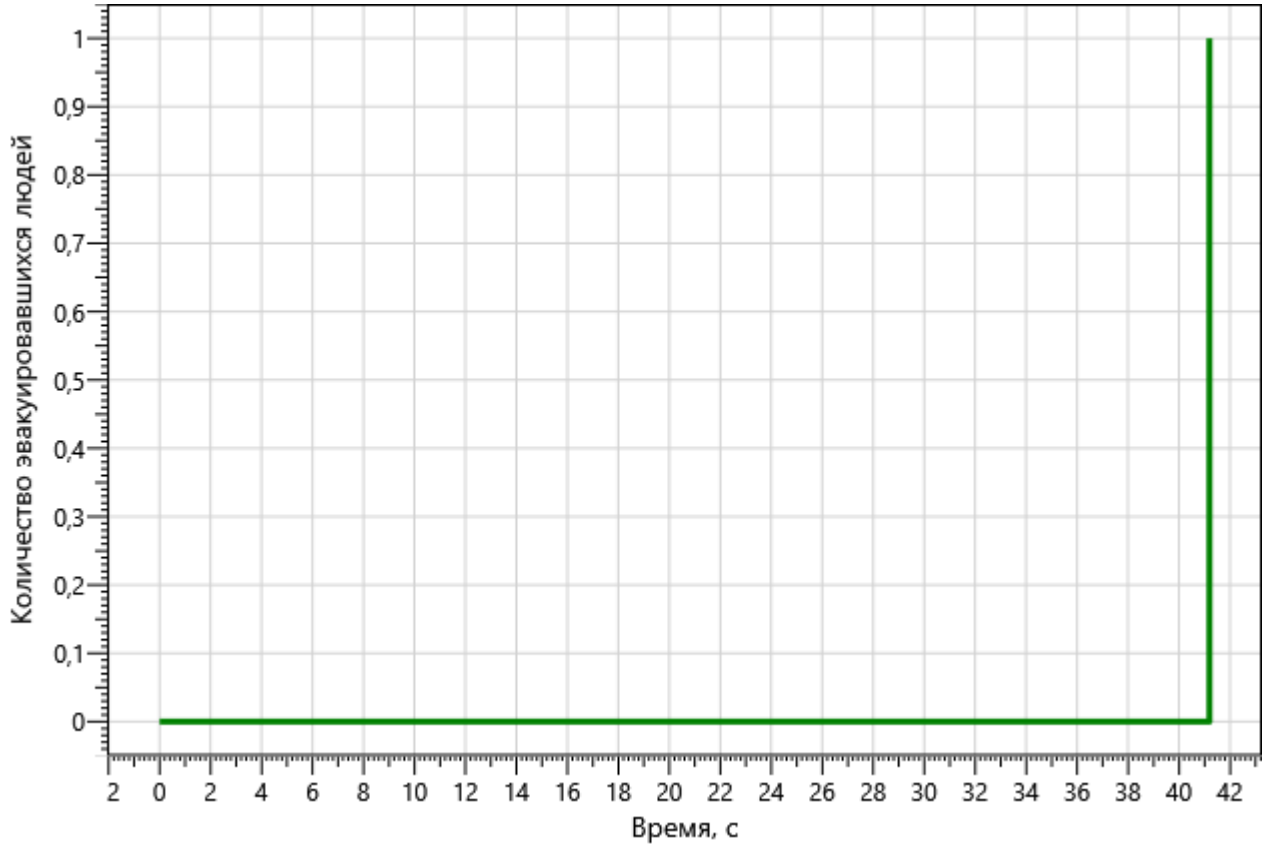


Рисунок 66. Выход 3

На графике ниже показано количество людей, эвакуировавшихся из здания в целом, в зависимости от времени.

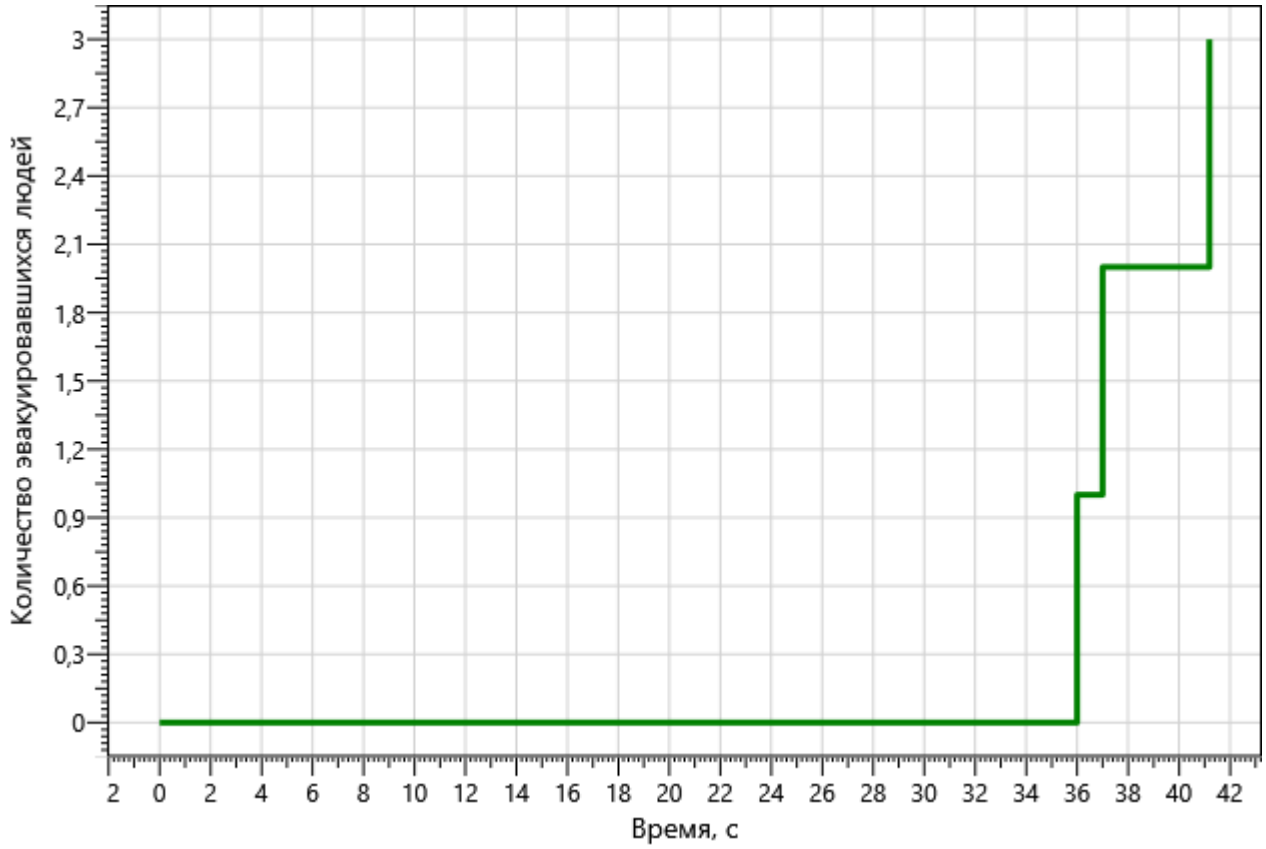


Рисунок 67. Здание

Таблица 26. Статистика прохождения в здании "Здание"

Расположение	Наименование	Время первого, с	Время последнего, с	Количество людей
Этаж 1				
Помещение контроллерной	Дверь 2	35,2	35,2	1
Помещение трансформаторной	Дверь 1	40,6	40,6	1
Помещение электрооборудования	Дверь 3	36,2	36,2	1
	Дверь 4	33,4	33,4	1
	Дверь 5	35,0	35,0	1

На следующих графиках показано количество людей, прошедших через регистраторы, в зависимости от времени.

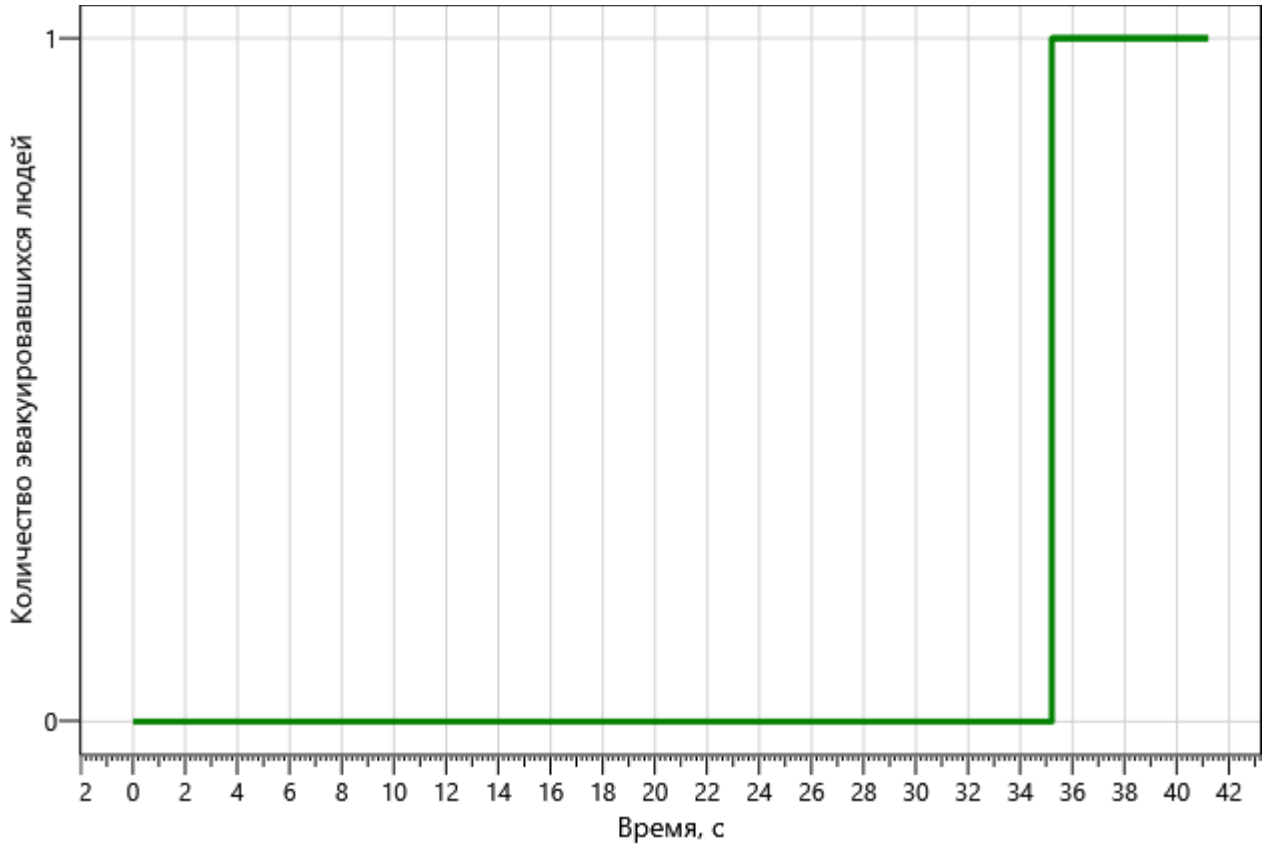


Рисунок 68. Дверь 2

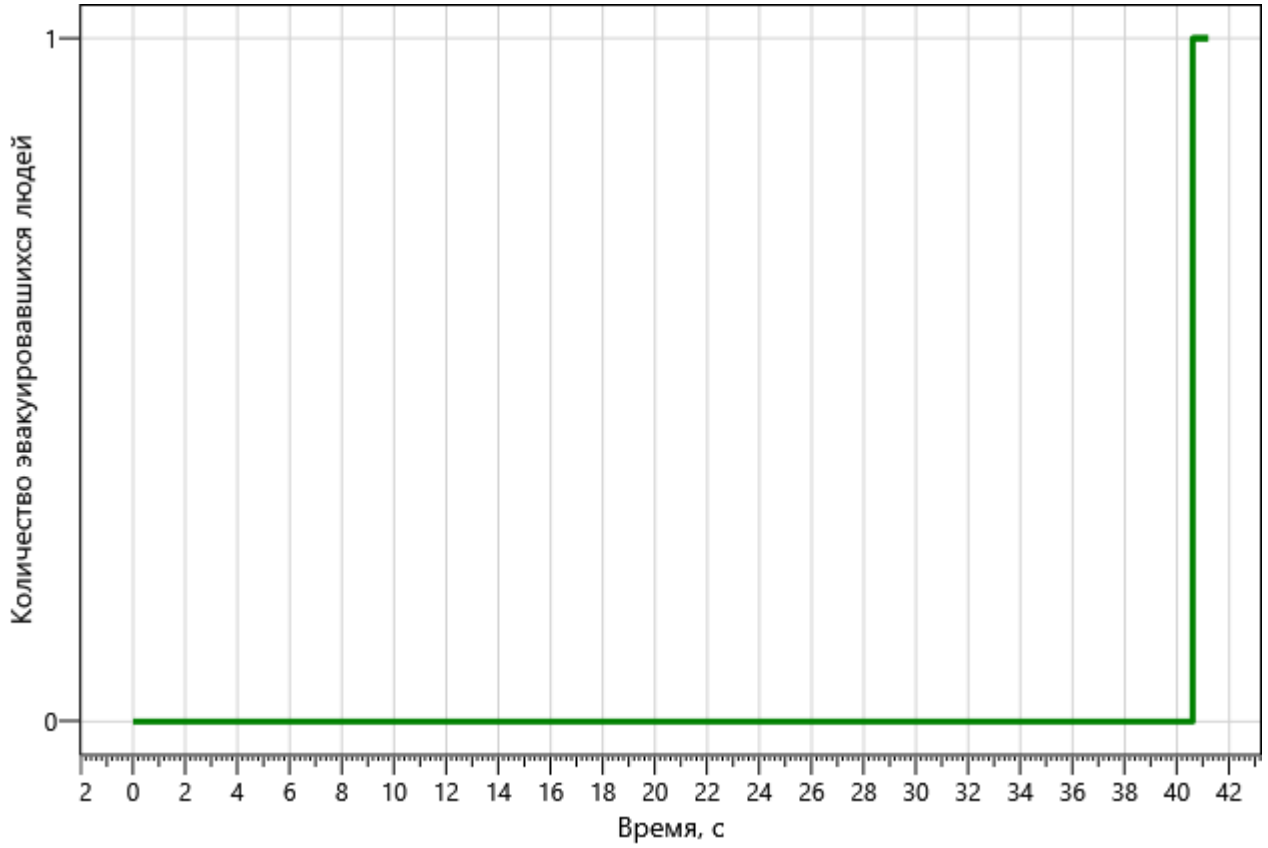


Рисунок 69. Дверь 1

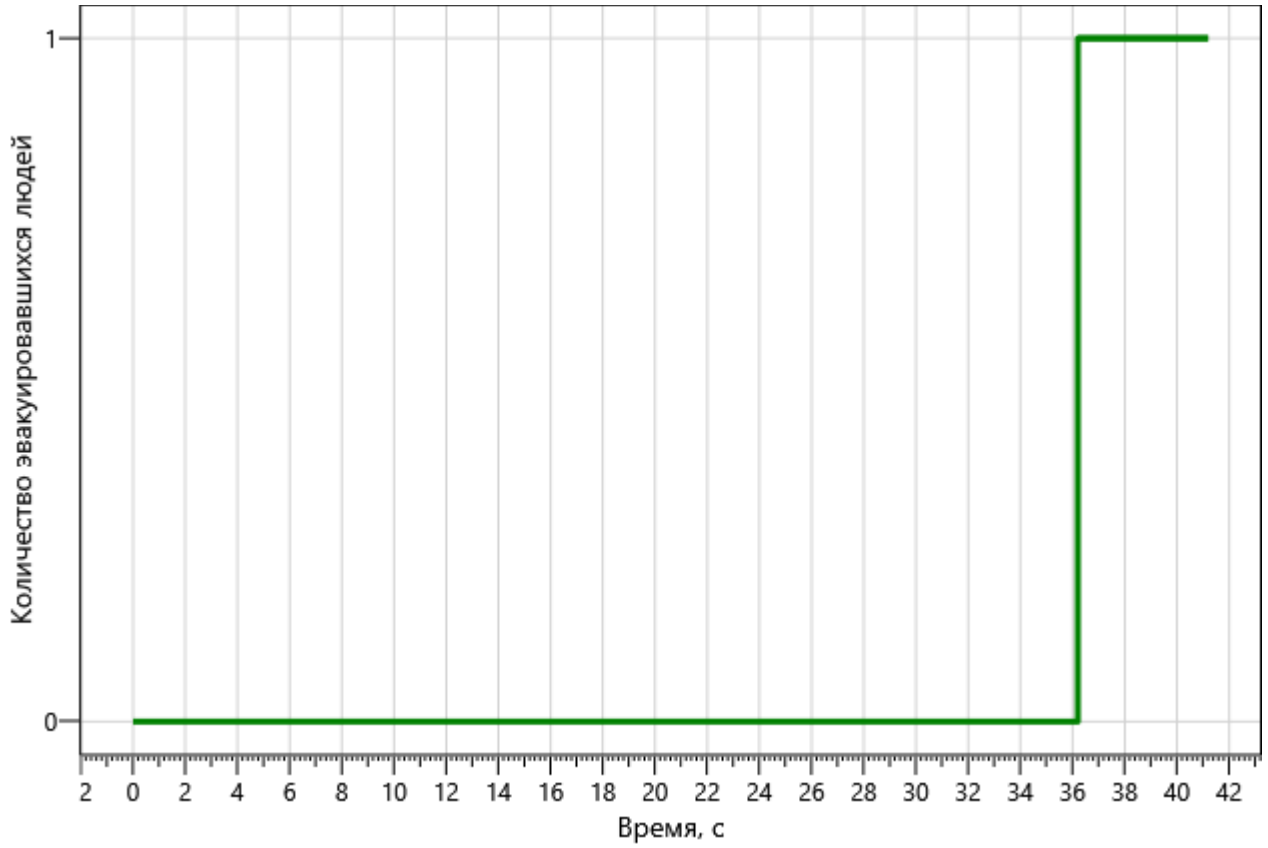


Рисунок 70. Дверь 3

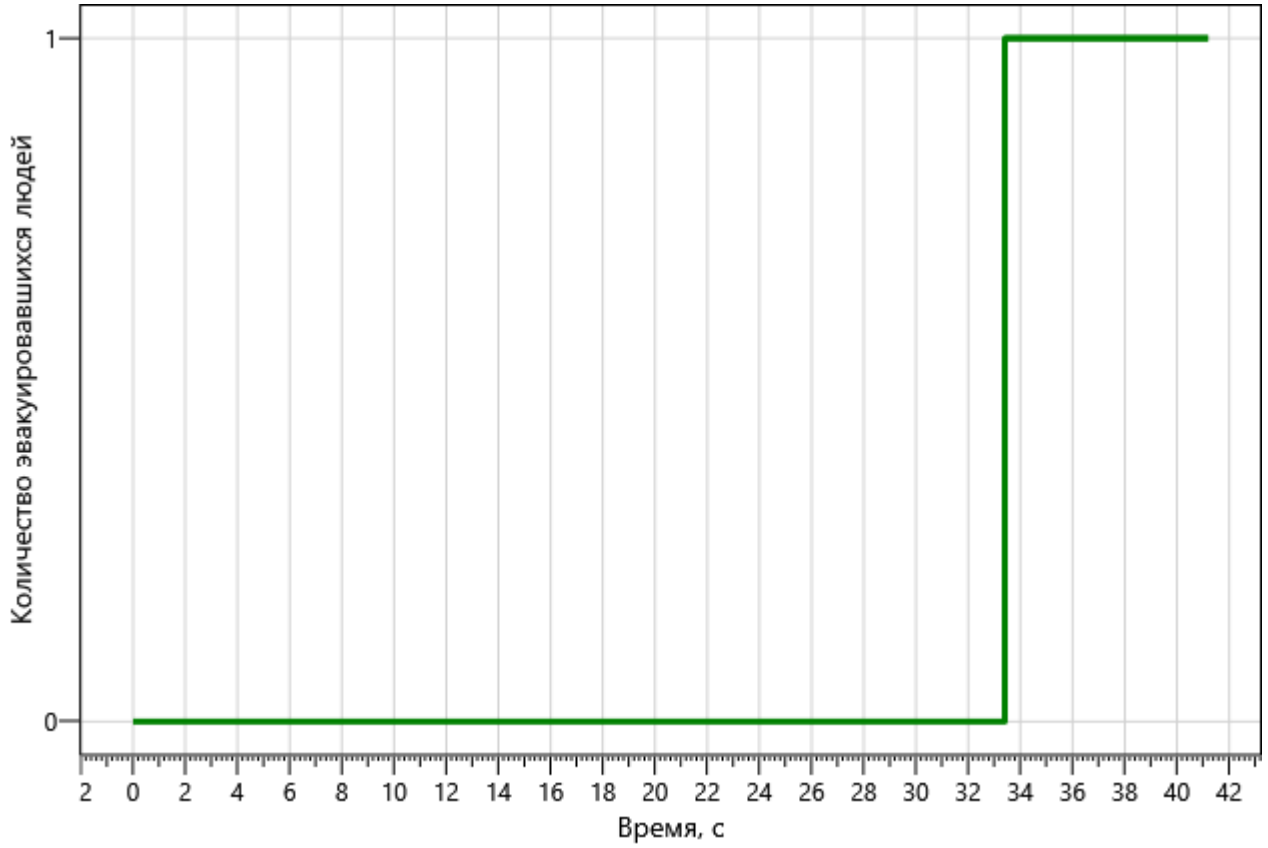


Рисунок 71. Дверь 4

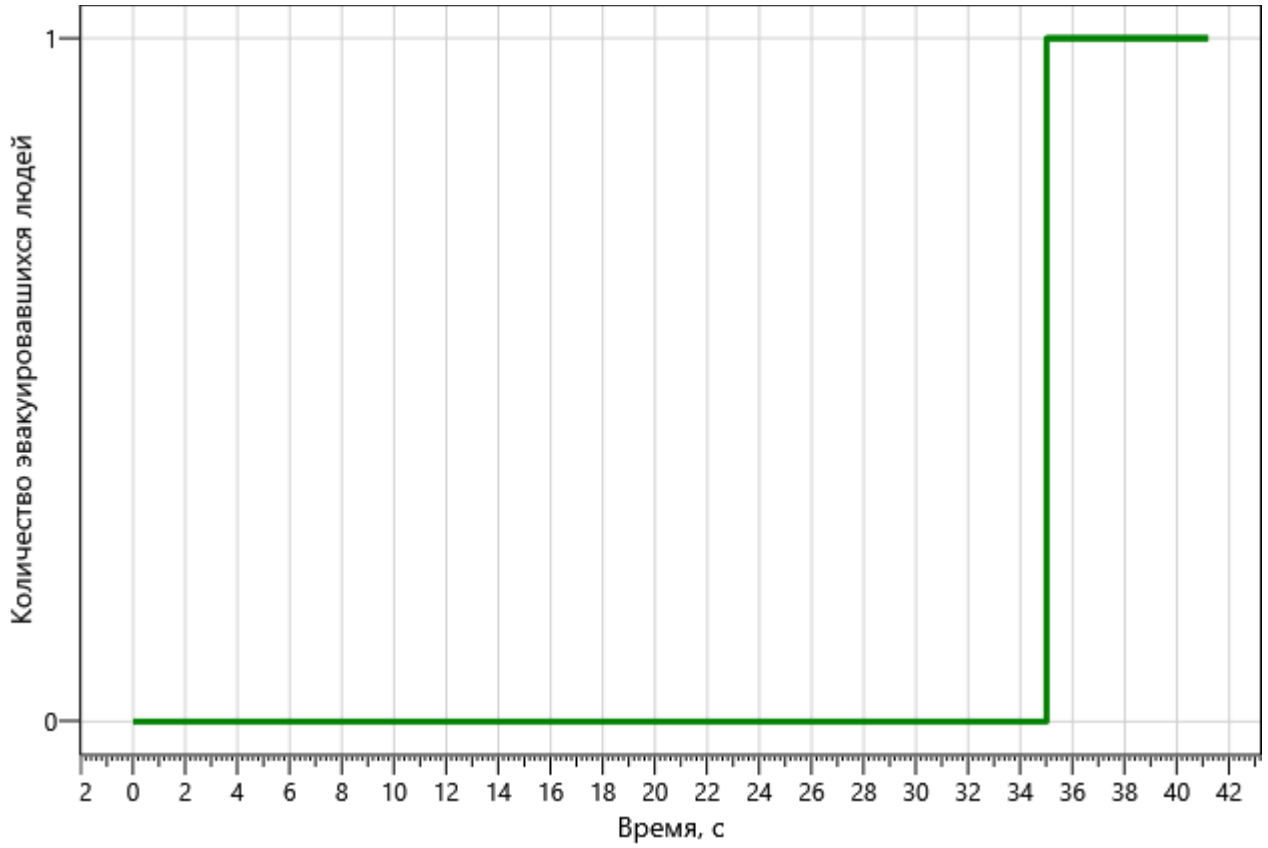


Рисунок 72. Дверь 5

Определение вероятности эвакуации людей из здания при пожаре

Сценарий 1

Таблица 27. Определение вероятности эвакуации по эвакуационным путям

Расположение	Наименование	Время блокирования, $t_{бл}$, с	Необходимое время эвакуации, 0,8 $t_{бл}$, с	Время начала эвакуации, $t_{нэ}$, с	Время эвакуации, $t_э = t_{нэ} + t_р$, с	Вероятность эвакуации по эвакуационным путям, E_{nj}
Этаж 1						
Помещение контроллерной	Дверь 2	>60	>48	0,0	5,2	0,999

Помещение трансформаторной	Дверь 1	>60	>48	30,0	40,6	0,999
Помещение электрооборудования	Дверь 3	>60	>48	30,0	36,2	0,999
	Дверь 4	>60	>48	30,0	33,4	0,999
	Дверь 5	>60	>48	30,0	35,0	0,999

Так как в здании имеются аварийные выходы, то вероятность S_{nj} выхода через аварийные выходы людей, находящихся в n-ом помещении при реализации j-го сценария пожара принимается равной 0,03.

Таблица 28. Определение вероятности эвакуации

Наименование	**Вероятность эвакуации по эвакуационным путям, E_{nj}**	**Вероятность выхода из здания через аварийные выходы, S_{nj}**	**Вероятность эвакуации, $P_э$**
Этаж 1			
Помещение контроллерной	0,999	0,030	0,999
Помещение трансформаторной	0,999	0,030	0,999
Помещение электрооборудования	0,999	0,030	0,999

Сценарий 2

Таблица 29. Определение вероятности эвакуации по эвакуационным путям

Расположение	**Наименование**	**Время блокирования, $t_{бл}$, с**	**Необходимое время эвакуации, 0,8 $t_{бл}$, с**	**Время начала эвакуации, $t_{нэ}$, с**	**Время эвакуации, $t_э = t_{нэ} + t_р$, с**	**Вероятность эвакуации по эвакуационным путям, E_{nj}**
Этаж 1						
Помещение контроллерной	Дверь 2	>60	>48	30,0	35,2	0,999
Помещение трансформаторной	Дверь 1	>60	>48	30,0	40,6	0,999

Помещение электрооборудования	Дверь 3	>60	>48	30,0	36,2	0,999
	Дверь 4	41,9	33,5	30,0	33,4	0,999
	Дверь 5	>60	>48	30,0	35,0	0,999

Так как в здании имеются аварийные выходы, то вероятность S_{nj} выхода через аварийные выходы людей, находящихся в n-ом помещении при реализации j-го сценария пожара принимается равной 0,03.

Таблица 30. Определение вероятности эвакуации

Наименование	**Вероятность эвакуации по эвакуационным путям, E_{nj}**	**Вероятность выхода из здания через аварийные выходы, S_{nj}**	**Вероятность эвакуации, $P_э$**
Этаж 1			
Помещение контроллерной	0,999	0,030	0,999
Помещение трансформаторной	0,999	0,030	0,999
Помещение электрооборудования	0,999	0,030	0,999

Сценарий 3

Таблица 31. Определение вероятности эвакуации по эвакуационным путям

Расположение	**Наименование**	**Время блокирования, $t_{бл}$, с**	**Необходимое время эвакуации, 0,8 $t_{бл}$, с**	**Время начала эвакуации, $t_{нэ}$, с**	**Время эвакуации, $t_э = t_{нэ} + t_р$, с**	**Вероятность эвакуации по эвакуационным путям, E_{nj}**
Этаж 1						
Помещение контроллерной	Дверь 2	>60	>48	30,0	35,2	0,999
Помещение трансформаторной	Дверь 1	>60	>48	30,0	40,6	0,999
Помещение электрооборудования	Дверь 3	>60	>48	30,0	36,2	0,999
	Дверь 4	>60	>48	30,0	33,4	0,999
	Дверь 5	>60	>48	30,0	35,0	0,999

Так как в здании имеются аварийные выходы, то вероятность S_{nj} выхода через аварийные выходы людей, находящихся в n-ом помещении при реализации j-го сценария пожара принимается равной 0,03.

Таблица 32. Определение вероятности эвакуации

Наименование	**Вероятность эвакуации по эвакуационным путям, E_{nj}**	**Вероятность выхода из здания через аварийные выходы, S_{nj}**	**Вероятность эвакуации, $P_э$**
Этаж 1			
Помещение контроллерной	0,999	0,030	0,999
Помещение трансформаторной	0,999	0,030	0,999
Помещение электрооборудования	0,999	0,030	0,999

Определение вероятности эффективной работы технических средств

Сценарий 1

Вероятность D_{nj} эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности *n*-го помещения при реализации *j*-го сценария пожара определяется по формуле:

$D_{nj} = D_{nj(АУПС)} \cdot (1 - (1 - D_{nj(АУП)}) \cdot (1 - D_{nj(СПДЗ)}) \cdot (1 - D_{nj(СОУЭ)}))$ для схемы запуска технических средств: АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС

При определении значений D_{nj} учитываются только технические средства, направленные на обеспечение пожарной безопасности находящихся (эвакуирующихся) в *n*-ом помещении здания людей при реализации *j*-го сценария пожара. При этом учитываются следующие мероприятия:

применение объемно-планировочных и конструктивных решений, обеспечивающих ограничение распространения пожара в безопасную зону (при организации эвакуации в безопасную зону);

наличие систем противодымной защиты рассматриваемого помещения и путей эвакуации;

использование автоматических установок пожарной сигнализации (далее - АУПС) в сочетании с СОУЭ;

наличие установок пожаротушения в помещении очага пожара.

Для помещения очага пожара не учитывается наличие в этом помещении АУПС и СОУЭ (за исключением случаев, когда пожар не может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в помещении людьми), а также установок пожаротушения, срабатывание которых допускается только после эвакуации находящихся в защищаемом помещении людей (например, при наличии установок газового пожаротушения).

Технические средства
0,8 (*) Не требуется Учитываются

– вероятность эффективного срабатывания: (*) – принято по помещению с очагом пожара, "—" - очаг пожара вне помещений
– наличие системы
– учитываются ли при определении D_{nj}

Таблица 33. Определение вероятности эффективной работы технических средств

Помещение	**Системы противодымной защиты (СПДЗ)**	**Автоматические установки пожарной сигнализации (АУПС)**	**Автоматические установки пожаротушения (АУП)**	**Системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ)**	**Схема запуска технических средств**	***D_{nj}***
Этаж 1						
Коридор	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 (*) Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0
Помещение контроллерной	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0

(зальное ,с очагом пожара)						
Помещение трансформаторной	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 (*) Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0
Помещение электрооборудования	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 (*) Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0
Тамбур	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 (*) Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0

Сценарий 2

Вероятность D_{nj} эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности n-го помещения при реализации j-го сценария пожара определяется по формуле:

$D_{nj} = D_{nj(АУПС)} \cdot (1 - (1 - D_{nj(АУП)}) \cdot (1 - D_{nj(СПДЗ)}) \cdot (1 - D_{nj(СОУЭ)}))$ для схемы запуска технических средств: АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС

При определении значений D_{nj} учитываются только технические средства, направленные на обеспечение пожарной безопасности находящихся (эвакуирующихся) в n-ом помещении здания людей при реализации j-го сценария пожара. При этом учитываются следующие мероприятия:

применение объемно-планировочных и конструктивных решений, обеспечивающих ограничение распространения пожара в безопасную зону (при организации эвакуации в безопасную зону);

наличие систем противодымной защиты рассматриваемого помещения и путей эвакуации;

использование автоматических установок пожарной сигнализации (далее - АУПС) в сочетании с СОУЭ;

наличие установок пожаротушения в помещении очага пожара.

Для помещения очага пожара не учитывается наличие в этом помещении АУПС и СОУЭ (за исключением случаев, когда пожар не может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в помещении людьми), а также установок пожаротушения, срабатывание которых допускается только после эвакуации находящихся в защищаемом помещении людей (например, при наличии установок газового пожаротушения).

Технические средства
0,8 (*) Не требуется Учитываются

– вероятность эффективного срабатывания: (*) – принято по помещению с очагом пожара, "—" - очаг пожара вне помещений
– наличие системы
– учитываются ли при определении D_{nj}

Таблица 34. Определение вероятности эффективной работы технических средств

Помещение	**Системы противодымной защиты (СПДЗ)**	**Автоматические установки пожарной сигнализации (АУПС)**	**Автоматические установки пожаротушения (АУП)**	**Системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ)**	**Схема запуска технических средств**	**D_{nj}**
Этаж 1						
Коридор	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 (*) Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0
Помещение контроллерной (зальное)	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 (*) Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0
Помещение трансформаторной	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 (*) Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0
Помещение электрооборудования	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0

(с очагом пожара)						
Тамбур	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 (*) Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0

Сценарий 3

Вероятность D_{nj} эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности n-го помещения при реализации j-го сценария пожара определяется по формуле:

$D_{nj} = D_{nj(АУПС)} \cdot (1 - (1 - D_{nj(АУП)}) \cdot (1 - D_{nj(СПДЗ)}) \cdot (1 - D_{nj(СОУЭ)}))$ для схемы запуска технических средств: АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС

При определении значений D_{nj} учитываются только технические средства, направленные на обеспечение пожарной безопасности находящихся (эвакуирующихся) в n-ом помещении здания людей при реализации j-го сценария пожара. При этом учитываются следующие мероприятия:

применение объемно-планировочных и конструктивных решений, обеспечивающих ограничение распространения пожара в безопасную зону (при организации эвакуации в безопасную зону);

наличие систем противодымной защиты рассматриваемого помещения и путей эвакуации;

использование автоматических установок пожарной сигнализации (далее - АУПС) в сочетании с СОУЭ;

наличие установок пожаротушения в помещении очага пожара.

Для помещения очага пожара не учитывается наличие в этом помещении АУПС и СОУЭ (за исключением случаев, когда пожар не может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в помещении людьми), а также установок пожаротушения, срабатывание которых допускается

только после эвакуации находящихся в защищаемом помещении людей (например, при наличии установок газового пожаротушения).

Технические средства
0,8 (*) Не требуется Учитываются

– вероятность эффективного срабатывания: (*) – принято по помещению с очагом пожара, "—" - очаг пожара вне помещений
– наличие системы
– учитываются ли при определении D_{nj}

Таблица 35. Определение вероятности эффективной работы технических средств

Помещение	**Системы противодымной защиты (СПДЗ)**	**Автоматические установки пожарной сигнализации (АУПС)**	**Автоматические установки пожаротушения (АУП)**	**Системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ)**	**Схема запуска технических средств**	***D_{nj}***
Этаж 1						
Коридор	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 (*) Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0
Помещение контроллерной (зальное)	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 (*) Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0
Помещение трансформаторной (с очагом пожара)	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0
Помещение электрооборудования	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 (*) Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0
Тамбур	0 Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	0 (*) Нет информации Не учитываются	0 Нет информации Не учитываются	АУП, СПДЗ и СОУЭ от АУПС	0

Определение условной вероятности поражения человека

Сценарий 1

Условная вероятность поражения человека L_{nj} определяется по формуле:

$L_{nj} = (1 - E_{nj}) \cdot (1 - S_{nj}) \cdot (1 - D_{nj})$

где E_{nj} - вероятность эвакуации по эвакуационным путям людей, находящихся в n-ом помещении здания, при реализации j-го сценария пожара;

S_{nj} - вероятность выхода через аварийные выходы людей, находящихся в n-ом помещении при реализации j-ого сценария пожара;

D_{nj} - вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению безопасности людей в n-ом помещении при реализации j-го сценария пожара.

Таблица 36. Определение условной вероятности поражения человека

Наименование	**Вероятность эвакуации по эвакуационным путям E_{nj}**	**Вероятность выхода через аварийные выходы, S_{nj}**	**Вероятность эффективной работы технических средств, D_{nj}**	**Условная вероятность поражения человека, L_{nj}**
Этаж 1				
Помещение контроллерной	0,999	$3 \cdot 10^{-2}$	0	$9{,}7 \cdot 10^{-4}$
Помещение трансформаторной	0,999	$3 \cdot 10^{-2}$	0	$9{,}7 \cdot 10^{-4}$
Помещение электрооборудования	0,999	$3 \cdot 10^{-2}$	0	$9{,}7 \cdot 10^{-4}$

Сценарий 2

Условная вероятность поражения человека L_{nj} определяется по формуле:

$L_{nj} = (1 - E_{nj}) \cdot (1 - S_{nj}) \cdot (1 - D_{nj})$

где E_{nj} - вероятность эвакуации по эвакуационным путям людей, находящихся в *n*-ом помещении здания, при реализации *j*-го сценария пожара;

S_{nj} - вероятность выхода через аварийные выходы людей, находящихся в n-ом помещении при реализации j-ого сценария пожара;

D_{nj} - вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению безопасности людей в *n*-ом помещении при реализации *j*-го сценария пожара.

Таблица 37. Определение условной вероятности поражения человека

Наименование	**Вероятность эвакуации по эвакуационным путям E_{nj}**	**Вероятность выхода через аварийные выходы, S_{nj}**	**Вероятность эффективной работы технических средств, D_{nj}**	**Условная вероятность поражения человека, L_{nj}**
Этаж 1				
Помещение контроллерной	0,999	$3 \cdot 10^{-2}$	0	$9,7 \cdot 10^{-4}$
Помещение трансформаторной	0,999	$3 \cdot 10^{-2}$	0	$9,7 \cdot 10^{-4}$
Помещение электрооборудования	0,999	$3 \cdot 10^{-2}$	0	$9,7 \cdot 10^{-4}$

Сценарий 3

Условная вероятность поражения человека L_{nj} определяется по формуле:

$$L_{nj} = (1 - E_{nj}) \cdot (1 - S_{nj}) \cdot (1 - D_{nj})$$

где E_{nj} - вероятность эвакуации по эвакуационным путям людей, находящихся в *n*-ом помещении здания, при реализации *j*-го сценария пожара;

S_{nj} - вероятность выхода через аварийные выходы людей, находящихся в n-ом помещении при реализации j-ого сценария пожара;

D_{nj} - вероятность эффективной работы технических средств по обеспечению безопасности людей в *n*-ом помещении при реализации *j*-го сценария пожара.

Таблица 38. Определение условной вероятности поражения человека

Наименование	Вероятность эвакуации по эвакуационным путям E_{nj}	Вероятность выхода через аварийные выходы, S_{nj}	Вероятность эффективной работы технических средств, D_{nj}	Условная вероятность поражения человека, L_{nj}
Этаж 1				
Помещение контроллерной	0,999	$3 \cdot 10^{-2}$	0	$9,7 \cdot 10^{-4}$
Помещение трансформаторной	0,999	$3 \cdot 10^{-2}$	0	$9,7 \cdot 10^{-4}$
Помещение электрооборудования	0,999	$3 \cdot 10^{-2}$	0	$9,7 \cdot 10^{-4}$

Определение потенциального риска в помещениях здания

Величина потенциального риска P_n в n-ом помещении здания объекта определяется по формуле:

$P_n = \Sigma Q_j \cdot L_{nj}$

где J - число сценариев возникновения пожара в здании;

Q_j - частота реализации в течение года j-го сценария пожара;

L_{nj} - условная вероятность поражения человека при его нахождении в n-ом помещении при реализации j-го сценария пожара.

Таблица 39. Определение потенциального риска в помещении

	Частота реализации сценария, Q_j, год$^{-1}$	Условная вероятность поражения человека, L_{nj}	Потенциальный риск, P_n, год$^{-1}$
Помещение контроллерной			$4,58 \cdot 10^{-6}$
Сценарий 1	$1,563 \cdot 10^{-3}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$1,516 \cdot 10^{-6}$
Сценарий 2	$9,199 \cdot 10^{-4}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$8,923 \cdot 10^{-7}$
Сценарий 3	$2,239 \cdot 10^{-3}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$2,171 \cdot 10^{-6}$
Помещение трансформаторной			$4,58 \cdot 10^{-6}$
Сценарий 1	$1,563 \cdot 10^{-3}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$1,516 \cdot 10^{-6}$
Сценарий 2	$9,199 \cdot 10^{-4}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$8,923 \cdot 10^{-7}$
Сценарий 3	$2,239 \cdot 10^{-3}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$2,171 \cdot 10^{-6}$
Помещение электрооборудования			$4,58 \cdot 10^{-6}$
Сценарий 1	$1,563 \cdot 10^{-3}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$1,516 \cdot 10^{-6}$
Сценарий 2	$9,199 \cdot 10^{-4}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$8,923 \cdot 10^{-7}$
Сценарий 3	$2,239 \cdot 10^{-3}$	$9,7 \cdot 10^{-4}$	$2,171 \cdot 10^{-6}$

Оценка величины индивидуального риска для работника при его нахождении в здании

Величина индивидуального риска R_m для работника m при его нахождении в здании объекта, обусловленная опасностью пожаров в здании, определяется по формуле:

$R_m = \sum P_n \cdot q_{nm}$

где P_n - величина потенциального риска в n-ом помещении здания;

q_{nm} - вероятность присутствия работника m в n-ом помещении;

N - число помещений в здании, сооружении и строений.

Таблица 40. Определение индивидуального риска для работника

Профессия	**Помещение**	**Вероятность присутствия, q_{nm}**	**Потенциальный риск, P_n, год$^{-1}$**	**Индивидуальный риск, R_m, год$^{-1}$**
Электрик	Помещение трансформаторной	$1{,}455 \cdot 10^{-2}$	$4{,}58 \cdot 10^{-6}$	$6{,}665 \cdot 10^{-8}$
Оператор	Помещение контроллерной	$2{,}329 \cdot 10^{-1}$	$4{,}58 \cdot 10^{-6}$	$2{,}133 \cdot 10^{-6}$
	Помещение электрооборудования	$2{,}329 \cdot 10^{-1}$	$4{,}58 \cdot 10^{-6}$	

Вывод о соответствии расчетных величин пожарного риска нормативным значениям.

Индивидуальный пожарный риск превышает нормативное значение, так как выполняется условие

$$R_m^{max} = 2{,}133 \cdot 10^{-6} \geq R_m^{н} = 10^{-6}$$

Список литературы

1. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ.
2. ГОСТ 12.1.004-91. «Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования» (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 14.06.1991 N 875).
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 22 июля 2020 г. №1084 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска».
4. Приложение к Приказу МЧС России № 533 от 26.06.2024 г. «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».
5. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: Методические рекомендации. — М.: ВНИИПО, 2003. — 35 С.
6. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. — М.: Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 С.
7. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов. 2-ое изд., испр. и доп. / М.: ВНИИПО, 2019.
8. СП 505.1311500.2021 «Расчет пожарного риска. Требования к оформлению».

Приложения

Приложение № 1. Результаты моделирования процесса эвакуации

Используемые обозначения:

l — расстояние, пройденное человеком по эвакуационным путям каждого типа;

$t_{нэ}$ — время начала эвакуации;

$t_{э}$ — время эвакуации;

$t_{ск}$ — время нахождения в скоплениях;

Сценарий 1

Здание

Этаж 1

l, м
9,463

– Горизонтальный путь

Имя	Контингент	Профессия	Выход	l, м	$t_{нэ}$, с	$t_{э}$, с	$t_{ск}$, с
Человек 1	M1	Оператор	Выход 1	9,463	0	5,8	0
Человек 2	M1	Оператор	Выход 2	11,176	30	36,8	0
Человек 3	M1	Электрик	Выход 3	18,48	30	41,2	0

Сценарий 2

Здание

Этаж 1

l, м
9,463

– Горизонтальный путь

Имя	Контингент	Профессия	Выход	l, м	$t_{нэ}$, с	$t_{э}$, с	$t_{ск}$, с
Человек 1	M1	Оператор	Выход 1	9,463	30	35,8	0

Человек 2	М1	Оператор	Выход 2	11,176	30	36,8	0
Человек 3	М1	Электрик	Выход 3	18,48	30	41,2	0

Сценарий 3

Здание

Этаж 1

l, м
9,463

– Горизонтальный путь

Имя	Контингент	Профессия	Выход	l, м	$t_{нэ}$, с	$t_э$, с	$t_{ск}$, с
Человек 1	М1	Оператор	Выход 1	9,463	30	35,8	0
Человек 2	М1	Оператор	Выход 2	11,176	30	36,8	0
Человек 3	М1	Электрик	Выход 3	18,48	30	41,2	0

Приложение № 2. Результаты моделирования процесса развития пожара

Измерение опасных факторов пожара осуществляется в нескольких контрольных точках. В каждой контрольной точке измеряются все опасные факторы пожара (температура, видимость, тепловой поток, концентрация кислорода, оксида углерода, диоксида углерода и хлористого водорода).

Если опасные факторы пожара не достигают критического значения за время моделирования, то данные в приложении не представлены.

Использованные на графиках обозначения:

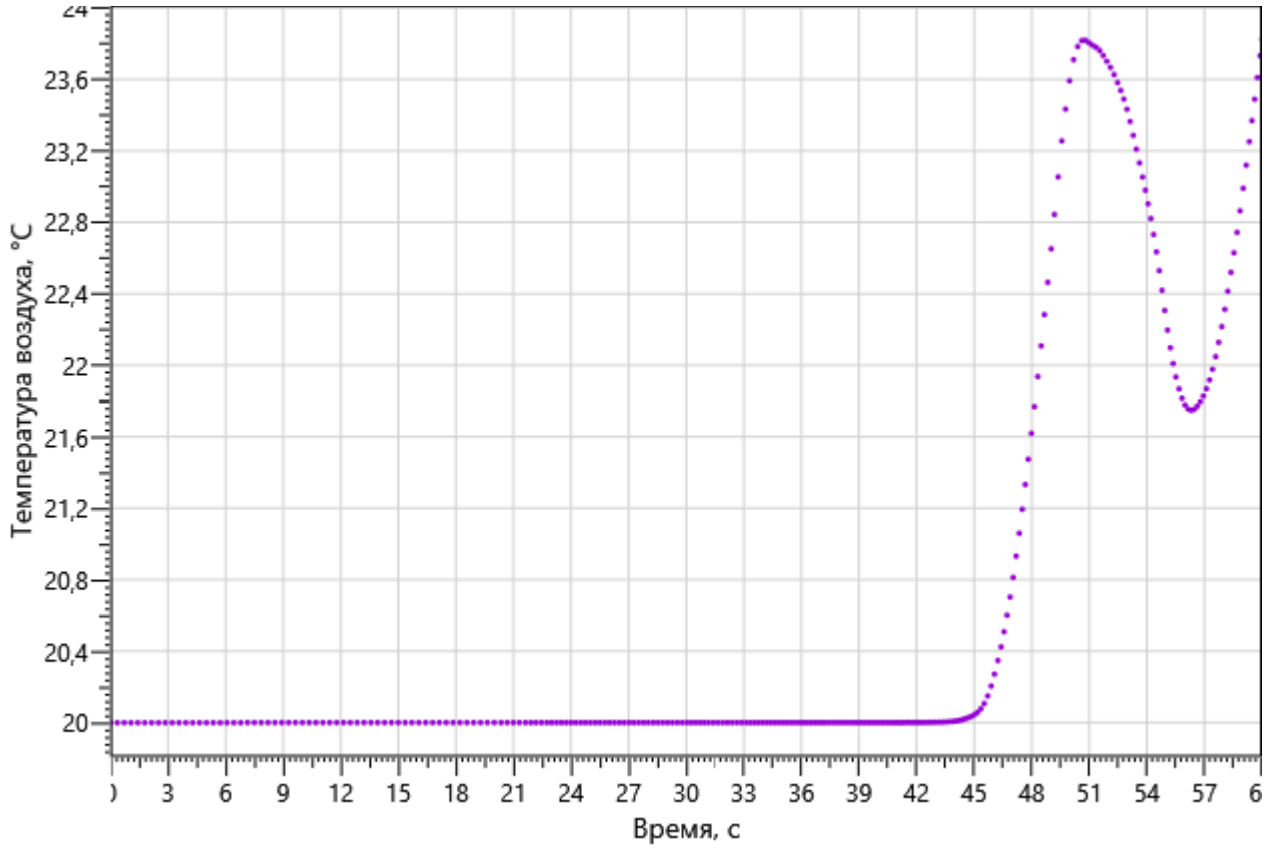
● - критическое значение ОФП

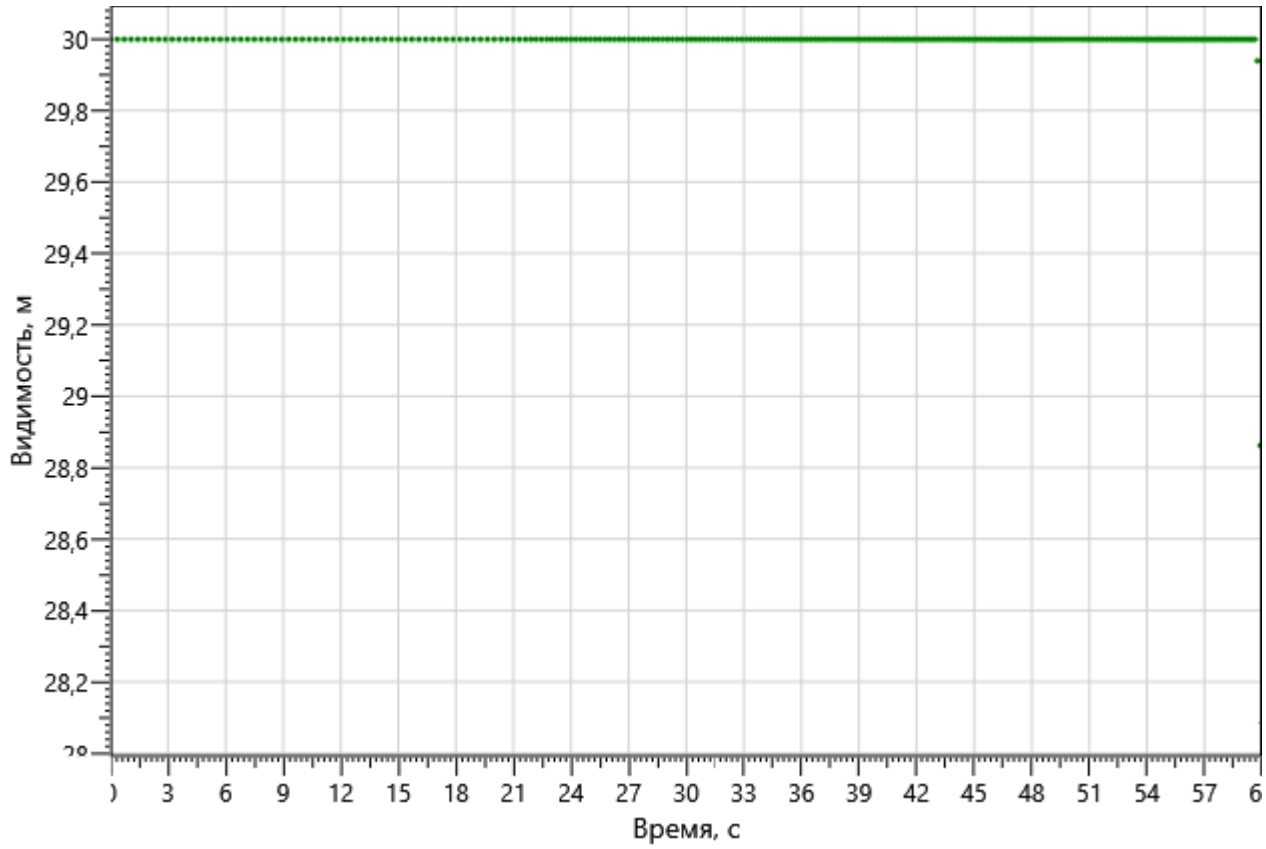
Сценарий 1

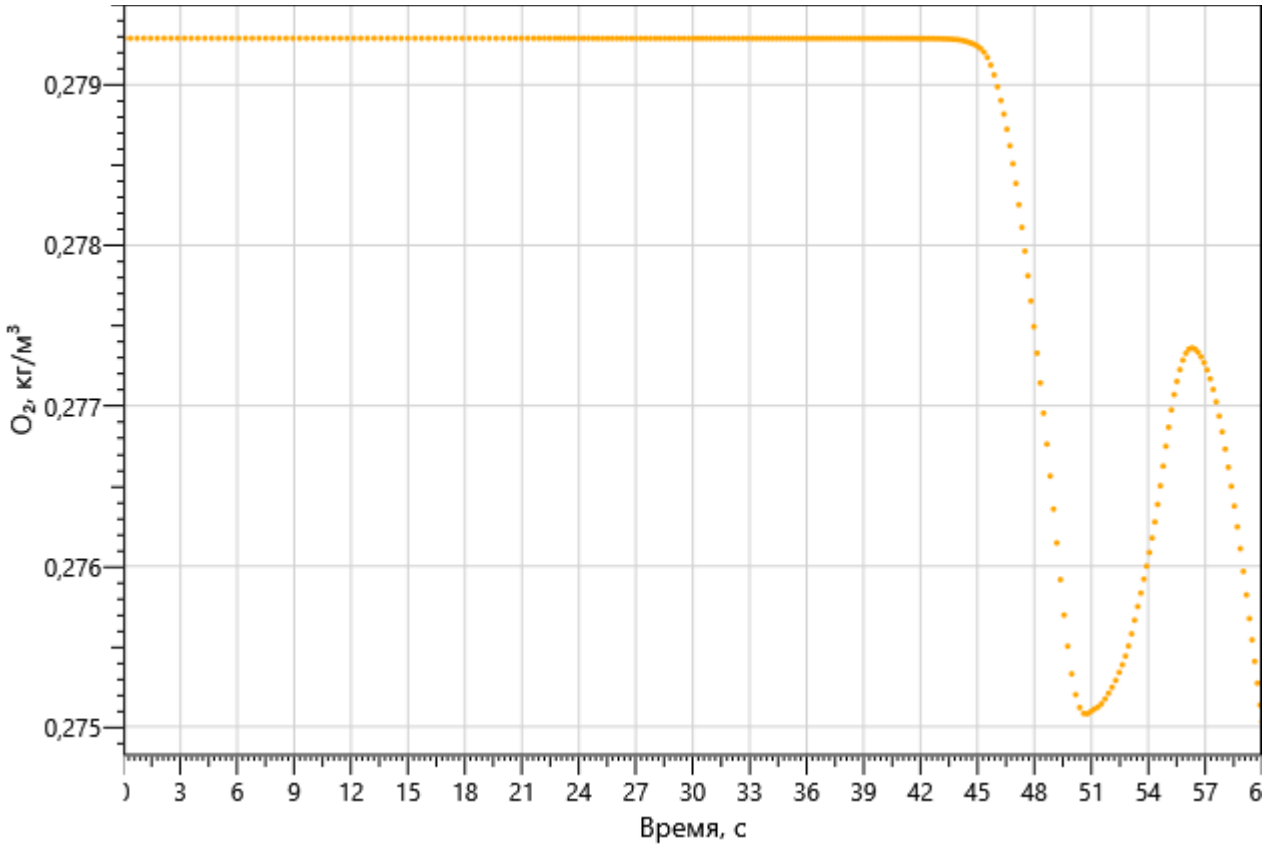
Сценарий 2

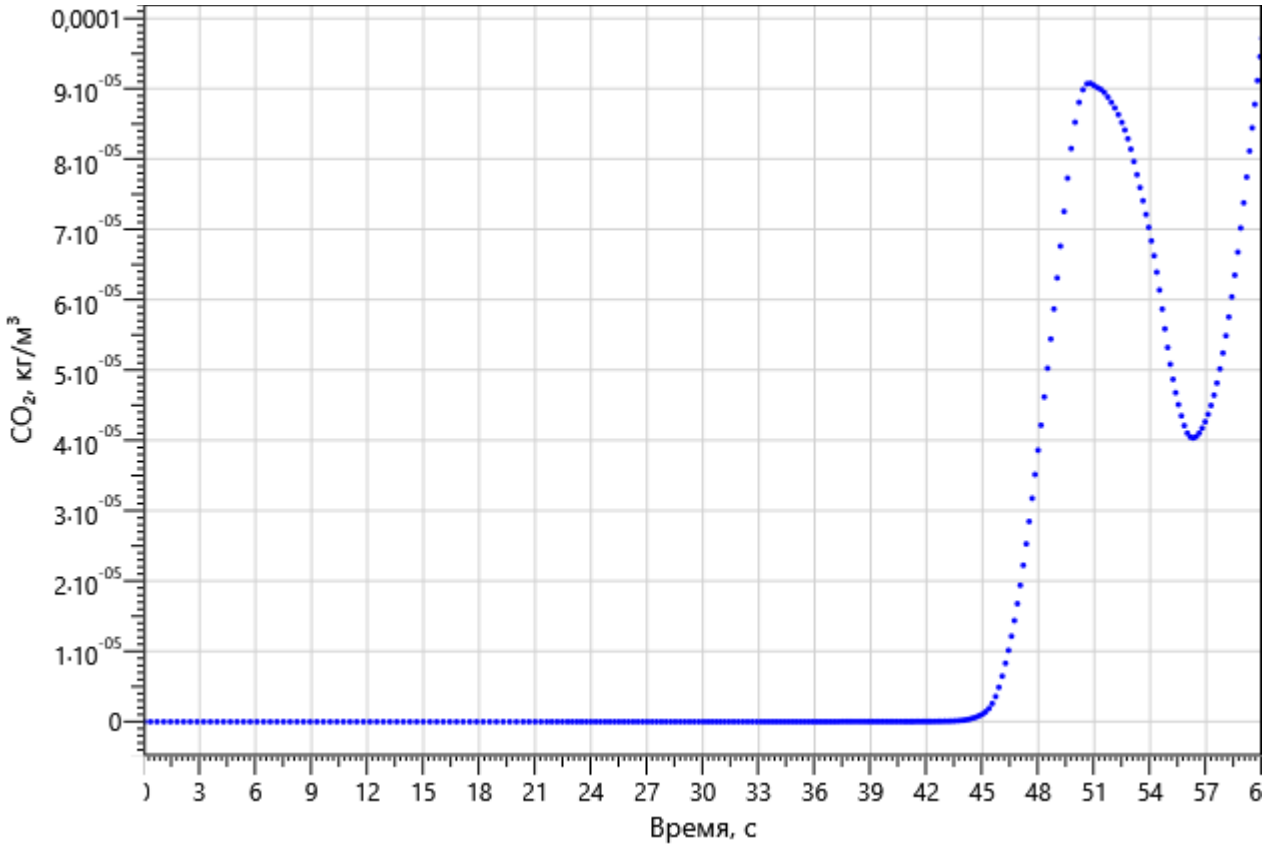
Этаж 1

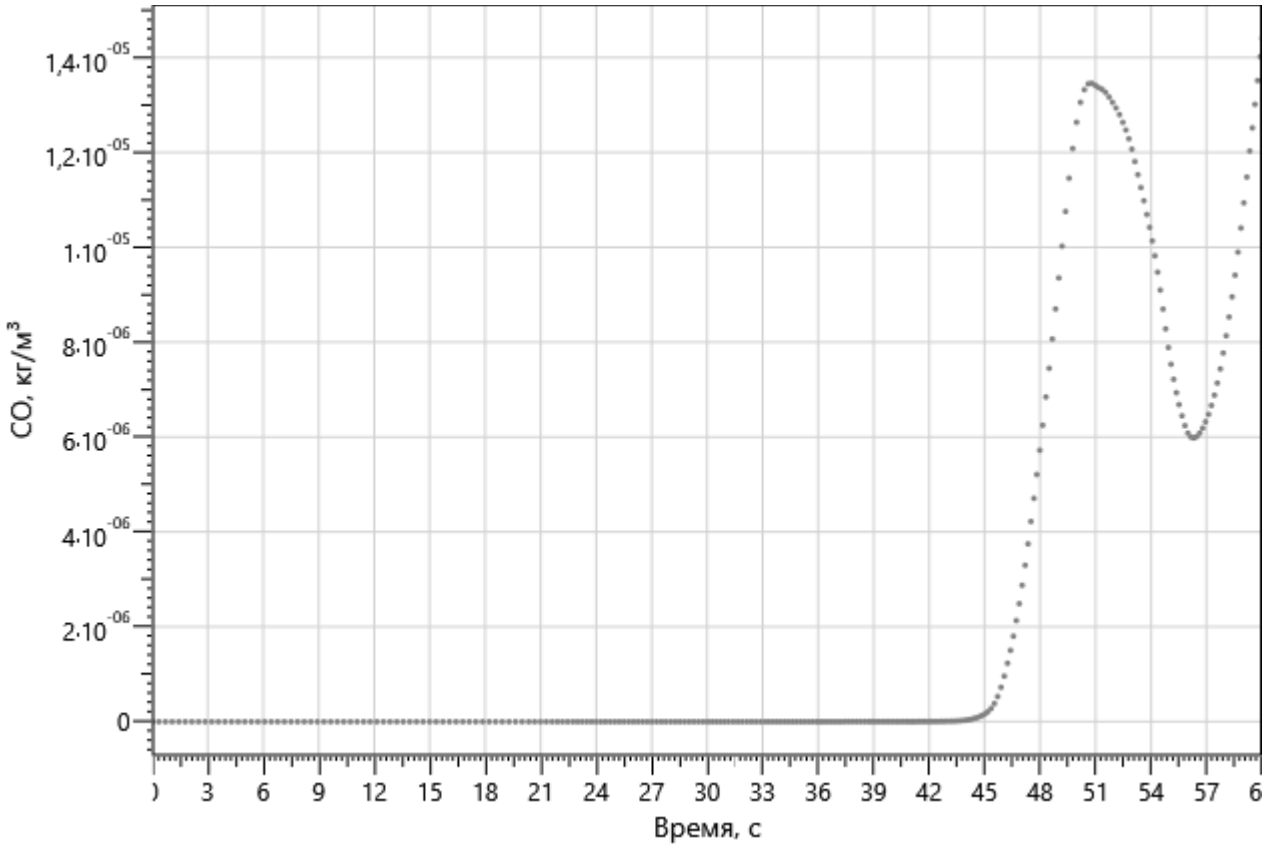
Дверь 4 (точка «Дверь 4_1»)

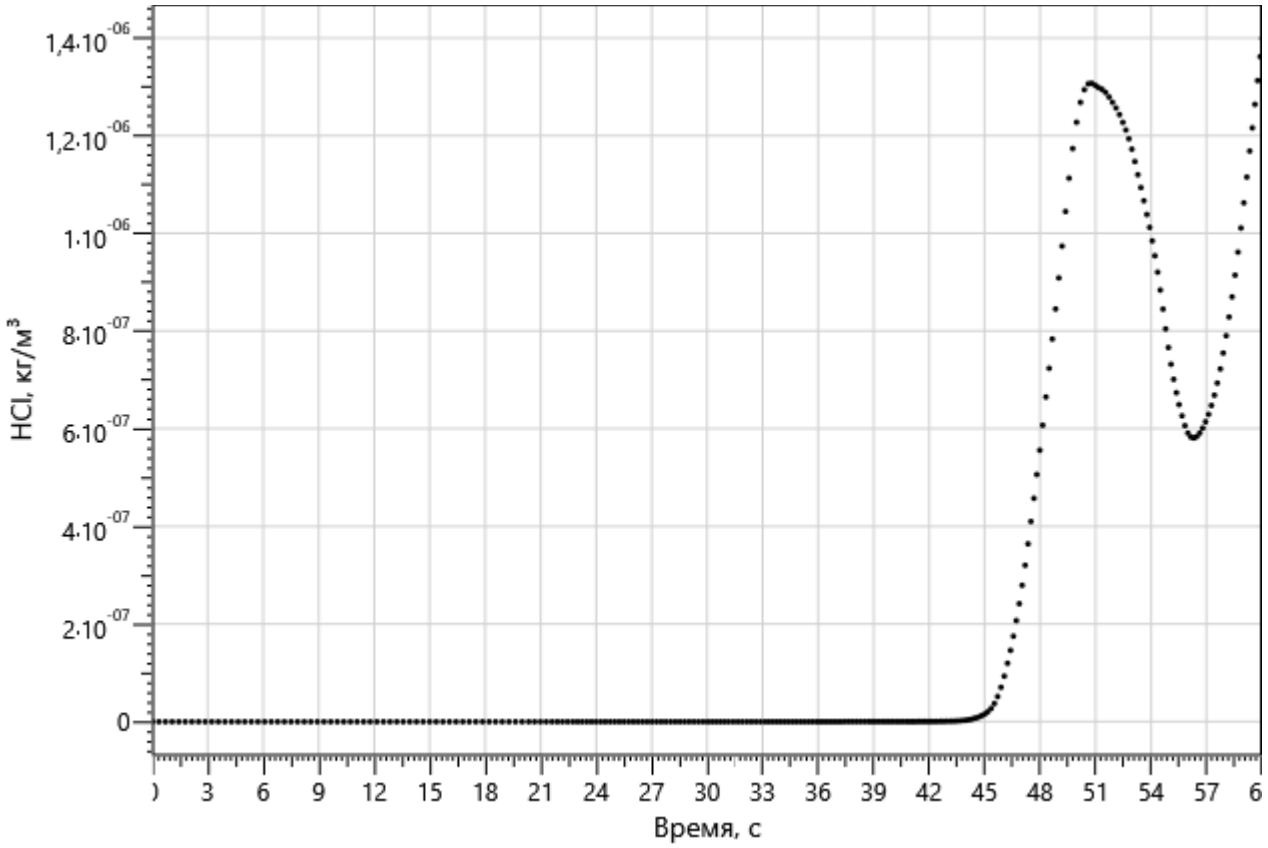


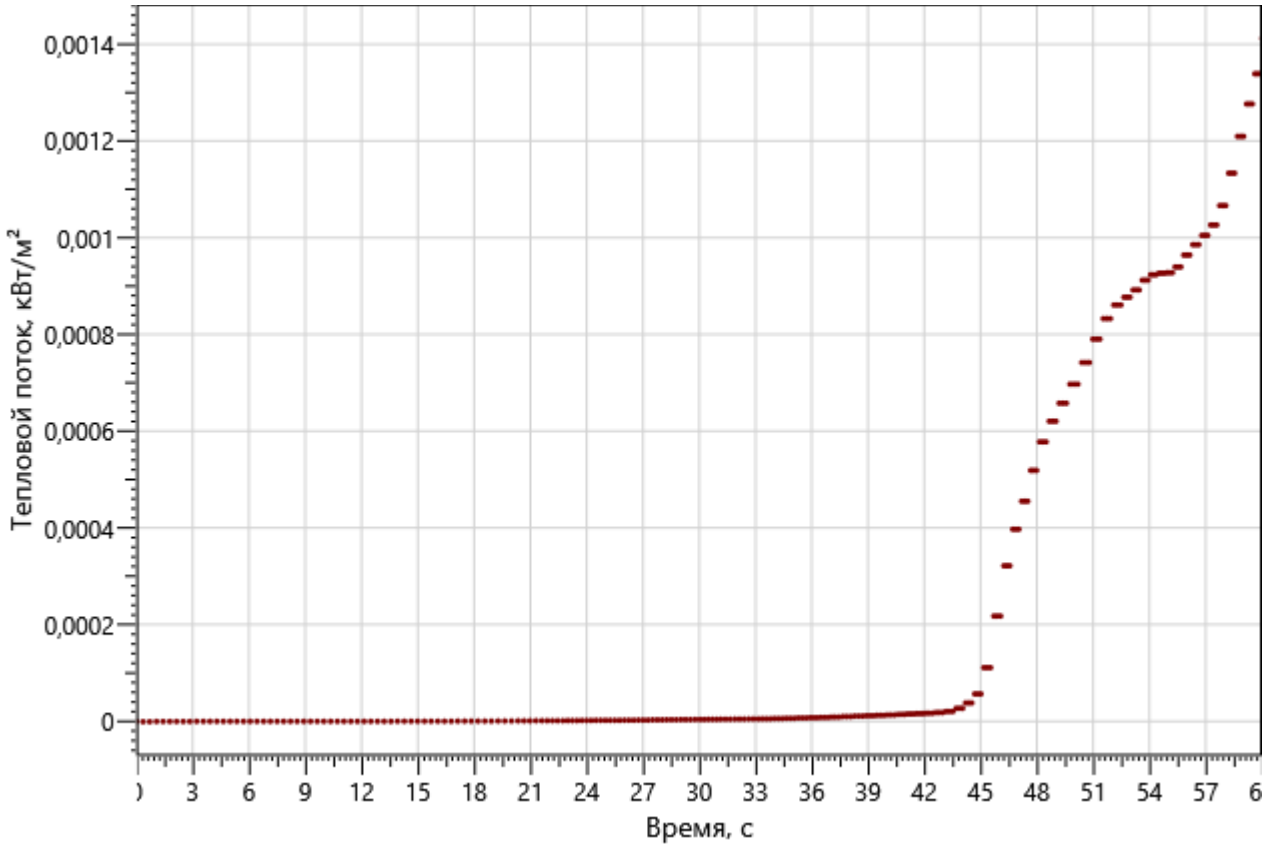



0,279
0,278
0,277
0,276
0,275
O2, кг/м3
0 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 33 36 39 42 45 48 51 54 57 6
Время, с

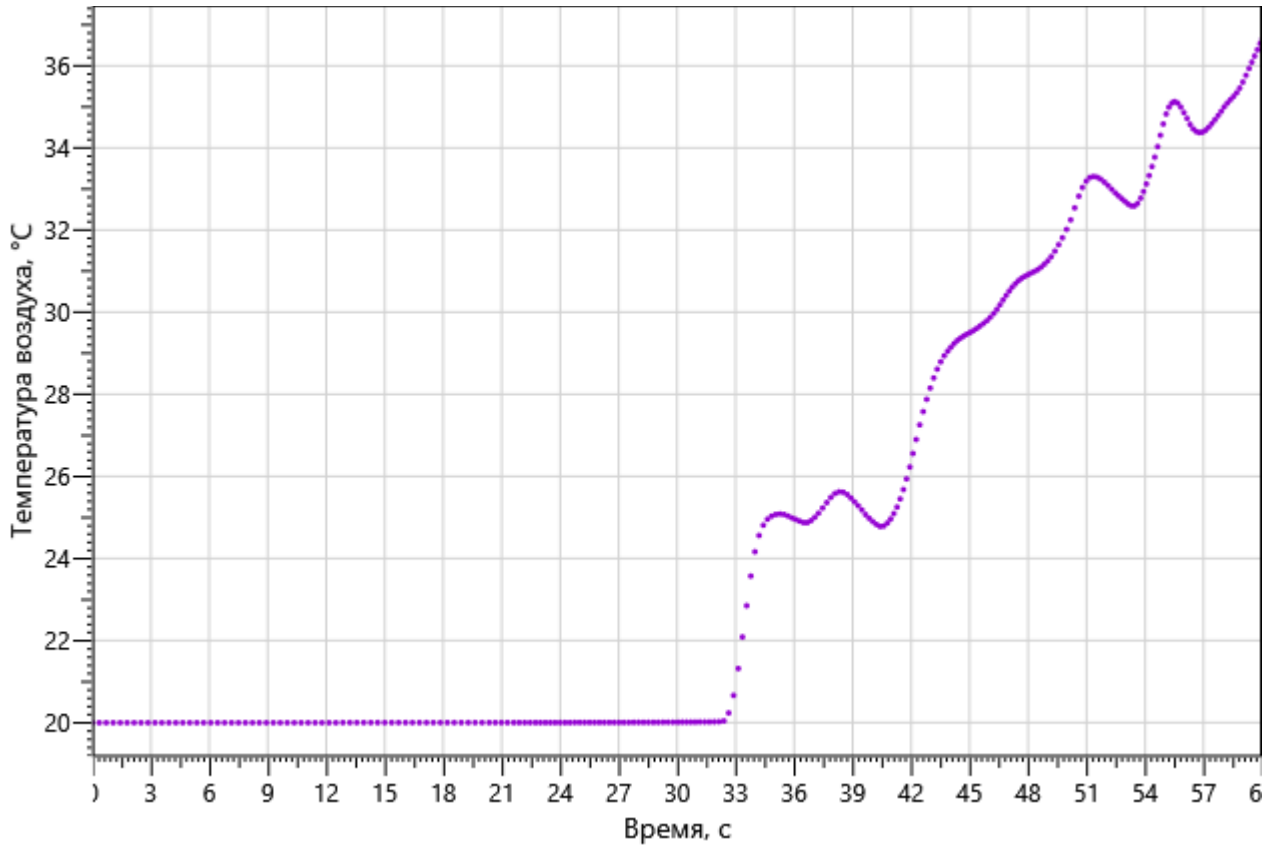

0,0001
9·10-05
8·10-05
7·10-05
6·10-05
5·10-05
4·10-05
3·10-05
2·10-05
1·10-05
0
CO2, кг/м3
0 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 33 36 39 42 45 48 51 54 57 6
Время, с

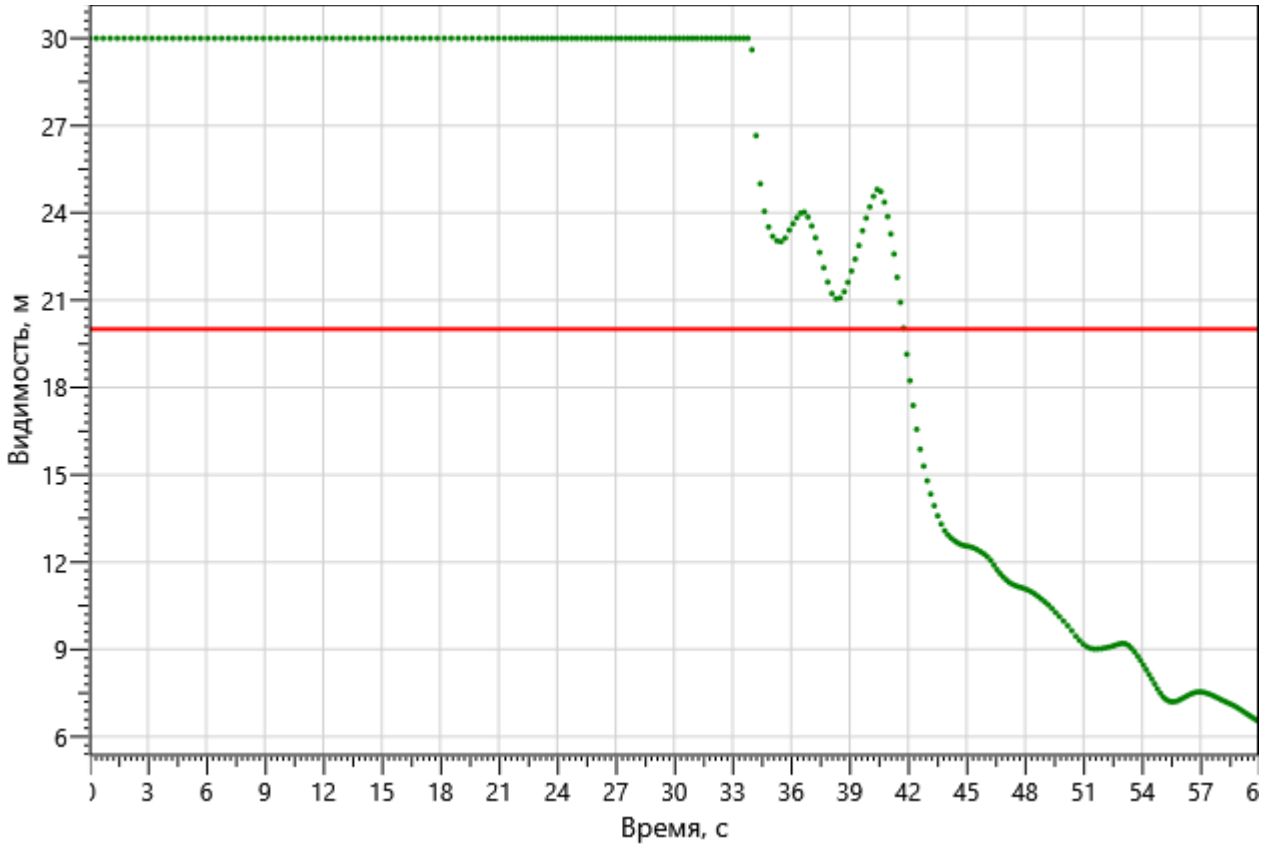

1,4·10-05
1,2·10-05
1·10-05
8·10-06
6·10-06
4·10-06
2·10-06
0
CO, кг/м³
0 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 33 36 39 42 45 48 51 54 57 6
Время, с

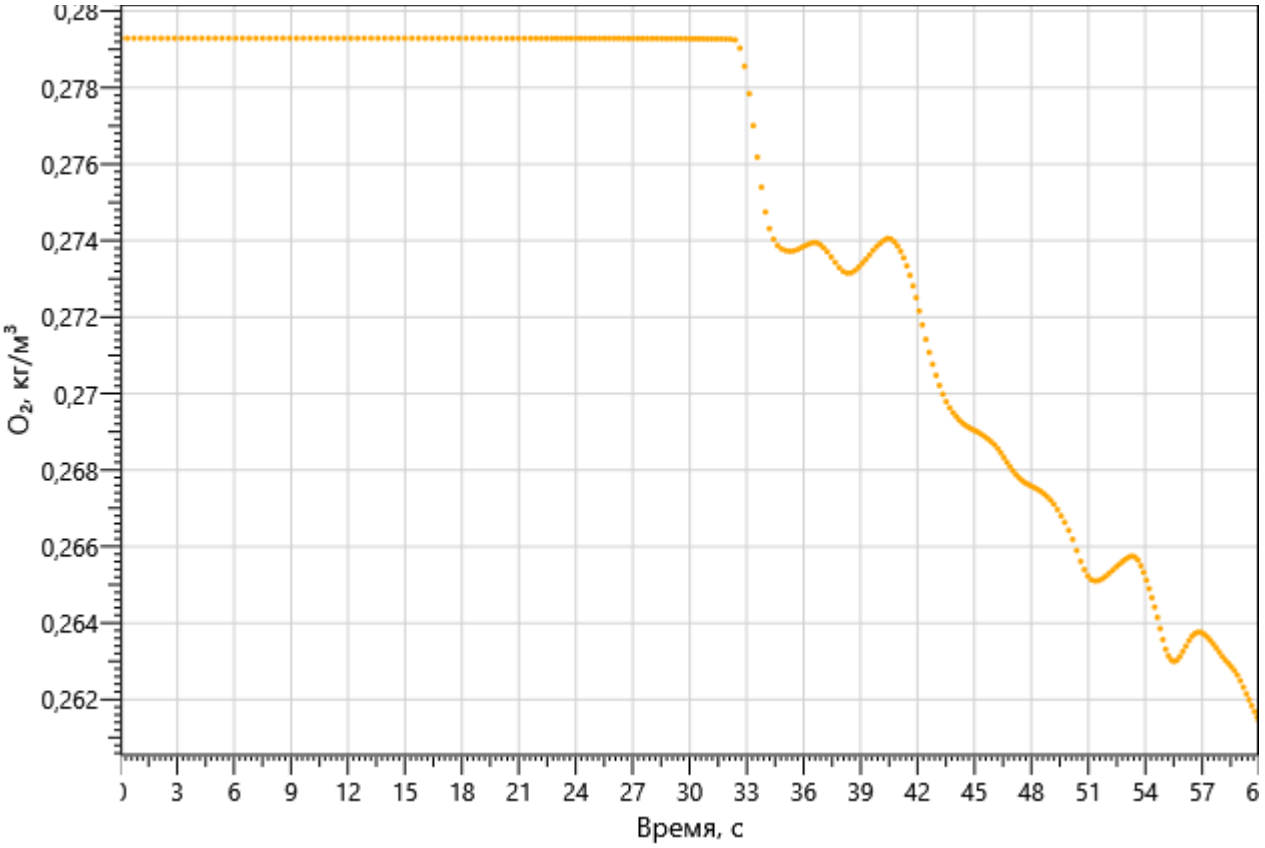

1,4·10-06
1,2·10-06
1·10-06
8·10-07
6·10-07
4·10-07
2·10-07
0
HCl, кг/м³
0 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 33 36 39 42 45 48 51 54 57 6
Время, с

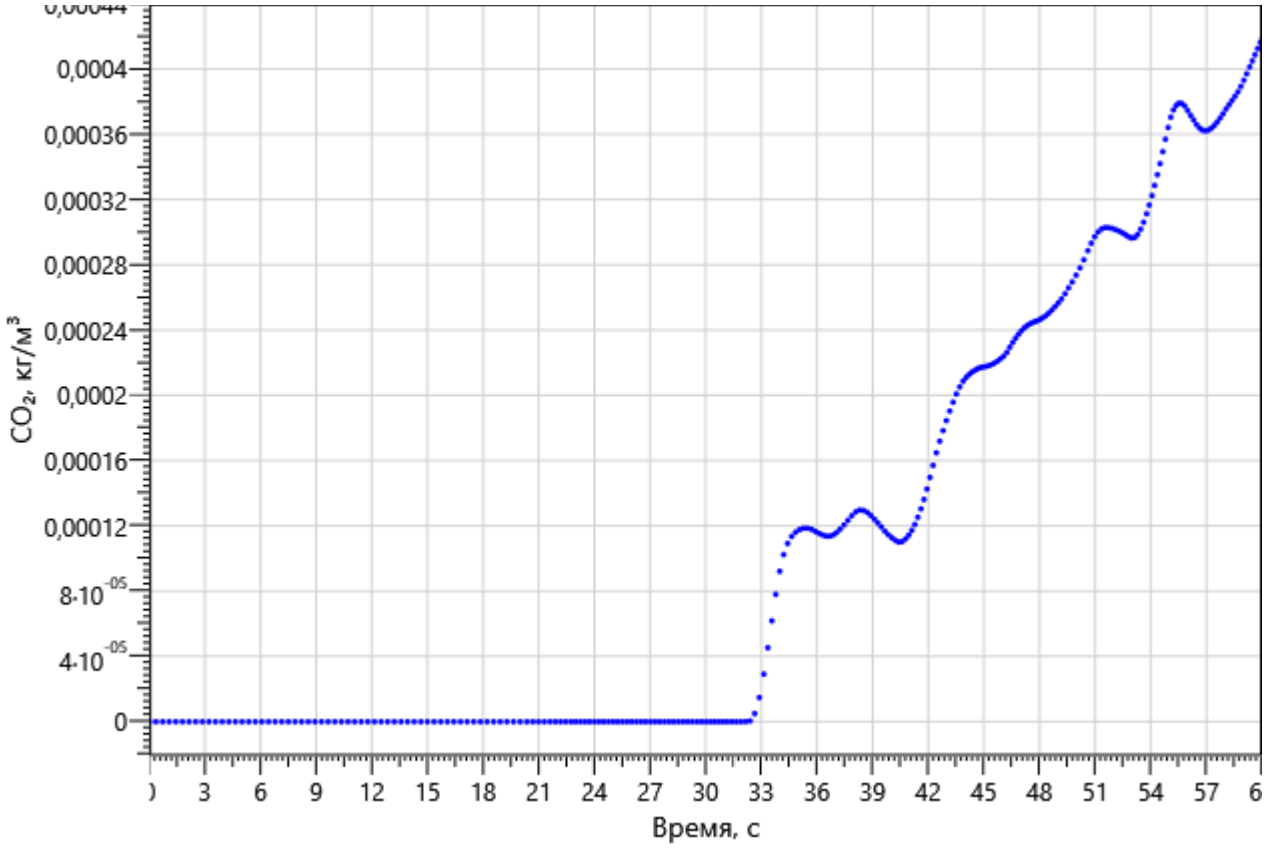


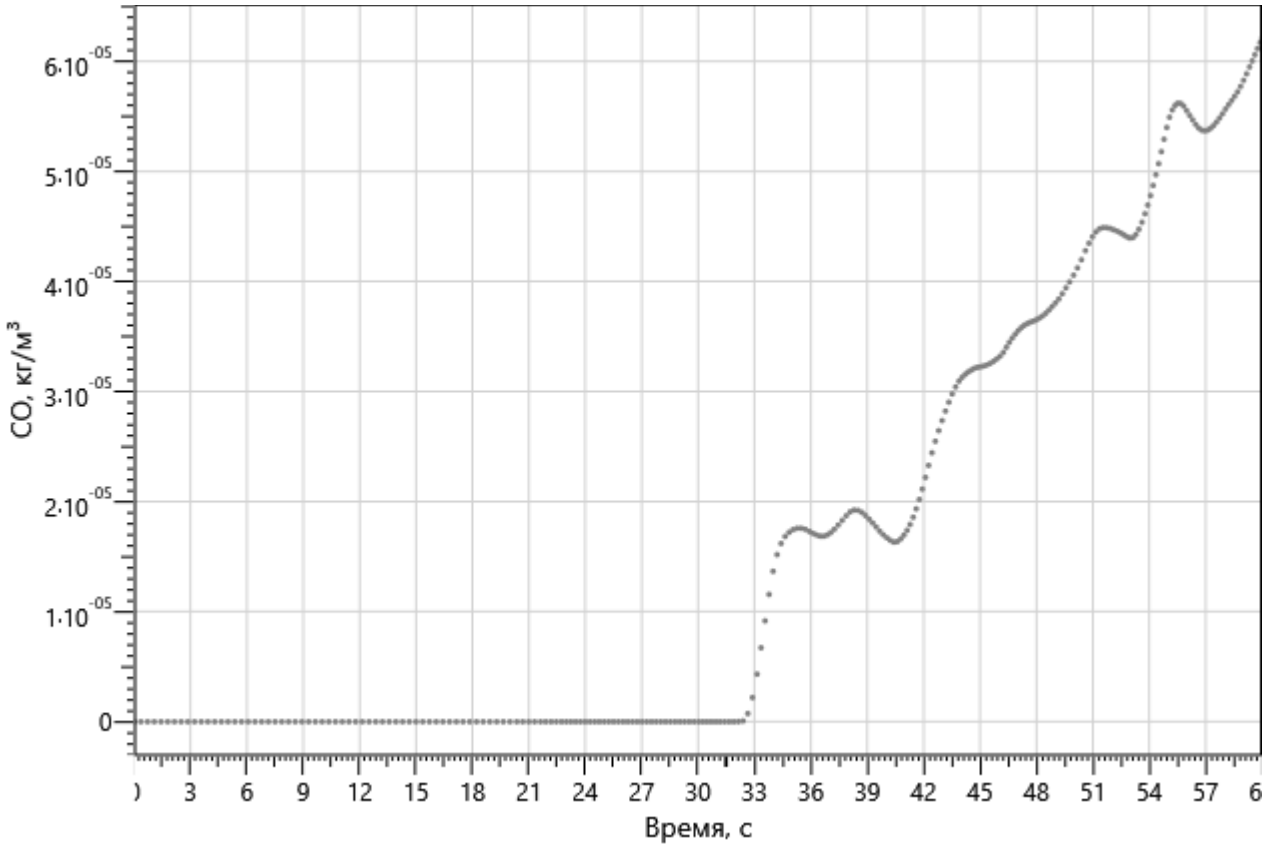
Дверь 4 (точка «Дверь 4_2»)

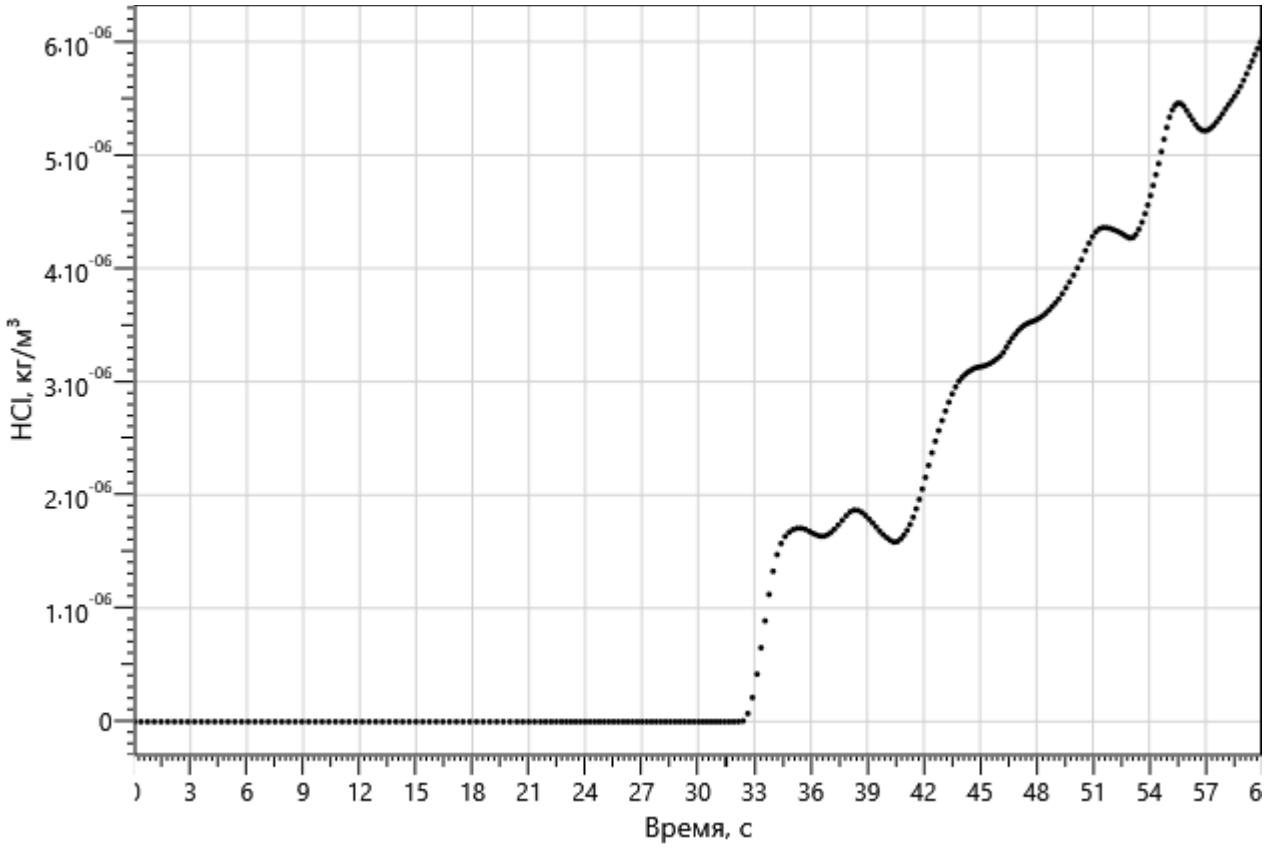


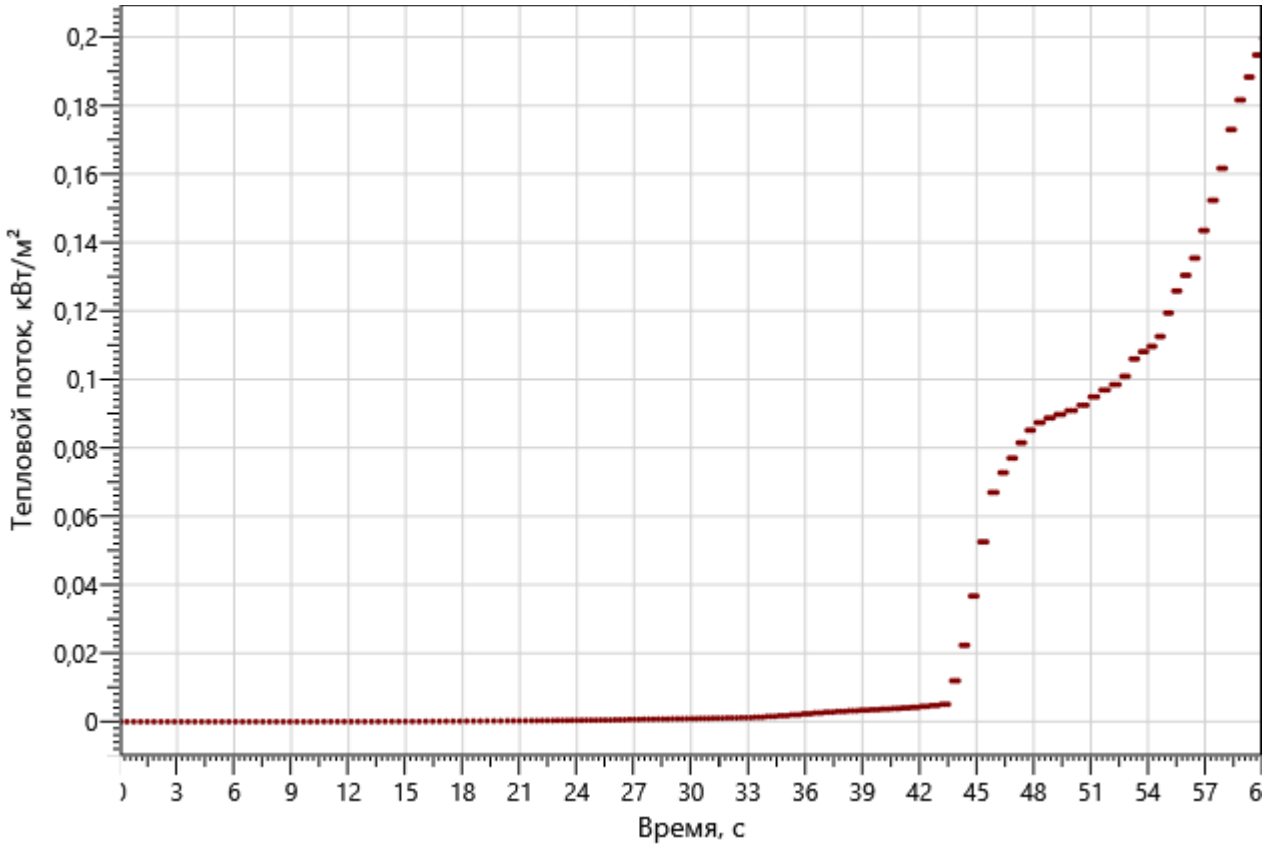

Видимость, м
30
27
24
21
18
15
12
9
6
3
6
9
12
15
18
21
24
27
30
33
36
39
42
45
48
51
54
57
6
Время, с


O2, кг/м3
0,28
0,278
0,276
0,274
0,272
0,27
0,268
0,266
0,264
0,262
3
6
9
12
15
18
21
24
27
30
33
36
39
42
45
48
51
54
57
6
Время, с


0,0004
0,00036
0,00032
0,00028
0,00024
0,0002
0,00016
0,00012
8·10-05
4·10-05
0
CO2, кг/м3
3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 33 36 39 42 45 48 51 54 57 6
Время, с


6·10-05
5·10-05
4·10-05
3·10-05
2·10-05
1·10-05
0
CO, кг/м3
3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 33 36 39 42 45 48 51 54 57 6
Время, с





Сценарий 3

Приложение № 3. Параметры эвакуационных путей

Сценарий 1

Здание

Двери

Тип	Ширина, м	Высота, м	Примечание	Количество, шт.	Двери
Д-1	1	2		6	Дверь 1 - Дверь 6

Сценарий 2

Здание

Двери

Тип	Ширина, м	Высота, м	Примечание	Количество, шт.	Двери
Д-1	1	2		6	Дверь 1 - Дверь 6

Сценарий 3

Здание

Двери

Тип	Ширина, м	Высота, м	Примечание	Количество, шт.	Двери
Д-1	1	2		6	Дверь 1 - Дверь 6

Приложение № 4. Частоты возникновения пожаров в зданиях

№ п/п	Наименование объекта	Частота возникновения пожара, ($м^{-2} \cdot год^{-1}$)
1.	Электростанции	$2,2 \cdot 10^{-5}$
2.	Склады химической продукции	$1,2 \cdot 10^{-5}$
3.	Склады многономенклатурной продукции	$9,0 \cdot 10^{-5}$
4.	Инструментально-механические цеха	$0,6 \cdot 10^{-5}$
5.	Цеха по обработке синтетического каучука и искусственных волокон	$2,7 \cdot 10^{-5}$
6.	Литейные и плавильные цеха	$1,9 \cdot 10^{-5}$
7.	Цеха по переработке мясных и рыбных продуктов	$1,5 \cdot 10^{-5}$
8.	Цеха горячей прокатки металлов	$1,9 \cdot 10^{-5}$
9.	Текстильные производства	$1,5 \cdot 10^{-5}$
10.	Административные здания производственных объектов	$1,2 \cdot 10^{-5}$

Приложение № 5. Контингенты людей, используемые в проекте

M1

Группа мобильности: M1

Площадь: 0,1 м²

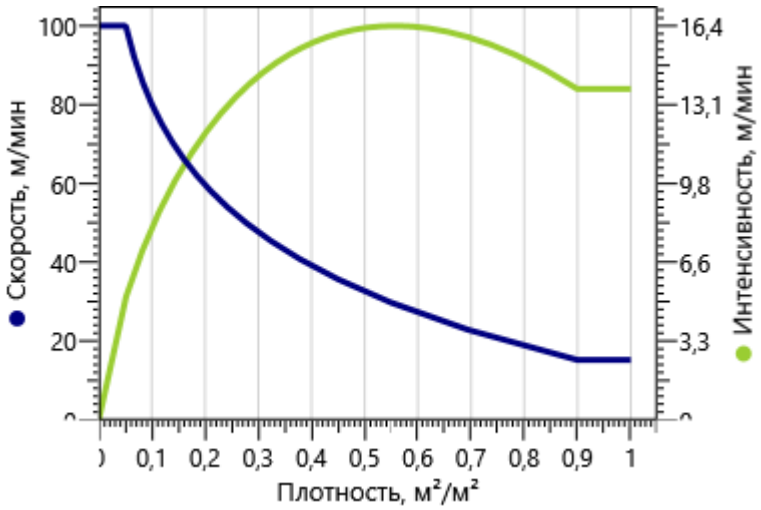
“Ширина”: 0,46 м (размер прямоугольника, занимаемый человеком, перпендикулярный направлению движения)

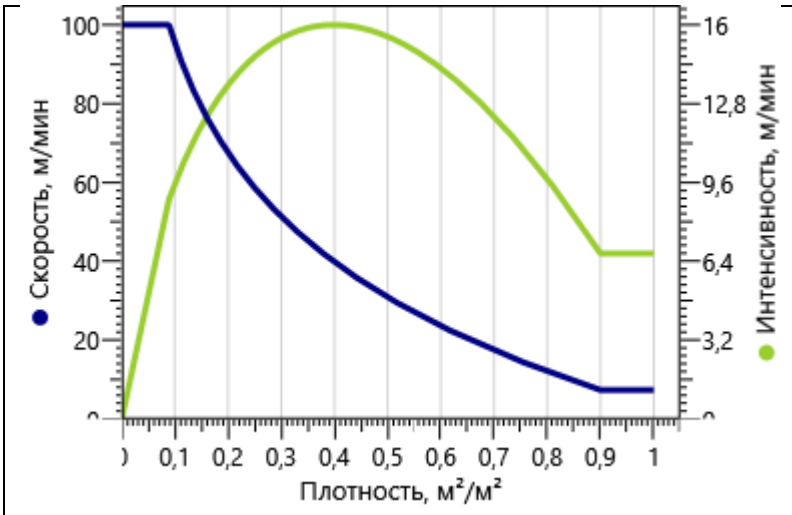
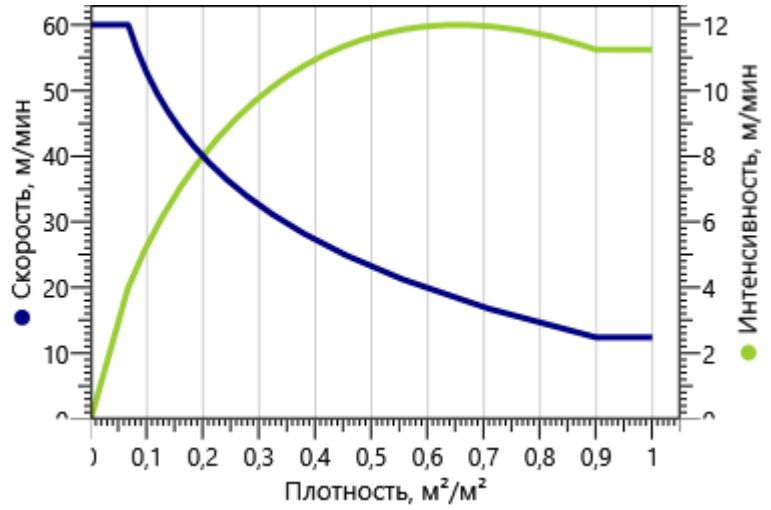
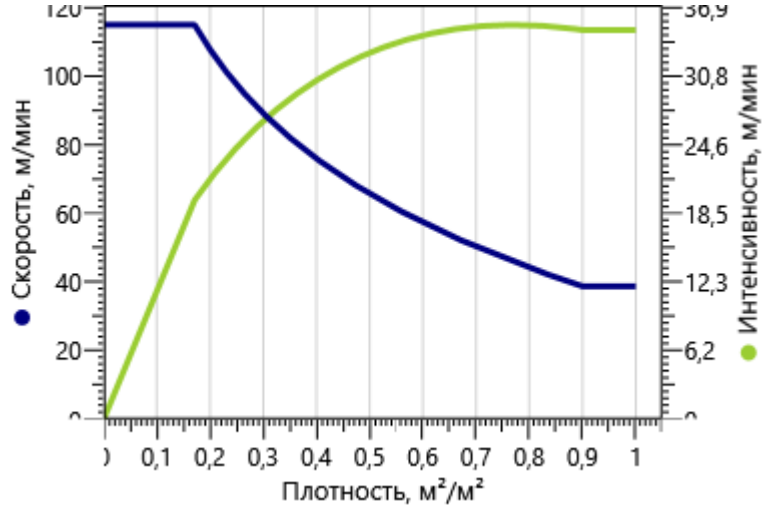
“Толщина”: 0,28 м (размер прямоугольника, занимаемый человеком, вдоль направления движения)

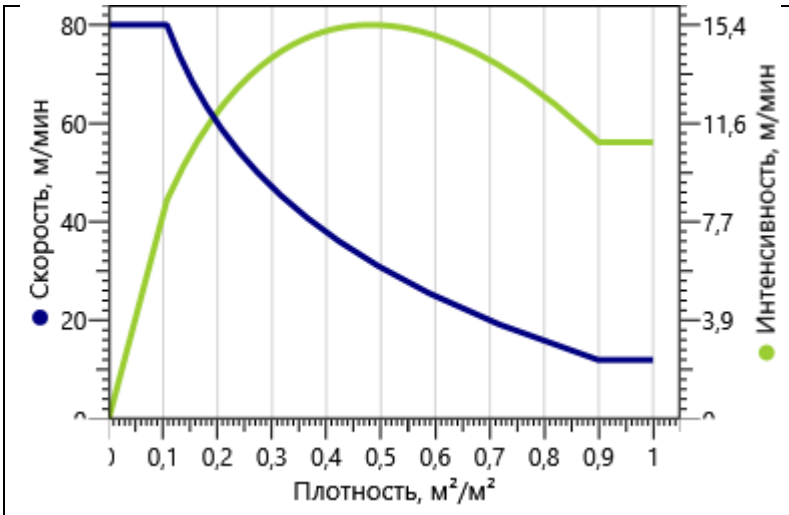
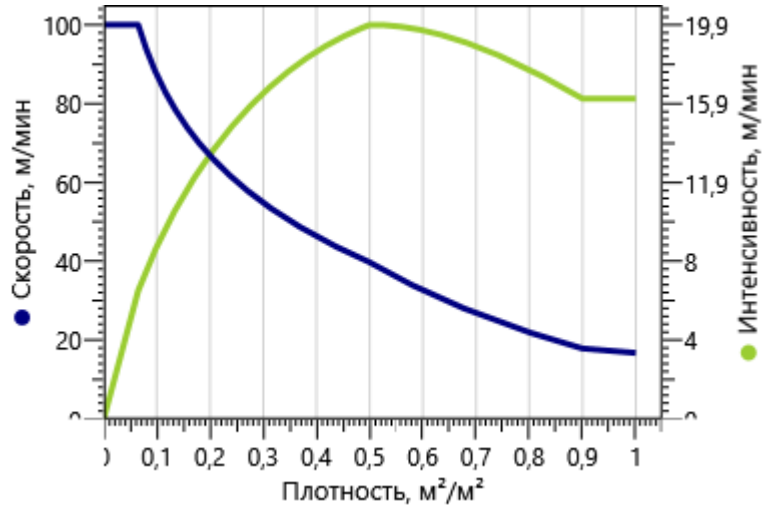
Высота: 1,7 м

Цвет:

Параметры движения по эвакуационным путям различного типа.

Тип пути	Параметры
Горизонтальный путь 	Движение разрешено: Да Зависимость: Логарифмическая Do = 0,051 м²/м² | Vmax = 100 м/мин | Dvmin = 0,9 м²/м² | Dmax = 1 м²/м² | a = 0,295
Лестница вниз	Движение разрешено: Да Зависимость: Логарифмическая Do = 0,089 м²/м² | Vmax = 100 м/мин | Dvmin = 0,9

	м²/м² | Dmax = 1 м²/м² | a = 0,4
Лестница вверх 	Движение разрешено: Да Зависимость: Логарифмическая Do = 0,067 м²/м² | Vmax = 60 м/мин | Dvmin = 0,9 м²/м² | Dmax = 1 м²/м² | a = 0,305
Пандус вниз 	Движение разрешено: Да Зависимость: Логарифмическая Do = 0,171 м²/м² | Vmax = 115 м/мин | Dvmin = 0,9 м²/м² | Dmax = 1 м²/м² | a = 0,399
Пандус вверх	Движение разрешено: Да Зависимость: Логарифмическая

	Do = 0,107 м²/м² | Vmax = 80 м/мин | Dvmin = 0,9 м²/м² | Dmax = 1 м²/м² | a = 0,399
Проем 	Движение разрешено: Да Зависимость: Логарифмическая Do = 0,065 м²/м² | Vmax = 100 м/мин | Dvmin = 0,9 м²/м² | Dmax = 1 м²/м² | a = 0,295

Приложение № 6. Схемы эвакуации

Сценарий 1

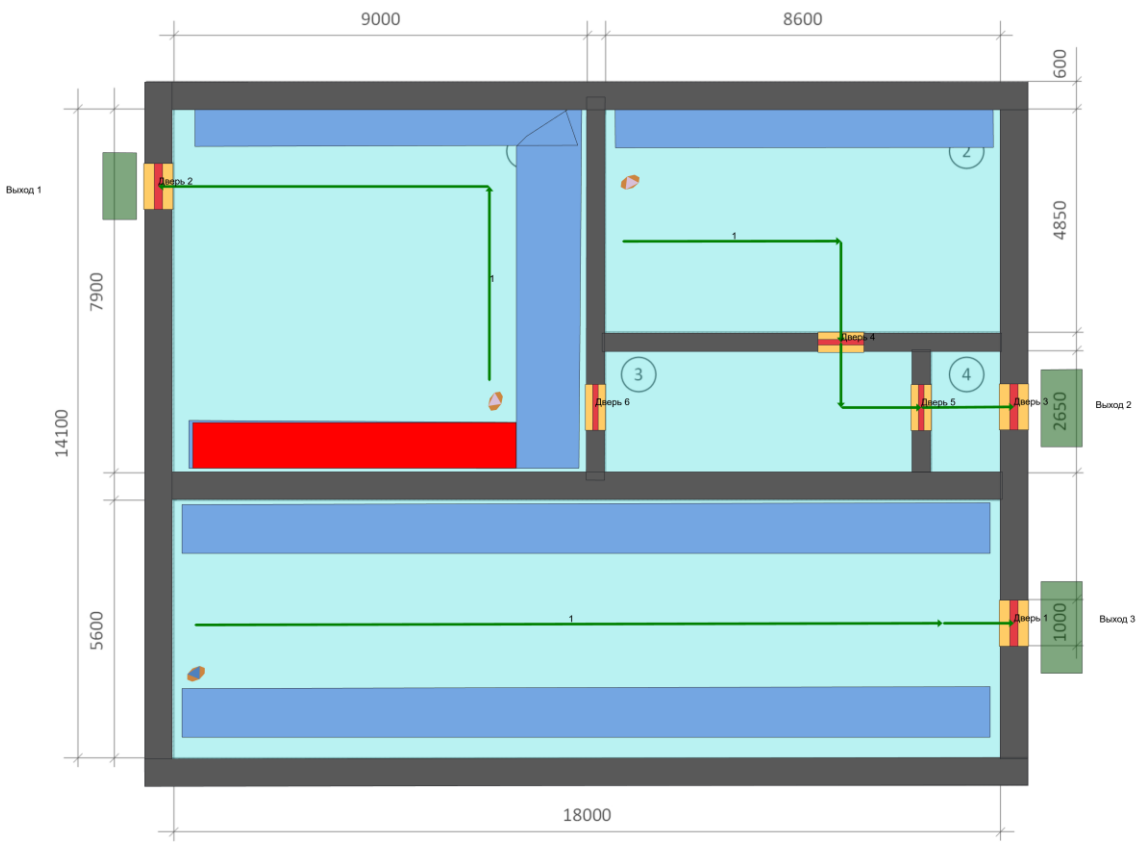


Рисунок 73. Этаж 1. Схема эвакуации.

Сценарий 2

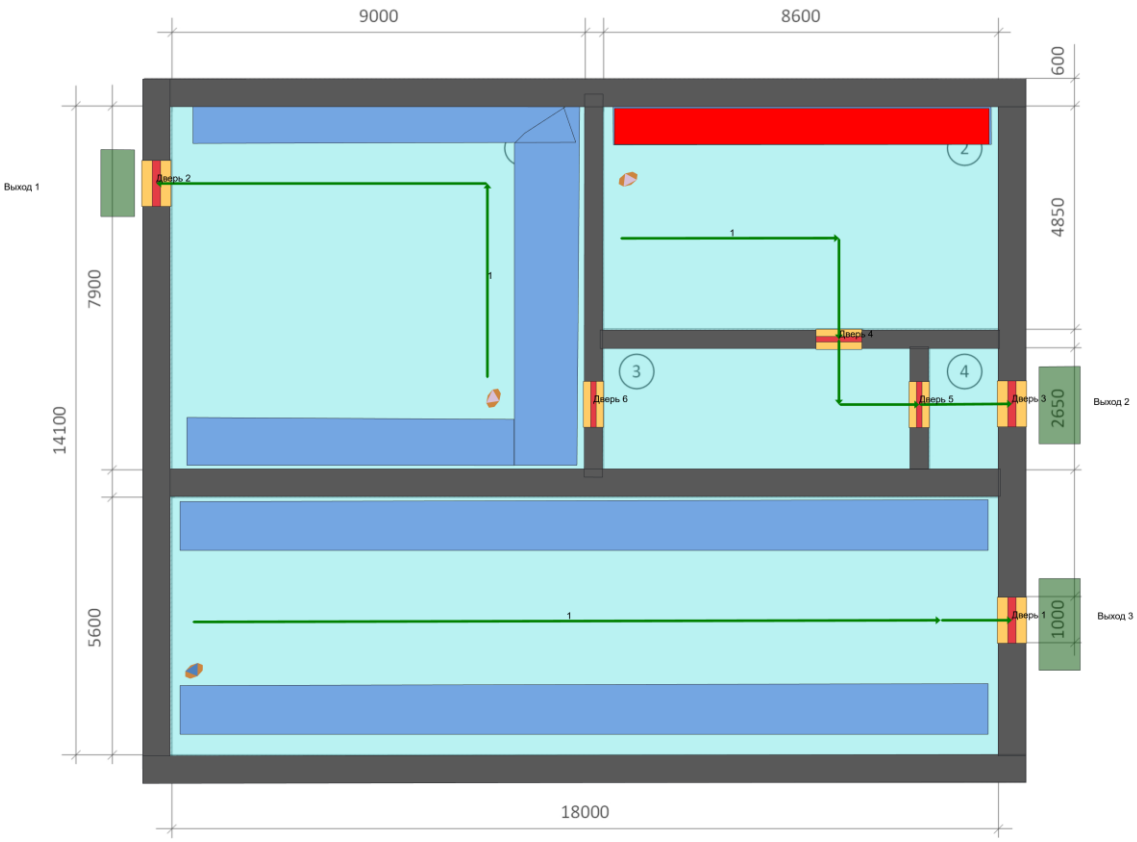


Рисунок 74. Этаж 1. Схема эвакуации.

Сценарий 3

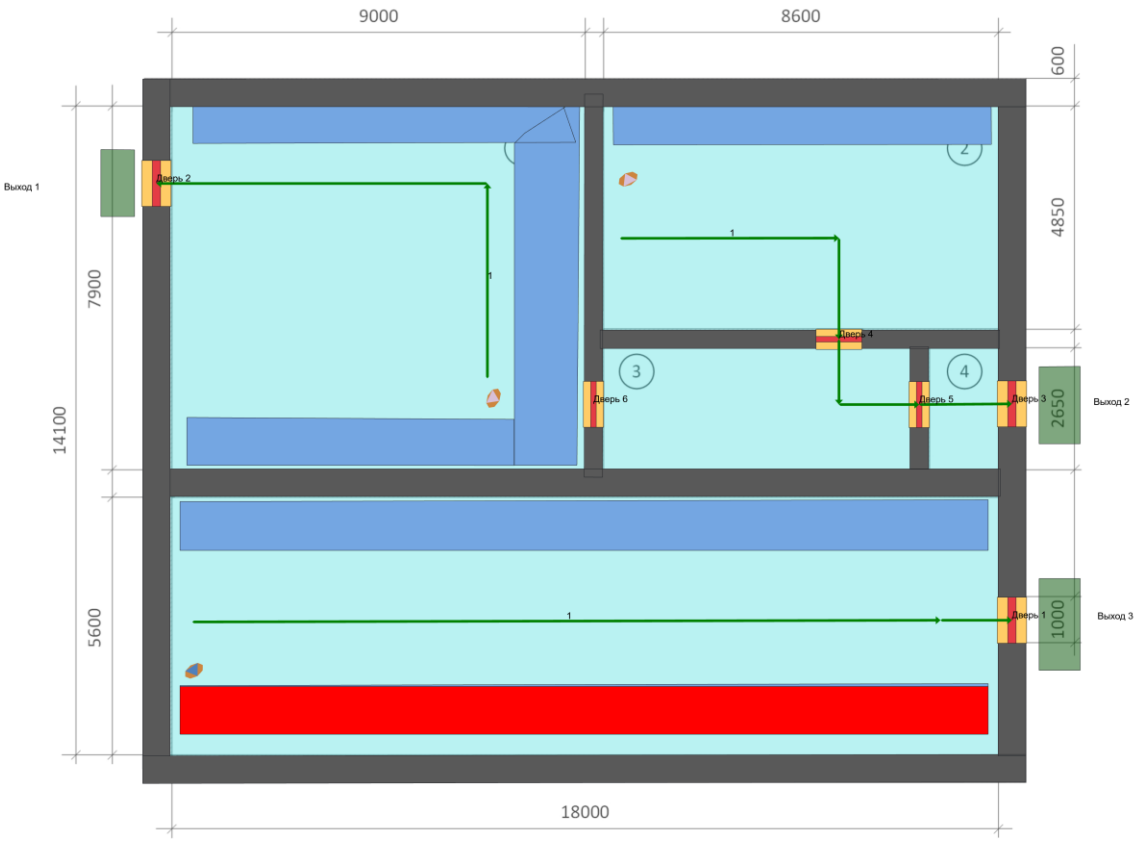


Рисунок 75. Этаж 1. Схема эвакуации.