

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ
ИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ****THE FEATURES OF THE PROCESS OF EVACUATION OF PEOPLE
FROM THE PRODUCTION ROOM IN CASE OF FIRE**

*Русских Д.В., кандидат технических наук,
Вытовтов А.В., Шевцов С.А., доктор технических наук,
Воронежский институт – филиал ФГБОУ ВО
Ивановской пожарно-спасательной академии
ГПС МЧС России, Воронеж*

*Russkikh D.V., Vitovtov A.V., Shevtsov S.A.,
The Voronezh Institute – the affiliate of Ivanovo Fire and Rescue Academy
of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia, Voronezh*

В статье приведены результаты исследования зависимости времени блокирования путей эвакуации от производительности противодымной вентиляции и расположения клапанов дымоудаления, полученные на основе имитационного моделирования в различном факторном пространстве исходных данных процесса распространения опасных факторов пожара в помещении класса функциональной пожарной опасности Ф 5.1, в котором размещена замкнутая технологическая линия по производству ламинированных напольных покрытий и одновременно могут находиться на различных отметках до 40 человек. Моделирование динамики опасных факторов пожара производилось для двух различных систем обеспечения пожарной безопасности исследуемого объекта защиты, одна из которых предусмотрена проектом и специальными техническими условиями, а вторая разработана авторами статьи. В обоих случаях учитывались наиболее неблагоприятные сценарии развития пожара.

На основе регрессионного анализа результатов моделирования пожара построены соответствующие математические зависимости времени блокирования путей эвакуации по семи опасным факторам пожара от производительности исследуемых в работе систем противодымной вентиляции. Эффективность выполненной работы подтверждена моделированием процесса эвакуации людей из производственного помещения и расчетом величин индивидуального пожарного для всех рассмотренных сценариев развития пожара.

Ключевые слова: пожар в помещении, путь эвакуации, объект защиты, система обеспечения пожарной безопасности, противодымная вентиляция, фактическое время эвакуации, необходимое время эвакуации, индивидуальный пожарный риск.

In the article the results of study of dependence of time of blocking the escape routes on the performance of smoke ventilation and the location of smoke removal valves, obtained on the basis of simulation in different factor space of the initial data of the process of spread of fire hazards in the room of the functional fire hazard class F 5.1, which houses a closed technological line for the production of laminated floor coverings, and at the same time can be at different levels up to 40 people, are presents. Simulation of the dynamics of fire hazards was carried out for two different systems of fire safety of the object of protection, one of which is provided by the project and special

technical conditions, and the second developed by the authors. In both cases, the most adverse fire scenarios were taken into account.

On the basis of the regression analysis of the results of fire simulation, the corresponding mathematical dependences of the time of blocking the escape routes for seven fire hazards on the performance of the smoke ventilation systems studied in the work are constructed. The effectiveness of the work performed is confirmed by modeling the process of evacuation of people from the production room and calculating the values of the individual fire risk for all considered scenarios of fire development.

Keywords: fire in the room, evacuation route, object of protection, fire safety system, smoke ventilation, actual evacuation time, required evacuation time, individual fire risk.

Действующим законодательством в области пожарной безопасности, в том числе Федеральным законом от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», введено понятие допустимого пожарного риска, которое подразумевает гибкий подход к выбору конкретных организационно-технических мероприятий в области пожарной безопасности [1]. Задача их разработки полностью лежит на руководителе объекта защиты вне зависимости от формы собственности и его функционального назначения. В связи с этим актуальной и важной задачей является разработка мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, исключая возможность превышения значений допустимого пожарного риска.

Цель данной работы заключалась в выявлении особенностей процесса эвакуации людей из производственного помещения при пожаре на основе анализа эффективности различных систем обес-

печения пожарной безопасности на примере действующего объекта защиты – завода по производству ламинированных напольных покрытий.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- проверка соответствия исходных данных требованиям нормативных документов по пожарной безопасности на примере выбранного объекта исследования;

- исследование зависимости времени блокирования путей эвакуации от производительности и расположения противодымной вентиляции;

- регрессионный анализ результатов моделирования;

- обоснование расчетными способами оценки эффективности выполненной работы.

Основные показатели исследуемого объекта защиты представлены в таблице 1.

Таблица 1
Основные показатели исследуемого объекта защиты

№ п/п	Наименование	Ед. измерения	Показатели
1	Площадь участка в границах отвода	Га	3,3
2	Площадь застройки зданий на территории	м ²	33100
3.1	Общая площадь производственного корпуса (пожарный отсек I)	м ²	19297,5
3.2	Строительный объем производственного корпуса (пожарный отсек I)	м ³	217370
4.1	Общая площадь склада готовой продукции (пожарный отсек II)	м ²	9327,9
4.2	Строительный объем склада готовой продукции (пожарный отсек II)	м ³	108830

5.1	Общая площадь административно-бытового корпуса (пожарный отсек III)	м ²	2851,68
5.2	Строительный объем административно-бытового корпуса (пожарный отсек III)	м ³	10284,7

План производственного помещения представлен на рисунке 1.

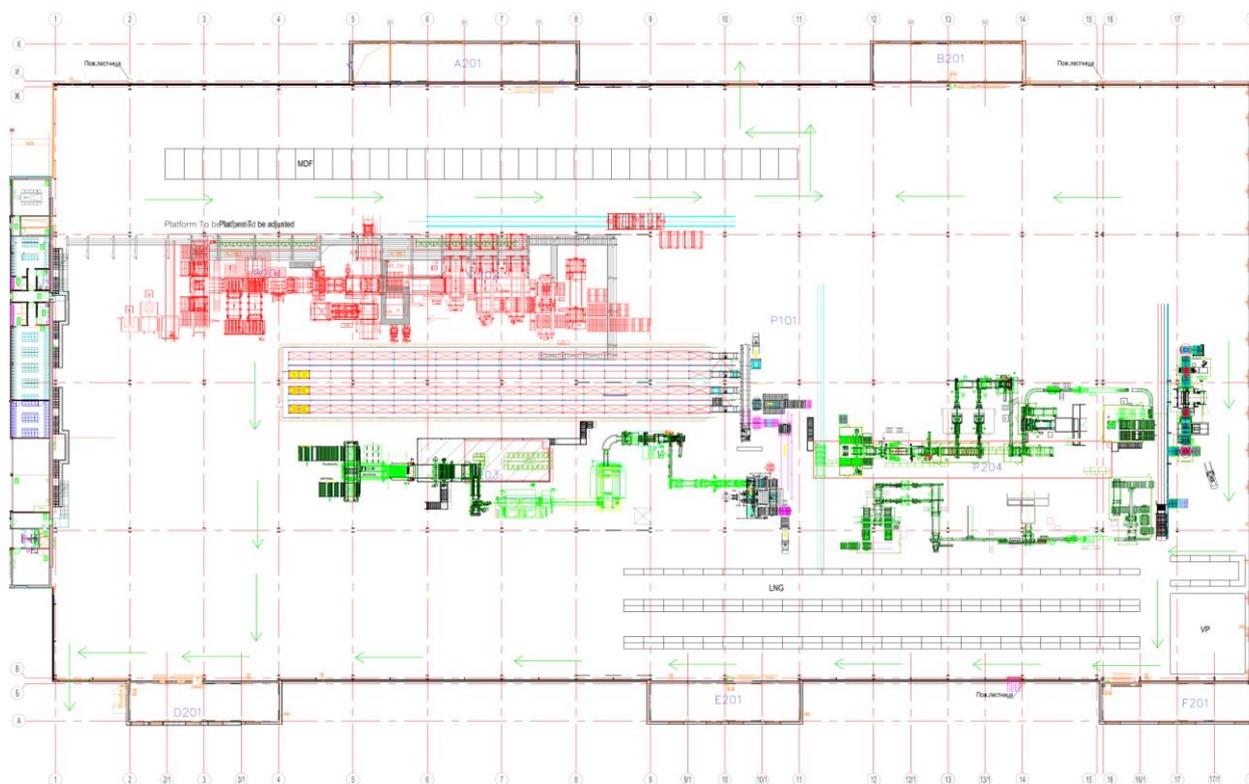


Рисунок 1. План производственного помещения

Выбор указанного объекта исследования был обусловлен следующими факторами:

- большая площадь цеха и протяженность путей эвакуации;
- насыщенность технологическим оборудованием и, как следствие, большая энергонасыщенность;
- не выделенная противопожарными преградами зона высотного стеллажного хранения размерами 12×72,0 м² и высотой 9,5 м, предусмотренная специальными техническими условиями;
- наличие площадок для обслуживания технологического оборудования на высоте 3 м в непосредственной близости от зоны высотного стеллажного хранения горючего материала – досок ламината;
- металлические фермы, располагающиеся непосредственно над зоной

высотного стеллажного хранения на высоте 9,6 м не обработаны огнезащитным составом, следовательно, имеют предел огнестойкости не более EI 15;

- отсутствие деления помещения на дымовые зоны противопожарными преградами и нерациональное расположение люков дымоудаления;
- одновременное присутствие в цехе до 40 человек на различных отметках.

Помимо этого есть основания полагать, что отсутствие деления цеха на дымовые зоны, в частности, отсутствие противопожарной преграды между зоной высотного стеллажного хранения и производственной линией, не обеспечит безопасной эвакуации людей, находящихся на технологических площадках на высоте 3 м в непосредственной близости от зоны

высотно-стеллажного хранения. Пути эвакуации будут блокироваться по потере видимости и предельной плотности теплового потока.

Перечисленные предположения использовались в качестве базовой гипотезы для дальнейших исследований.

Для уточнения и проверки адекватности выдвинутой гипотезы решались следующие задачи:

- проверка соответствия объёмно-планировочных решений, путей эвакуации и противодымной защиты требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;
- определение наиболее опасных сценариев пожара в производственном помещении;
- моделирование динамики распространения опасных факторов пожара;
- определение вероятности эвакуации людей из производственного здания на основе результатов моделирования.

В результате экспертизы объёмно-планировочных решений производственного помещения выявлены следующие отступления:

- допущено размещение не выделенной противопожарными преградами зоны высотно-стеллажного хранения в производственном цехе размерами $12 \times 72,0 \text{ м}^2$ и высотой 9,5 м (СП 4.13130.2013 п. 4.2) [2], предусмотрено специальными техническими условиями;
- группы штабелей площадью более 180 м^2 (по факту 864 м^2) не отделены между собой продольными и поперечными разрывами шириной не менее 5 м (СП 4.13130.2013 п. 6.8.2) [2];
- помещение цеха включает в себя зоны технологических процессов различ-

ных классов взрывопожарной и пожарной опасности: П-I; П-II; П-IIIa (СП 4.13130.2013 п. 6.2.10) [2].

В результате экспертизы эвакуационных путей и выходов из производственного помещения ООО «ЮНИЛИН» выявлены следующие отступления:

- помещение категории В1 площадью $18668,9 \text{ м}^2$ имеет два эвакуационных выхода (в разделе 9 проектной документации указано 7 эвакуационных выходов), в помещении одновременно может находиться до 40 человек;
- расстояние от наиболее удаленной точки помещения с инженерным оборудованием до эвакуационного выхода из здания 155 м (СП 1.13130.2009 п. 9.2.4, табл. 29) [3].

Выявленные отступления от требований нормативных документов по пожарной безопасности уточняют и подтверждают выдвинутую гипотезу. В связи с этим дальнейшие исследования по проверке выдвинутой гипотезы были продолжены.

В ходе исследования были определены наиболее опасные сценарии пожара в производственном помещении.

Сценарий 1 – возникновение пожара в зоне высотно-стеллажного хранения досок МДФ высотой до 9,5 м. В непосредственной близости расположена технологическая площадка, на которой, согласно технической документации, может находиться до пяти человек, задействованных в проведении ежедневных работ, и предусмотрен один эвакуационный выход, ведущий на уровень первого этажа 0.000 м (выделен желтым цветом на рисунке 2).



Рисунок 2. Расположение эвакуационного выхода с технологической площадки на уровень первого этажа 0.000 м

На основе результатов моделирования распространения ОФП по сценарию 1 установлено, что блокировка эвакуационного выхода с технологической площадки достигается на 23 секунде пожара по предельно допустимому значению теплового потока (рисунок 3). С учетом коэффициента безопасности 0,8 необходимое время эвакуации составляет 18,4 сек. Протяженность площадки с од-

ним эвакуационным выходом составляет 50 м, следовательно, при максимальной скорости движения людского потока равной 100 м/мин рабочий попадет к лестнице через 30 сек.

Выдвинутая гипотеза доказана. При использовании существующих объемно-планировочных решений вероятность эвакуации стремится к нулю.

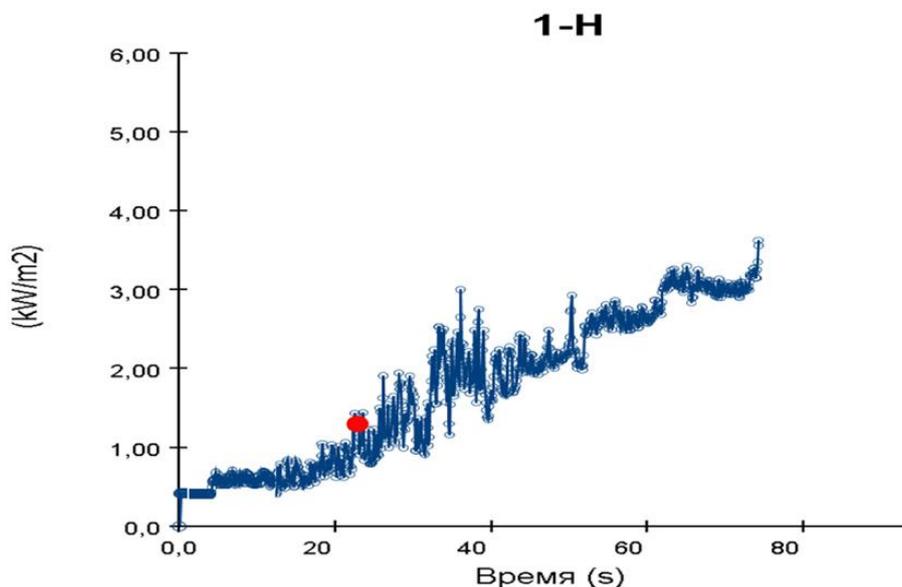


Рисунок 3. Зависимость плотности теплового потока от времени пожара

Для обеспечения безопасной эвакуации людей необходимо оборудовать технологические площадки вторым эвакуационным выходом.

Выявленное превышение плотности теплового потока при пожаре может

быть исправлено противопожарными шторами, отделяющими в случае пожара зону высотного хранения досок МДФ от технологических площадок. Эти мероприятия внедрены для защиты людей в сценарии 2.

Сценарий 2 – возникновение пожара на технологической линии на отметке 0.000 м, загорается индустриальное масло, которое является наиболее пожароопасным из всех веществ и материалов [4], применяемых для производства ламината.

В рамках данного сценария, из-за превышения максимального расстояния от наиболее удаленного рабочего места до ближайшего эвакуационного выхода, было добавлено два эвакуационных выхода из помещения непосредственно наружу и в дальнейшем они учитывались при расчете фактического времени эвакуации.

По сценарию 2 горящая технологическая линия блокирует эвакуацион-

ный выход на отметке 0.000 м, показанный на рисунке 4.

Моделирование процесса распространения опасных факторов пожара на исследуемом объекте защиты проводилось для двух вариантов функционирования системы противодымной вентиляции.

Система 1 – принятые в проекте крышные вентиляторы дымоудаления в количестве шести штук с расходом $2 \text{ м}^3/\text{с}$ каждый. Исходя из технических возможностей доработки системы дымоудаления, учитывалось варьирование расхода вентиляторов от 1 до $10 \text{ м}^3/\text{с}$ каждый, которого можно добиться частотными регуляторами и заменой двигателя, без изменения расположения и сечения клапанов. Схема представлена на рисунке 5.



Рисунок 4. Эвакуационный выход из производственного помещения, блокируемый опасными факторами пожара по сценарию 2

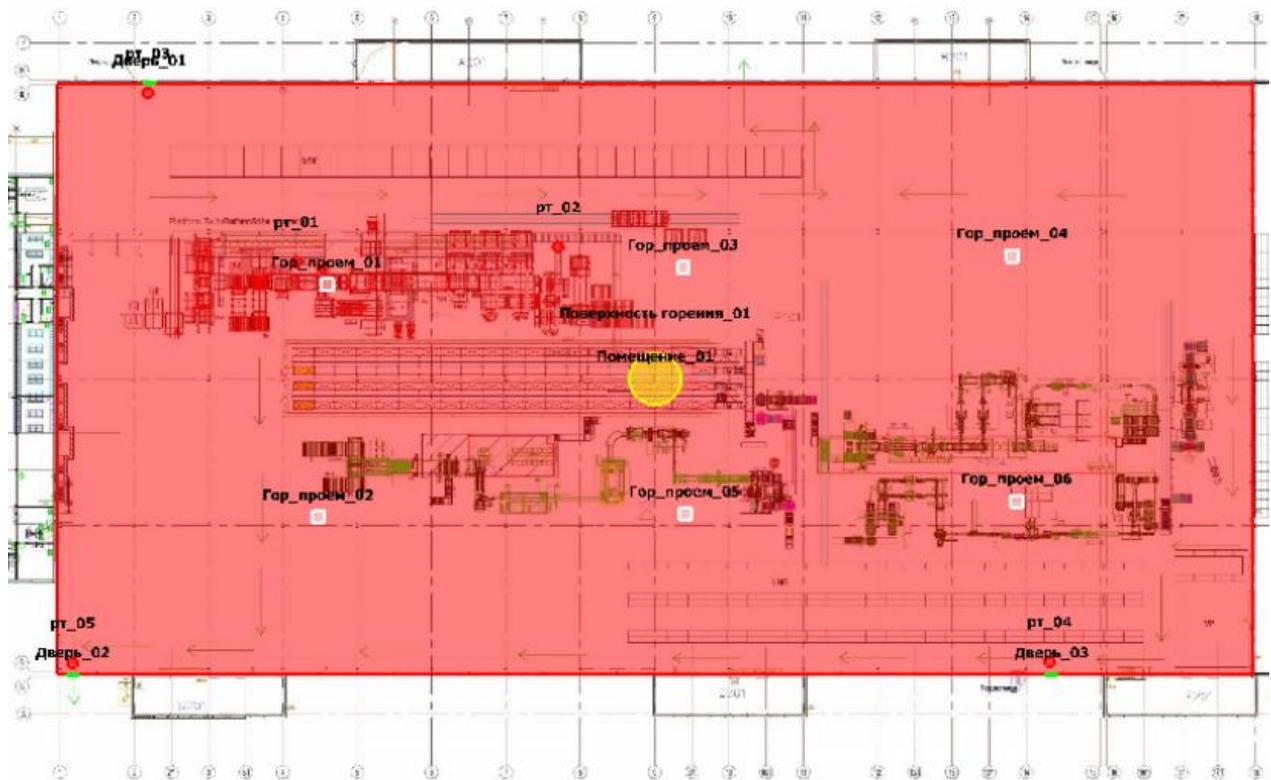


Рисунок 5. Схема моделирования распространения опасных факторов пожара по сценарию 2: желтым цветом обозначен очаг пожара, белым – расположение клапанов дымоудаления

Сводный график критической продолжительности пожара для системы 1 с

постоянным расходом крышных вентиляторов $2 \text{ м}^3/\text{с}$ представлен на рисунке 6.

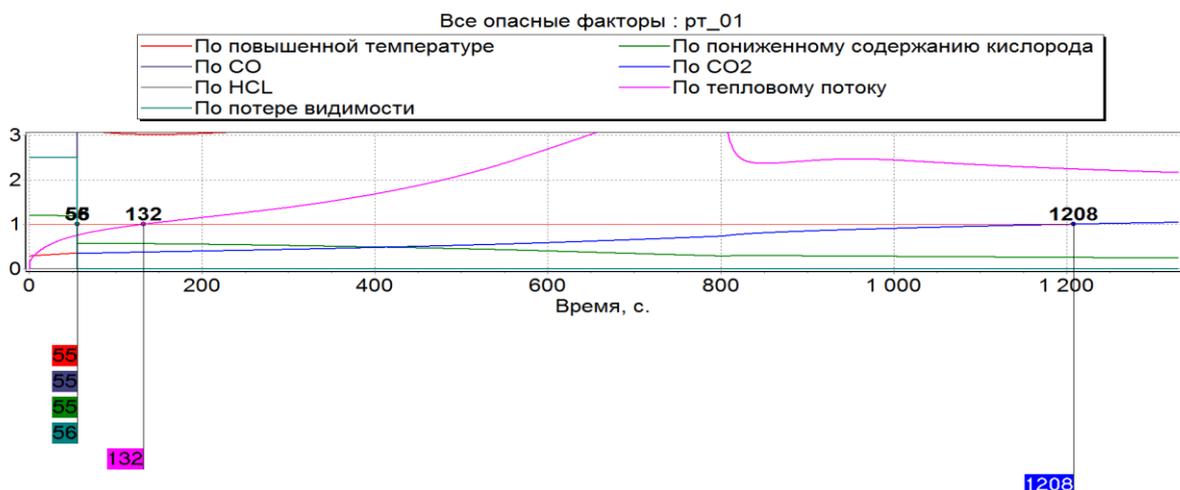


Рисунок 6. Сводный график критической продолжительности пожара для системы 1 с постоянным расходом крышных вентиляторов $2 \text{ м}^3/\text{с}$

Для системы 1 установлено, что время блокирования путей эвакуации во всех расчетных точках меньше времени,

необходимого для безопасной эвакуации людей (рисунки 7, 8).

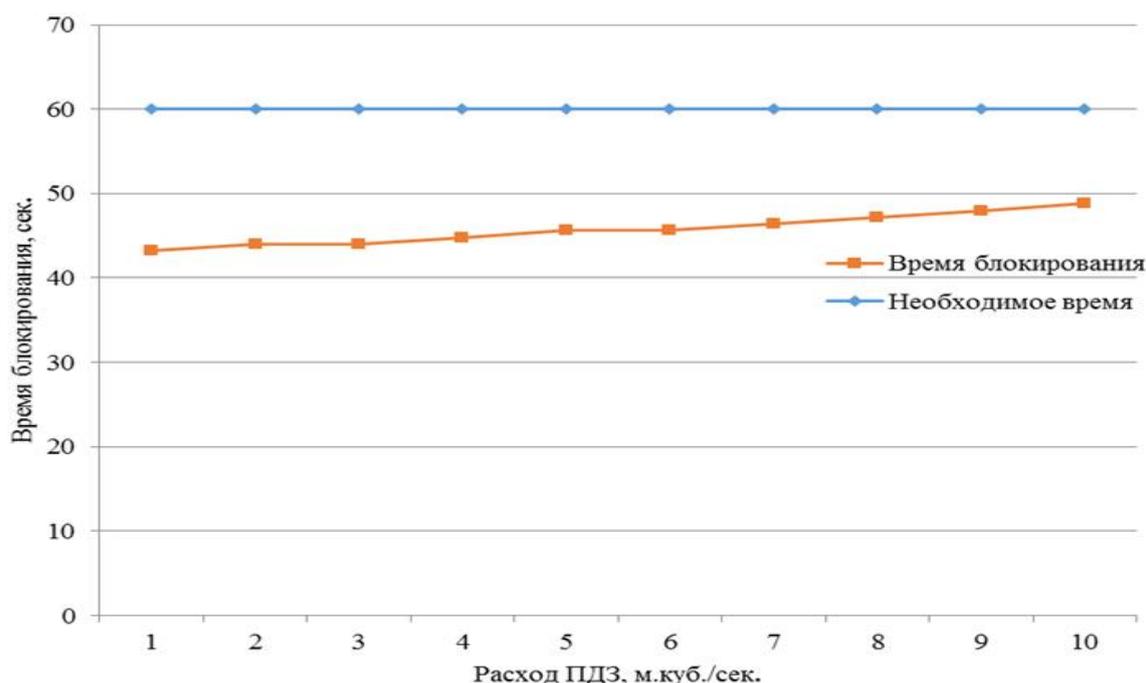


Рисунок 7. Время блокирования путей эвакуации в расчетных точках Pm_1 , Pm_2 и время, необходимое для безопасной эвакуации людей с технологических площадок для системы 1

Система 2 – дополнительно к имеющимся крышным вентиляторам предложены еще восемь, четыре из которых размещены над технологической линией на высоте 9,6 м, и по два в каждой

дымовой зоне, предложенной в исследовании. Вариативность суммарного расхода для предложенных восьми клапанов составляет от 10 до 100 м³/с.

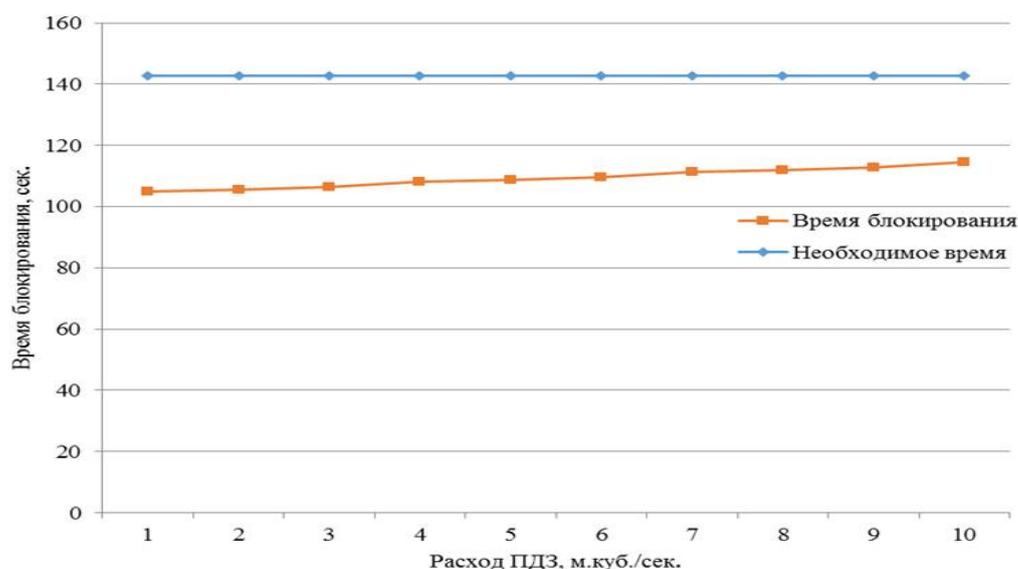


Рисунок 8. Время блокирования путей эвакуации в расчетных точках Pm_3 , Pm_4 , Pm_5 и время, необходимое для безопасной эвакуации людей из производственного помещения для системы 1

Для системы 2 установлено, что от $15 \text{ м}^3/\text{с}$ любой из предложенных режимов работы системы обеспечивает безопас-

ную эвакуацию людей с технологических площадок (рисунок 9).

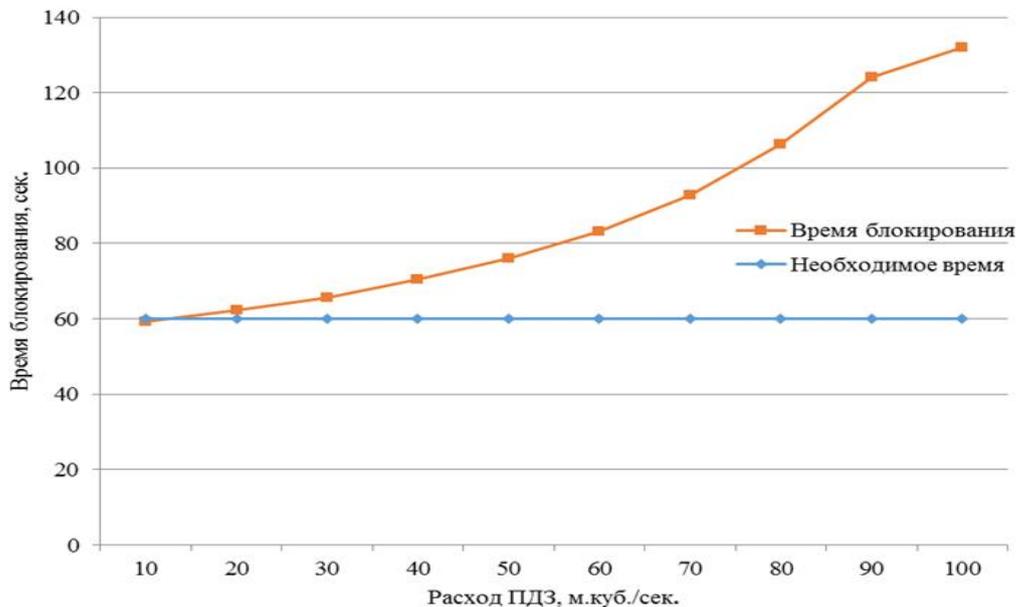


Рисунок 9. Время блокирования путей эвакуации в расчетных точках Pm_1 , Pm_2 и время, необходимое для безопасной эвакуации людей с технологических площадок для системы 2

Из данных рисунка 10 видно, что совмещение графиков произошло около значения расхода $55 \text{ м}^3/\text{с}$. Данное и последующие (большие) значения расхода предложенных клапанов дымоудаления

удовлетворяют требованиям пожарной безопасности и позволяют обеспечить безопасную эвакуацию людей из производственного помещения при пожаре.

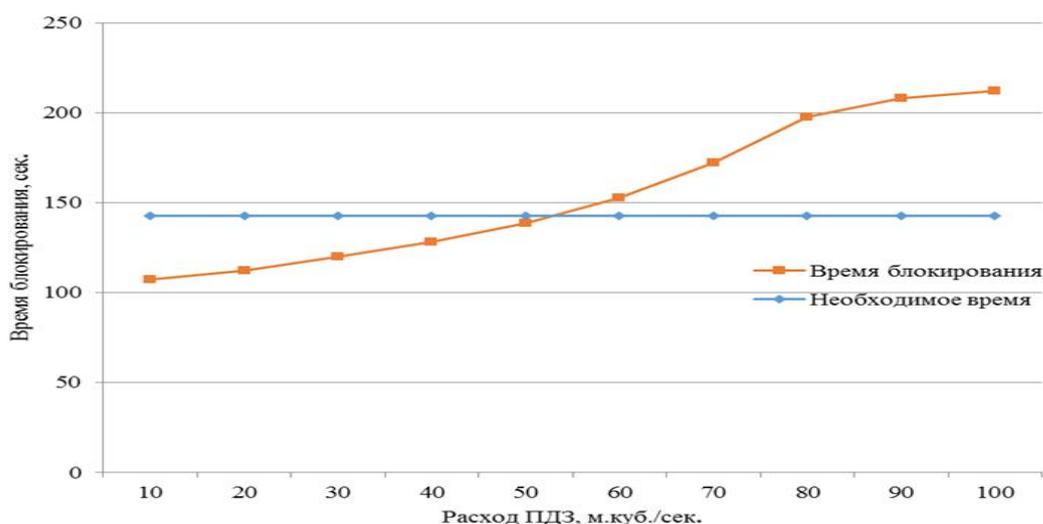


Рисунок 10. Время блокирования путей эвакуации в расчетных точках Pm_3 , Pm_4 , Pm_5 и время, необходимое для безопасной эвакуации людей из производственного помещения для системы 2

На основании моделирования динамики пожара для системы 2 построены регрессионные уравнения, позволяющие описать значение времени блокирования эвакуационных путей в расчетных точках в среднем факторном пространстве. Времена достижения каждым опасным фак-

тором пожара его предельно допустимого значения представлено в виде полиномиальных зависимостей третьей степени и сведено для расчетных точек РТ_1 и РТ_2 в систему (1), а для расчетных точек РТ_3, РТ_4, РТ_5 в систему (2).

$$t_{\text{бл РТ1,2}} = \min \left[\begin{array}{l} t_{\text{кр}}^T = -0,0033 \cdot x^3 + 1,1037 \cdot x^2 - 1,453 \cdot x + 75,5; R^2 = 0,9944 \\ t_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = -0,0033 \cdot x^3 + 1,1037 \cdot x^2 - 1,453 \cdot x + 75,5; R^2 = 0,9944 \\ t_{\text{кр}}^{\text{CO}} = -0,0033 \cdot x^3 + 1,1037 \cdot x^2 - 1,453 \cdot x + 75,5; R^2 = 0,9944 \\ t_{\text{кр}}^{\text{CO}_2} = 1,4889 \cdot x^3 - 56,442 \cdot x^2 + 596,3 \cdot x + 542,8; R^2 = 0,9058 \\ t_{\text{кр}}^{\text{HCL}} > 2400 \\ t_{\text{кр}}^{\text{AT}} = -0,2902 \cdot x^3 + 5,6066 \cdot x^2 - 14,8 \cdot x + 146,83; R^2 = 0,9907 \\ t_{\text{кр}}^V = -0,0033 \cdot x^3 + 1,1037 \cdot x^2 - 1,4536 \cdot x + 76,5; R^2 = 0,9944 \end{array} \right]; (1)$$

$$t_{\text{бл РТ3,4,5}} = \min \left[\begin{array}{l} t_{\text{кр}}^T = -14,995 \cdot x^3 + 271,05 \cdot x^2 - 1103 \cdot x + 1386,4; R^2 = 0,8892 \\ t_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = -18,185 \cdot x^3 + 295,01 \cdot x^2 - 1026,3 \cdot x + 1215,5; R^2 = 0,9004 \\ t_{\text{кр}}^{\text{CO}} = -11,8 \cdot x^3 + 159,97 \cdot x^2 - 233,83 \cdot x + 338,9; R^2 = 0,8802 \\ t_{\text{кр}}^{\text{CO}_2} = 1,4889 \cdot x^3 - 56,442 \cdot x^2 + 596,3 \cdot x + 542,8; R^2 = 0,9058 \\ t_{\text{кр}}^{\text{HCL}} > 2400 \\ t_{\text{кр}}^{\text{AT}} = -0,2902 \cdot x^3 + 5,6066 \cdot x^2 - 14,8 \cdot x + 146,83; R^2 = 0,9907 \\ t_{\text{кр}}^V = -15,635 \cdot x^3 + 248,12 \cdot x^2 - 789,41 \cdot x + 998,3; R^2 = 0,9117 \end{array} \right]; (2)$$

где x – суммарный расход восьми дополнительных вентиляторов противодымной вентиляции, м³/с;

R^2 – достоверность аппроксимации полученной математической модели к исходным данным.

Расчет фактического времени эвакуации был произведен на основе моделирования процесса эвакуации с использованием имитационно-стохастической модели. Схема представлена на рисунке 11.

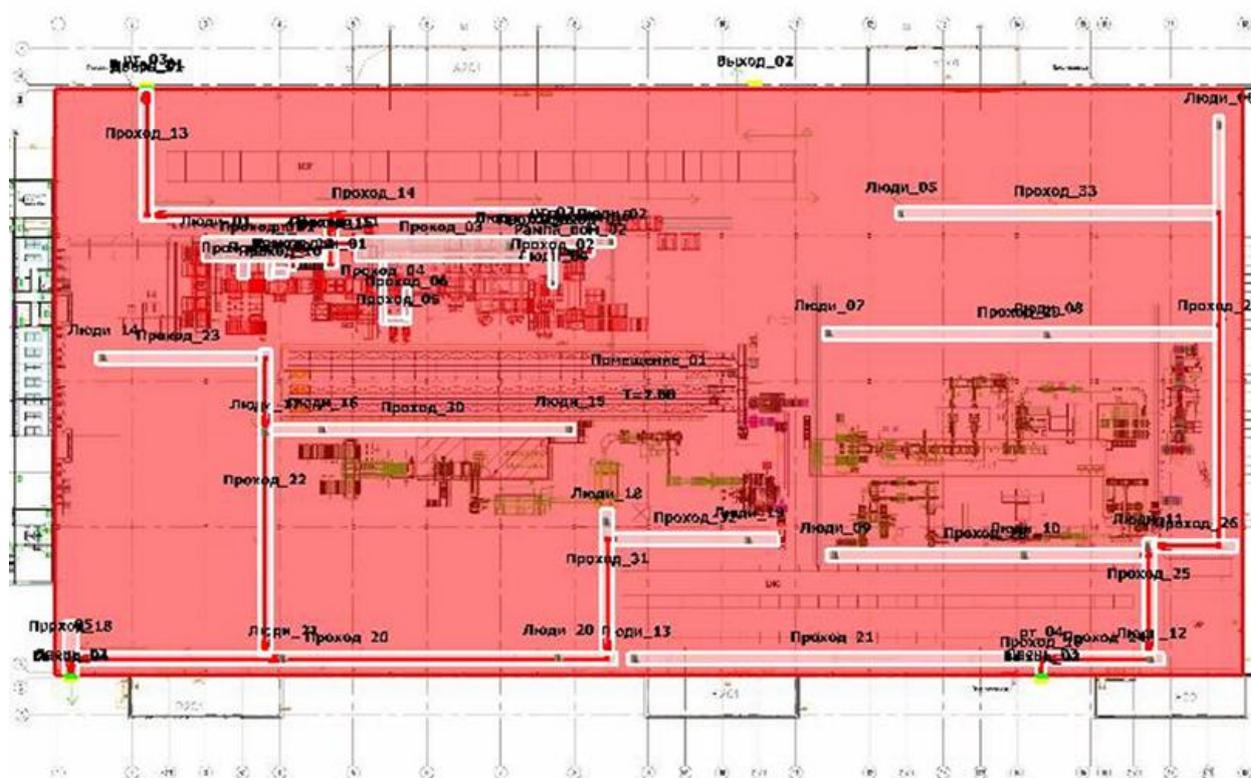


Рисунок 11. Расчетная схема процесса эвакуации из производственного помещения

Процесс эвакуации показан на рисунках 12-14.

В ходе моделирования процесса эвакуации из производственного помещения установлено фактическое (расчетное) время эвакуации:

- через «Выход_01» – 1,83 мин (6 чел.),

- через «Выход_03» – 2,38 мин (18 чел.);

- через «Выход_04» – 2,00 мин (16 чел.).

Максимальное время выхода из помещения 2,38 мин (фактическое время эвакуации через «Выход_03»).

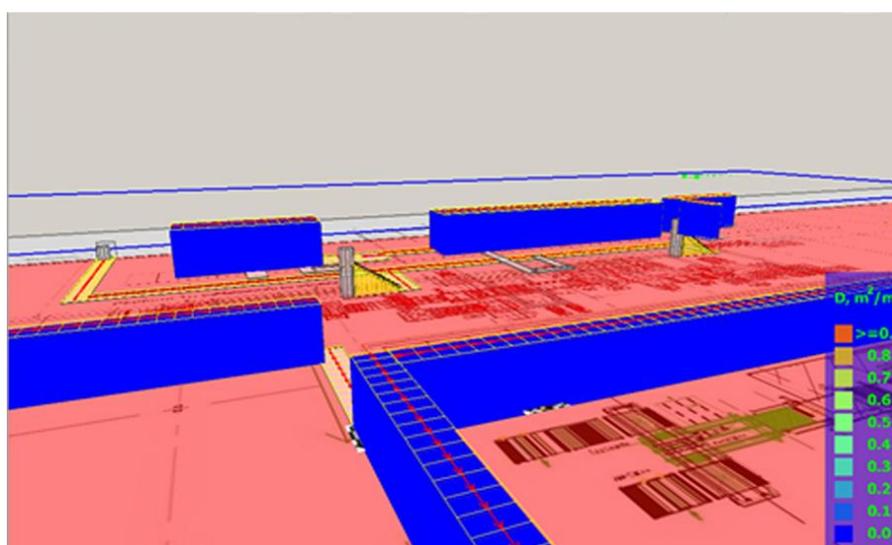


Рисунок 12. Моделирование процесса эвакуации из производственного помещения – начало эвакуации

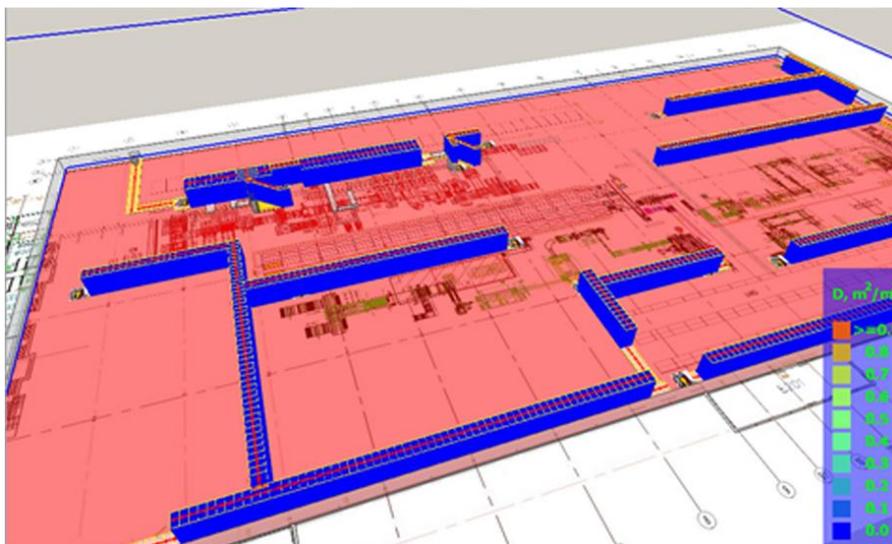


Рисунок 13. Моделирование процесса эвакуации из производственного помещения – движение по эвакуационным проходам

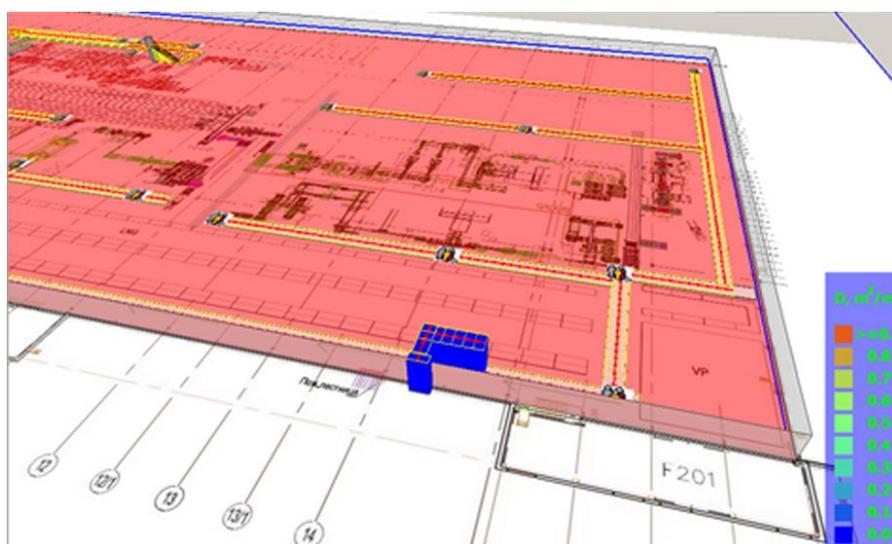


Рисунок 14. Моделирование процесса эвакуации из производственного помещения – завершение эвакуации

Для обоснования необходимости и достаточности предложенных в ходе работы противопожарных мероприятий произведен расчет величины индивидуального пожарного риска в производственном помещении [5-6] для двух исследованных сценариев пожара.

Установлено, что величина индивидуального пожарного риска для первого сценария $9,3 \cdot 10^{-4}$ превышает нормативное значение, установленное Федеральным законом от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017). Это в очередной раз

доказывает выдвинутую базовую гипотезу и указывает на необходимость разработки дополнительных противопожарных мероприятий.

Величина индивидуального пожарного риска для второго сценария $9,3 \cdot 10^{-7}$ ниже нормативного значения, установленного Федеральным законом от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017), что обосновывает достаточность предложенных в работе технических решений для обеспечения безопасной эвакуации людей из производственного помещения.

На основании результатов проведенных исследований собственнику завода по производству ламинированных напольных покрытий было рекомендовано переработать специальные технические условия и предусмотреть следующие противопожарные мероприятия в производственном помещении завода:

- разделить производственное помещение на дымовые зоны, отделив противопожарными шторами зону высотного хранения от производственной линии;

- добавить вторую эвакуационную лестницу с технологической площадки, расположенной в непосредственной близости с зоной высотного хранения;

- добавить два эвакуационных выхода из производственного помещения непосредственно наружу;

- добавить восемь клапанов (люков) дымоудаления, суммарной производительностью не менее 55 м³/с, расположенных над технологической площадкой и в дымовых зонах.

Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федер. закон от 22.07.08 № 123-ФЗ // Российская газета. 2008. № 163; Собр. законодательства РФ. 2008. № 30 (Ч. I). Ст. 3579.
2. СП 4.13130.2013 Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям: свод правил; утв. Приказом МЧС России от 24.04.2013 № 288.
3. СП 1.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы: свод правил; утв. Приказом МЧС России от 25.03.2009 № 171.
4. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения: справочник в 2 ч.; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Пожнаука, 2004. Ч. 1. 713 с. Ч. 2. 774 с.
5. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 (ред. от 14.12.2010): зарегистрирован в Минюсте РФ 17.08.2009 № 14541.
6. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». М.: ВНИИПО, 2014. 247 с.

References

1. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: feder. zakon ot 22.07.08 №123-FZ // Rossijskaya gazeta. 2008. № 163; Sobr. zakonodatel'stva RF. 2008. № 30 (Ch. I). St. 3579.
2. SP 4.13130.2013 Sistemy protivopozharnoj zashchity. Ogranichenie rasprostraneniia pozhara na ob'ektakh zashchity. Trebovaniia k ob'emno-planirovochnym i konstruktivnym resheniiam: svod pravil; utv. Prikazom MCHS Rossii ot 24.04.2013 № 288.
3. SP 1.13130.2009 Sistemy protivopozharnoj zashchity. Evakuatcionnye puti i vykhody: svod pravil; utv. Prikazom MCHS Rossii ot 25.03.2009 № 171.
4. Korol'chenko A.IA., Korol'chenko D.A. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstv ikh tusheniia: spravochnik v 2 ch.; 2-e izd., pererab. i dop. M.: Pozhnauka, 2004. Ch. 1. 713 s. Ch. 2. 774 s.
5. Ob utverzhenii metodiki opredeleniia raschetnykh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennykh ob'ektakh: prikaz MCHS Rossii ot 10.07.2009 № 404 (red. ot 14.12.2010): zaregistrovan v Miniuste RF 17.08.2009 № 14541.
6. Posobie po primeneniiu "Metodiki opredeleniia raschetnykh velichin pozharnogo riska v zdaniiax, sooruzheniiax i stroeniiax razlichnykh klassov funktsional'noi pozharnoi opasnosti". M.: VNIPO, 2014. 247 s.