

УДК 004.942

Оценка эффективности системы аварийной вентиляции в производственном помещении порошковой покраски

Пожаркова И.Н.,¹ канд. техн. наук, доцент; Авдеев А.Н.¹; Беляк А.Л.,² канд. техн. наук

¹*ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России*

²*ФГКОУ ВО Восточно-сибирский институт МВД России*

Аннотация. В статье произведена оценка эффективности системы аварийной вентиляции в производственном помещении порошковой покраски в среде динамического моделирования SimInTech. Построено дерево сценариев развития пожароопасных ситуаций для камеры порошковой покраски, произведен расчет соответствующих частот реализации. Построены функциональные модели аварийной вентиляции, предназначенной для снижения концентрации взрывоопасной пылевой взвеси до допустимых значений. Представлена имитационная модель системы автоматического управления аварийной вентиляцией в среде SimInTech. Показана эффективность представленной модели на основе проведенного моделирования.

Ключевые слова: пожарная безопасность, дерево сценариев, аварийная вентиляция, моделирование, SimInTech.

Efficiency evaluation of the emergency ventilation system in the production room of powder painting

Pozharkova I.N.,¹ Ph.D. of Engineering Sciences, Docent; Avdeev A.N.¹;

Belyak A.L.² Ph.D. of Engineering Sciences

¹*FSBEE HE Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia*

²*East Siberian Institute of the MIA of Russia*

Abstract. The article assessed the efficiency of the emergency ventilation system in the production area of powder painting in the SimInTech environment. A tree of scenarios for the development of fire hazard situations for the powder painting chamber was built, the corresponding implementation frequencies were calculated. Functional models of emergency ventilation designed to reduce the concentration of explosive dust suspension to permissible values have been built. Simulated model of automatic emergency ventilation control system in SimInTech environment is presented. The efficiency of the presented model based on the simulation is shown.

Key words: fire safety, scenario tree, emergency ventilation, modeling, SimInTech.

Порошковая покраска в настоящее время является одним из самых распространенных методов формирования полимерных покрытий на различных изделиях. При этом, в соответствующих технологических процессах используется порошок, который может образовывать взрывоопасную пылевоздушную смесь [1]. В случае аварийной разгерметизации покрасочного оборудования с выбросом порошковой краски может произойти ее воспламенение и взрыв. Поэтому для снижения пожарных рисков в цехах покраски используются различные меры противопожарной защиты [2], в частности, автоматическими установками пожаротушения оборудуются циклоны и сушильные камеры, которые применяются в технологическом процессе порошковой покраски [3]. Однако, данные защитные мероприятия не всегда эффективны при воспламенении пылевоздушной смеси, которое может привести к взрыву.

На рис. 1 представлен фрагмент дерева сценариев развития пожароопасных ситуаций [4] для камеры порошковой покраски.

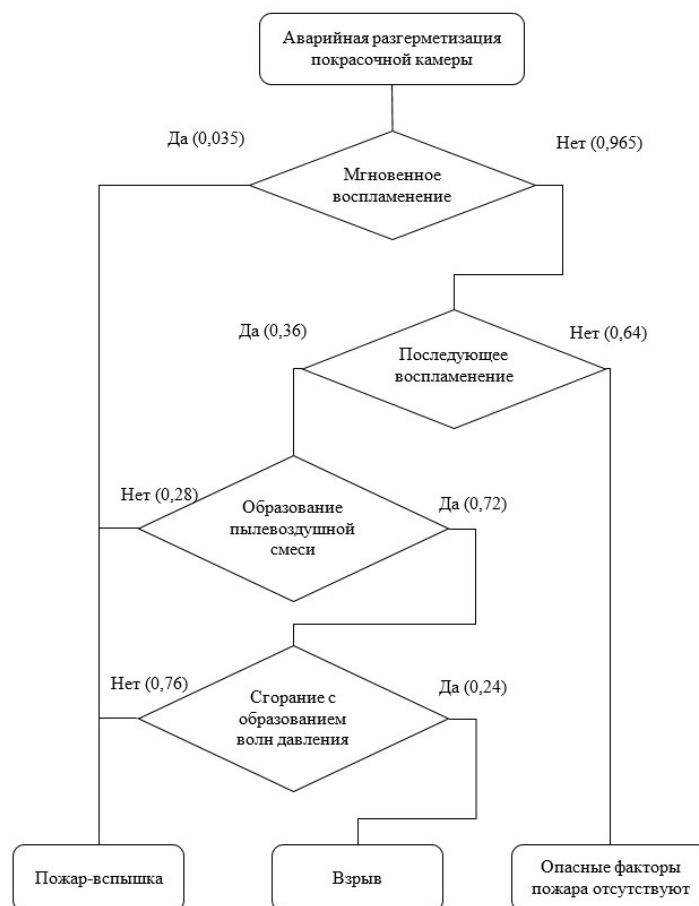


Рис. 1. Фрагмент дерева сценариев развития пожароопасных ситуаций для камеры порошковой покраски

На основе построенного дерева определим вероятности и частоты реализации каждого из представленных сценариев.

Вероятность события «Опасные факторы пожара отсутствуют»:

$$P_1 = 0,965 \cdot 0,64 = 0,6176$$

Вероятность события «Взрыв»:

$$P_2 = 0,965 \cdot 0,36 \cdot 0,72 \cdot 0,24 = 0,06$$

Вероятность события «Пожар-вспышка»:

$$P_3 = 1 - 0,6176 - 0,06 = 0,3224$$

Частота возникновения события «Опасные факторы пожара отсутствуют» при аварийной разгерметизации покрасочной камеры:

$$Q_1 = P_1 \cdot Q = 0,6176 \cdot 1,14 \cdot 10^{-4} = 0,7 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$$

Частота возникновения события «Взрыв» при аварийной разгерметизации покрасочной камеры:

$$Q_2 = P_2 \cdot Q = 0,06 \cdot 1,14 \cdot 10^{-4} = 0,68 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$$

Частота возникновения события «Пожар-вспышка» при аварийной разгерметизации покрасочной камеры:

$$Q_3 = P_3 \cdot Q = 0,3224 \cdot 1,14 \cdot 10^{-4} = 0,36 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$$

Как видно, частота возникновения события «Взрыв» для цеха порошковой покраски находится на высоком уровне, поэтому для подобных объектов целесообразно внедрять меры защиты, направленные на предотвращение взрыва. Согласно [5] одним из вариантов таких мер является использование аварийной системы вентиляции, позволяющей поддерживать в помещении концентрацию

пыли, не превышающую 10% НКПРП пылевоздушных смесей [6]. Функциональная схема аварийной системы вентиляции представлена на рис. 2.

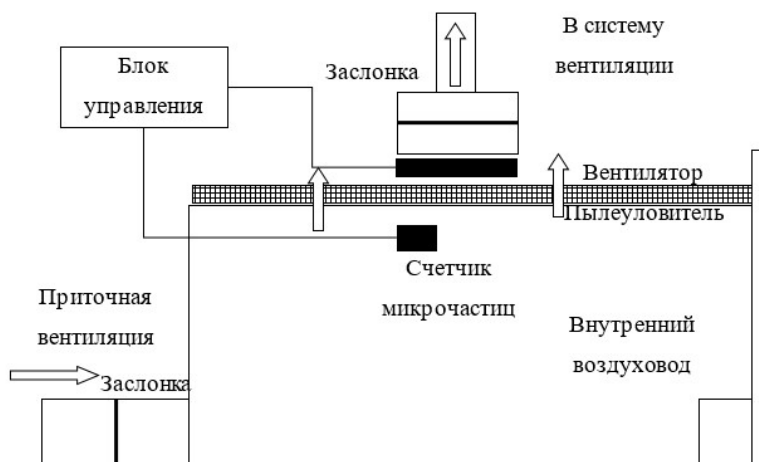


Рис. 2. Функциональная схема системы аварийной вентиляции

На выход воздуховодов, ведущих в покрасочный цех, монтируются управляемые заслонки, которые способны частично или полностью изолировать помещение от общей системы вентиляции. Также под потолком помещения устанавливается мощный промышленный вентилятор, ниже него – система пылеуловителей. Создаваемая вентилятором тяга, обеспечивает поток воздуха через пылеуловители, реализуя таким образом его очистку. В самом помещении возле защищаемого оборудования устанавливаются датчики пыли (счетчики микрочастиц), которые подключаются к блоку управления. В зависимости от показаний датчика блок генерирует управляющие сигналы вентилятору, который увеличивает скорость циркуляции воздуха и, соответственно, степень его очистки. При таком решении система аварийной вентиляции полностью автономна и срабатывает по сигналу датчиков при превышении предельно-допустимой концентрации пыли в воздухе.

Схема системы автоматического управления аварийной вентиляцией представлена на рис. 3.

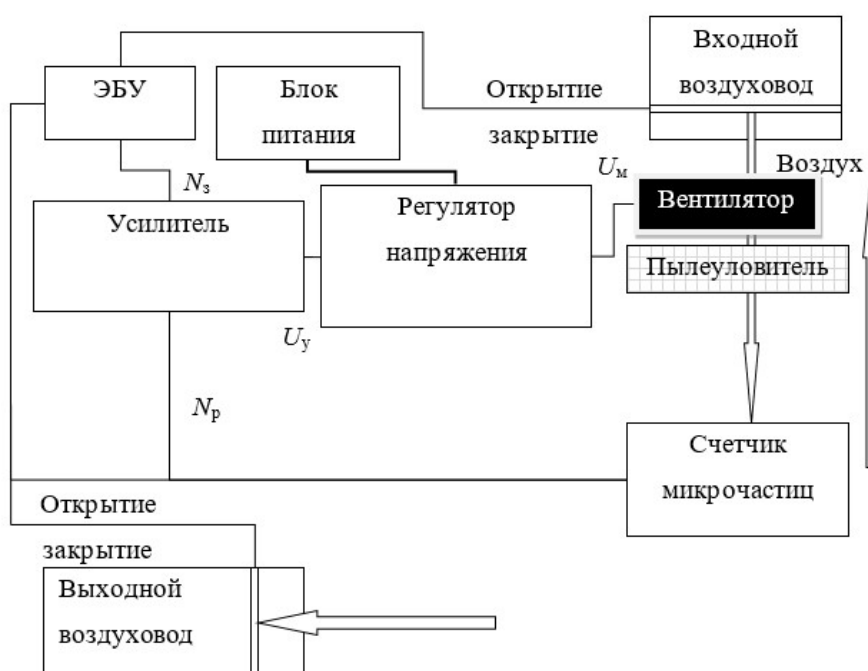


Рис. 3. Функциональная схема системы автоматического управления аварийной вентиляцией

ЭБУ – электронный блок управления, осуществляет общее управление системой: открывает-закрывает заслонки, входного и выходного воздуховода, связывая или изолируя помещения от общей системы вентиляции, генерирует управляющие сигналы, задавая предельную концентрацию частиц N_3 .

Управляющий сигнал N_3 поступает на вход усилителя, который в соответствии с настройками сравнивает его с показаниями счетчика микрочастиц (реальной концентрацией микрочастиц N_p), усиливает полученную ошибку и подает полученное напряжение U_y на вход регулятора напряжения.

Регулятор напряжения в зависимости от входного управляющего сигнала U_y и настроек подает на вход вентилятора напряжение U_m , тем самым управляя его мощностью.

Вентилятор, создавая высокое воздушное давление, формирует постоянный поток воздуха через пылеуловитель, снижая концентрацию микрочастиц.

Счетчик микрочастиц замеряет текущую концентрацию микрочастиц в производственном помещении N_p и в виде электронного сигнала подает ее на вход усилителя, замыкая отрицательную обратную связь.

Блок-схема системы автоматического управления аварийной вентиляцией представлена на рис. 4.

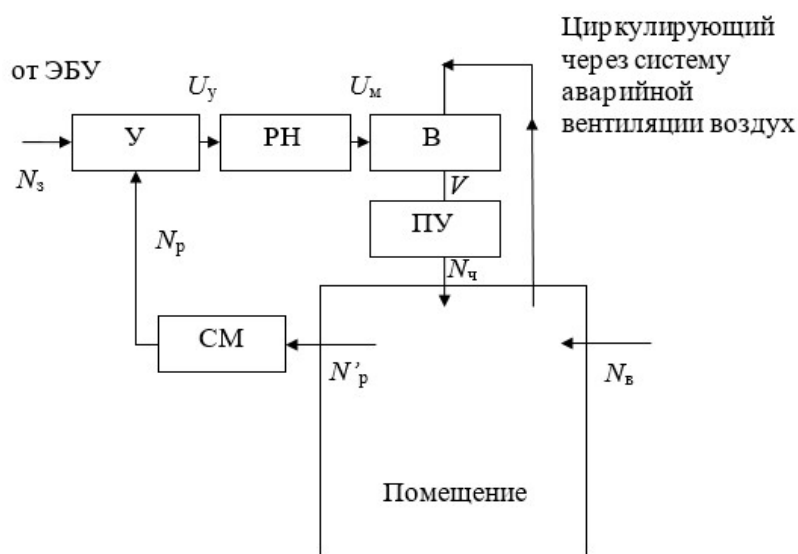


Рис. 4. Блок-схема системы автоматического управления аварийной вентиляцией

Обозначения:

ЭБУ – электронный блок управления САУ, от которого подается заданное значение концентрации микрочастиц N_3 .

СМ – счетчик микрочастиц, измеряющий загрязнение воздуха в помещении N_p .

У – усилитель, определяющий ошибку регулирования $\varepsilon = N_3 - N_p$ и усиливающий ее.

РН – регулятор напряжения, подающий в зависимости от входного сигнала управляющее напряжение U_m на вентилятор.

В – вентилятор с производительностью V ($\text{м}^3/\text{ч}$), который определяет частоту смены воздуха помещения (при закрытой заслонке) и соответственно скорость фильтрации.

ПУ – пылеуловитель, очищающий воздух, нагнетаемый вентилятором с концентрацией микрочастиц $N_{\text{ч}}$.

$N_{\text{в}}$ – концентрация микрочастиц в воздухе, поступающем из покрасочной камеры (возмущающее воздействие относительно системы управления).

Для оценки эффективности системы аварийной вентиляции для цеха порошковой покраски было проведено моделирование ее работы в программном комплексе SimInTech [7]. Структурная схема системы представлена на рис. 5.

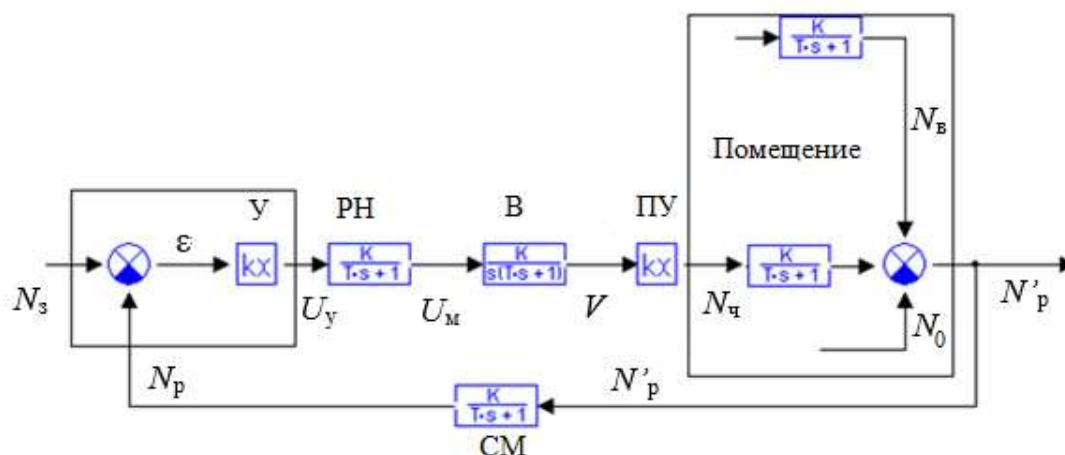


Рис. 5. Структурная схема системы автоматического управления аварийной вентиляцией

На рис. 6 представлены результаты моделирования работы системы при подаче на вход задающего воздействия $N_3=10\%$ НКПРП для частиц порошковой краски, которое указано в [5] как пороговое для включения системы аварийной вентиляции. Начальная концентрация микрочастиц установлена на уровне $N_0=100\%$ НКПРП.

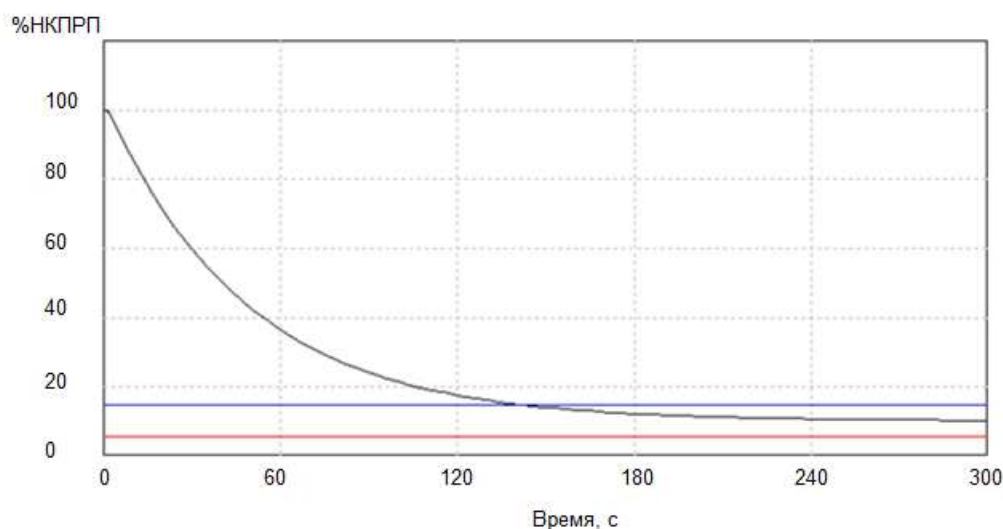


Рис. 6. Результаты моделирования работы системы аварийной вентиляции

Как видно, система за 3 минуты снижает при аварии концентрацию микрочастиц порошковой краски до 10% НКПРП, что говорит о ее эффективности. Таким образом, использование системы аварийной вентиляции в производственном помещении порошковой покраски позволяет в случае разгерметизации покрасочной камеры и выбросе находящегося в ней порошка быстро снизить его концентрацию в воздухе до допустимых значений, уменьшая при этом вероятность взрыва пылевой взвеси.

Литература

1. Свод правил СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».
2. Klochkov S.V., Masaev S.N., Minkin A.N., Pozharkova I.N. Creation of a software complex for fire safety regulatory document use automation //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. – Т. 1679. – №. 3. – С. 032072.

3. Свод правил 486.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности».
4. Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 (редакции от 14.12.2010) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».
5. Свод правил СП 60.13330.2020 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».
6. Едимичев Д.А., Минкин А.Н., Масаев С.Н., Межеумова А.А. К вопросу об использовании электрофильтров в системе вентиляции цеха по производству серы для улавливания серной пыли //Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2020. – №. 2. – С. 12-19.
7. Pozharkova I. Modelling the Water Jet Trajectory of a Robotic Fire Monitor in the SimInTech Dynamic Modelling Environment //Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software. – Springer, Cham, 2020. – С. 837-844.