

18. Zhu Z-W, Chen H-Y, Zhang H-B, Zhou P-H, Deng L-J, Xie J-L. Patterned resistive strip loading for edge scattering suppression of a finite wedge, *Prog. Electromagn. Res. M*, 2012, 25, pp. 27-38.
19. Tsikhosh E. Sverkhzvukovye samolety: Spravochnoe rukovodstvo [Supersonic Aircraft: Reference Manual]: transl. from polish. Moscow: Mir, 1983, 432 p.
20. Markov G.T., Chaplin A.F. Vozbuzhdenie elektromagnitnykh voln [Excitation of electromagnetic waves]. Moscow: Izd-vo Radio i svyaz', 1983, 296 p.
21. Baskakov S.I. Radiotekhnicheskie tsepi i signaly [Radio engineering circuits and signals]. Moscow: Izd-vo «Vysshaya shkola», 2000, 459 p.

Статью рекомендовала к опубликованию к.т.н. Н.Н. Кисель.

Семенихина Диана Викторовна – Южный федеральный университет; e-mail: d_semenikhina@mail.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +78634371634; д.т.н.; профессор.

Скотаренко Ярослав Александрович – e-mail: yaroslav.cko@mail.ru; тел.: +79044460124; аспирант.

Semenikhina Diana Viktorovna – Southern Federal University; e-mail: d_semenikhina@mail.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371733; dr. of eng. sc.; professor.

Skotarenko Yaroslav Aleksandrovich – e-mail: yaroslav.cko@mail.ru; phone: +79044460124; post-graduate student.

УДК 004.942, 654.924.56

DOI 10.18522/2311-3103-2024-2-121-132

С. Сингх, А.В. Прибыльский

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ СВЕРХБЫСТРОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ДАТЧИКОВ

Современные технологии и городская инфраструктура требуют инновационных подходов к обнаружению пожароопасных ситуаций. Эффективное и сверхбыстрое обнаружение возгораний становится неотъемлемой частью обеспечения безопасности. С этой целью синтезируются и реализуются системы способные обнаруживать и информировать об пожароопасной ситуации за считанные секунды, в статье синтезируется одна из таких систем. Исследование и синтез математической модели цифрового универсального пожарного датчика, который в свою очередь является комплексом взаимосвязанных датчиков, актуально в связи с постоянным развитием инфраструктуры систем, возрастающей сложностью электрооборудования и необходимость сокращению ущерба, возникающего при возникновении и распространении пожаров. Предиктивная диагностика работоспособности электрооборудования, позволяет своевременно выявлять и устранять потенциальные угрозы пожарной безопасности. В рамках данного исследования приводится теоретическая математическая модель реального цифрового универсального пожарного датчика, сперва в упрощенном варианте, затем в усложненном с учетом конструкции и статистического подхода к задаче нахождения порогов срабатывания датчика, приведено описание параметров математической модели и последовательного принципа работы. Данный датчик представляет собой инновационное решение в области пожарной безопасности, которое обеспечивает высокий уровень контроля и эффективности в реальном времени. На основе теоретических моделей, представленных в статье, разработана математическая модель датчика, которая смоделирована с использованием программного средства Simulink на реальных данных, полученных от производителя датчика. Результаты моделирования показали, что модель корректно описывает поведение реального датчика на всех каналах и может быть использована в дальнейших исследованиях, таких как прогнозирование и обнаружения пожароопасных ситуаций с использованием нейронных сетей. Синтез предложенной системы необходим для дальнейших исследований в области прогнозирования и обнаружения пожароопасных ситуаций на основе полученной математической модели.

Пожарный датчик; simulink; сигнал детекции; стандартное отклонение; функция активации; математическое моделирование.

S. Singh, A.V. Pribylskiy

SYNTHESIS OF A SYSTEM FOR ULTRA-FAST DETECTION OF FIRE- HAZARDOUS SITUATIONS BASED ON A COMPLEX OF INTERCONNECTED SENSORS

Modern technologies and urban infrastructure require innovative approaches to detecting fire hazards. Effective and ultra-fast fire detection is becoming an integral part of safety. For this purpose, systems capable of detecting and informing about a fire hazard situation in a matter of seconds are synthesized and implemented; one of such systems is synthesized in the article. The research and synthesis of a mathematical model of a digital universal fire sensor, which in turn is a complex of interconnected sensors, is relevant due to the constant development of system infrastructure, the increasing complexity of electrical equipment and the need to reduce damage arising from the outbreak and spread of fires. Predictive diagnostics of electrical equipment performance allows timely identification and elimination of potential fire safety threats. Within the framework of this research, a theoretical mathematical model of a real digital universal fire sensor is presented, first in a simplified version, then in a more complicated version, taking into account the design and statistical approach to the problem of finding the sensor response thresholds, a description of the parameters of the mathematical model and the sequential principle of operation is given. This sensor is an innovative fire safety solution that provides a high level of control and efficiency in real time. Based on the theoretical models presented in the article, a mathematical model of the sensor has been developed, which is simulated using the Simulink software tool on real data obtained from the sensor manufacturer. The simulation results showed that the model correctly describes the behavior of a real sensor on all channels and can be used in further research, such as predicting and detecting fire situations using neural networks. The synthesis of the proposed system is necessary for further research in the field of forecasting and detection of fire hazardous situations based on the obtained mathematical model.

Fire sensor; simulink; detection signal; standard deviation; activation function; mathematical modeling.

Введение. В условиях постоянного технологического развития и растущей сложности инфраструктурных систем вопросы пожарной безопасности приобретают особую актуальность. В этом контексте внедрение инновационных решений, способных обеспечивать высокий уровень контроля и эффективности в реальном времени, становится приоритетной задачей. Одним из таких ключевых элементов становится универсальный цифровой пожарный датчик, обладающий рядом выдающихся особенностей, спроектированных для обеспечения безопасности в самых сложных условиях.

Цифровой универсальный пожарный датчик – это комплекс взаимосвязанных датчиков, выполняющих функцию обнаружения пожароопасных ситуаций. Этот комплекс датчиков включает в себя датчики температуры, датчика дыма, измеряющих задымленность в ультрафиолетовом и инфракрасных спектрах. Подробнее его структура и конструкция рассмотрена в статьях [1-6].

Важным аспектом функциональности универсального пожарного датчика является его способность контролировать работоспособность пожарно-технического оборудования [1–8] в режиме реального времени. Эта характеристика открывает новые возможности для оперативного реагирования на пожарные угрозы, особенно в условиях движения поездов метро под землей, где эффективность системы безопасности является фактором первостепенной важности.

Максимальная эффективность противопожарной защиты электрооборудования становится важным аспектом в современных комплексах инфраструктурных систем. Цифровой универсальный пожарный датчик предлагает интегрированный подход к обеспечению безопасности, гарантируя не только работоспособность всех средств первичного пожаротушения, но и предоставляя цифровую историю жизненного цикла основных элементов пожарно-технического оборудования и текущего состояния охраняемых зон.

Кроме того, предиктивная диагностика работоспособности электрооборудования сторонних производителей в охраняемых зонах является важным моментом в предотвращении пожароопасных ситуаций. Пожарный датчик выходит за пределы традиционных методов и предоставляет интеллектуальные решения для предупреждения возможных неполадок, способных привести к пожарам.

Цель исследования заключается в представлении математической модели датчика, тем самым открывая новые перспективы для применения в различных областях, а также демонстрации практического потенциала для дальнейших исследований в области сенсорных технологий.

Математическая модель цифрового универсального датчика. Конструктивно датчик состоит из 14 элементов [1], 8 из которых датчики температуры, 3 ультрафиолетовых датчика дыма, 3 инфракрасных датчика дыма исполненных в металлическом корпусе. Упомянутые датчики контролируется и настраивается дистанционно в режиме реального времени в том числе чувствительность и пороговые значения. Датчик выполнен таким образом, чтобы воспринимать дым вокруг себя со всех возможных направлений [1, 2], что позволяет обнаруживать дым значительно раньше стандартных пожарных датчиков по изменению плотности дыма в разных точках пространства [3].

Предположим, что у нас есть функции чувствительности и пороговых значений для каждого датчика [9,10]. Обозначим чувствительность датчика как S_i и пороговое значение как T_i , где i – индекс датчика.

Тогда математическая модель ультрафиолетовых датчиков B_1, B_2, B_3 :

$$D_U = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \max \left(0, \frac{B_i}{S_{U_i}} - T_{U_i} \right), \quad (1)$$

где S_{U_i} – чувствительность инфракрасного датчика i ; T_{U_i} – пороговое значение ультрафиолетового датчика i ; $\max(0, x)$ – функция активации ReLU.

Математическая модель инфракрасных датчиков R_1, R_2, R_3 :

$$D_I = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \max \left(0, \frac{R_i}{S_{I_i}} - T_{I_i} \right), \quad (2)$$

где S_{I_i} – чувствительность инфракрасного датчика i ; T_{I_i} – пороговое значение инфракрасного датчика i

Математическая модель температурных датчиков R_1, R_2, R_3

$$D_T = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 \max \left(0, \frac{T_i}{S_{T_i}} - T_{T_i} \right), \quad (3)$$

где S_{T_i} – чувствительность температурного датчика i ; T_{T_i} – пороговое значение температурного датчика i

Общий сигнал детекции D [6, 7]:

$$D = \max(D_U, D_I, D_T). \quad (4)$$

Модель учитывает чувствительность и пороговые значения для каждого датчика и суммирует их с учетом каждого их типа. Модель также использует функцию активации ReLU [11–13] для учета только положительных значений, т. к. негативные значения не имеют физического смысла в данном контексте.

Эта модель предполагает, что датчик обнаруживает дым, если хотя бы один из ультрафиолетовых, инфракрасных или температурных датчиков выдаёт сигнал. Максимизация используется для учета всех трех типов датчиков.

Конструктивно датчик выполнен в металлическом корпусе [1,14], на сегодняшний день основная часть этих датчиков устанавливается в вагоны метрополитена. Работа датчика в метрополитене может подвергнуться различным механическим воздействиям и условиям окружающей среды [15], которые могут повлиять на его работоспособность:

- ◆ Механическая прочность: В вагоне метро могут возникнуть вибрации, удары и другие механические воздействия в результате движения по рельсам, торможения и стоянок. Это может потенциально повлиять на механическую целостность датчика.

- ◆ Устойчивость: Устойчивость датчика к вибрациям и переменам температуры также может быть важной характеристикой, особенно если вагон метро подвергается значительным температурным колебаниям.

- ◆ Экранирование: Экранирование может быть важным для предотвращения воздействия электромагнитных полей, которые могут присутствовать в вагоне метро.

Из всего это следует вывод, что математической модели стоит учесть и коэффициенты механической прочности $K_{\text{мех}}$, устойчивости $K_{\text{уст}}$ и экранирования $K_{\text{экр}}$.

Пороговое значение датчиков устанавливается с помощью стандартных статистических методов. Одним из простых, но эффективных методов установки порогового значения является метод двойного стандартного отклонения от среднего, общий вид которого имеет вид:

Пусть X – случайная величина, а σ – стандартное отклонение. Тогда двойное стандартное отклонение от среднего σ_d будет выглядеть как:

$$\sigma_d = 2\sigma. \quad (5)$$

Если среднее значение обозначено как μ , то формула двойного стандартного отклонения от среднего:

$$\sigma_d = 2\sqrt{\text{Var}(X)}, \quad (6)$$

где $\text{Var}(X)$ – дисперсия случайной величины X .

С учетом новой пороговой функции и коэффициентов механической прочности, устойчивости и экранирования математическая модель универсального датчика примет вид:

Математическая модель ультрафиолетовых датчиков B_1, B_2, B_3 :

$$D_{U_n} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 K_{\text{мех}} * K_{\text{уст}} * K_{\text{экр}} * \max\left(0, \frac{X_i - M_{U_i}}{SD_{U_i}} - 2SD_{U_i}\right), \quad (7)$$

где SD_{U_i} – стандартное отклонение сигнала ультрафиолетового датчика i ; X_i – значение сигнала от датчика i ; M_{U_i} – среднее значение сигнала от ультрафиолетового датчика; $\max(0, x)$ – функция активации ReLU.

Математическая модель инфракрасных датчиков R_1, R_2, R_3 :

$$D_{I_n} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 K_{\text{мех}} * K_{\text{уст}} * K_{\text{экр}} * \max\left(0, \frac{X_i - M_{I_i}}{SD_{I_i}} - 2SD_{I_i}\right), \quad (8)$$

где SD_{I_i} – стандартное отклонение сигнала инфракрасного датчика i ; X_i – значение сигнала от датчика i ; M_{I_i} – среднее значение сигнала от ультрафиолетового датчика.

Математическая модель температурных датчиков T_1, T_2, T_3 :

$$D_{T_n} = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 K_{\text{мех}} * K_{\text{уст}} * K_{\text{экр}} * \max\left(0, \frac{X_i - M_{T_i}}{SD_{T_i}} - 2SD_{T_i}\right), \quad (9)$$

где SD_{T_i} – стандартное отклонение сигнала температурного датчика i ; X_i – значение сигнала от датчика i ; M_{T_i} – среднее значение сигнала от температурного датчика

Новый общий сигнал детекции D_n :

$$D_n = \max(D_{U_n}, D_{I_n}, D_{T_n}) \quad (10)$$

Опишем работы математической модели универсального датчика с помощью последовательного описания.

1. Сбор данных – на это этапе ультрафиолетовые, инфракрасные, температурные датчики собирают данные о сигналах в реальном времени.

2. Вычисление отклонений – для каждого датчика вычисляются отклонения сигналов от средних значений ($M_{U_i}, M_{I_i}, M_{T_i}$) в единицах стандартного отклонения ($SD_{U_i}, SD_{I_i}, SD_{T_i}$).

3. Активация датчиков – для каждого датчика применяется функция активация, которая моделирует активацию датчика при превышении порогового значения.

4. Механические коэффициенты – являются статическими параметрами, считаются неизменными во времени.

5. Общий сигнал детекции – определяется как максимум взвешенных сигналов от всех датчиков, что является обобщенной оценкой обнаружения возможной пожароопасной ситуации.

6. Решение об активации датчика – активация датчика зависит от вложенных алгоритмов работы системы, но как правило система считается активированной, когда D_n превышает заданный порог, что будет служить сигналом обнаружения пожароопасной ситуации.

7. Динамическая регулировка параметров: динамические параметры модели, такие как среднее значений, стандартного отклонение, пороговые значения, являются регулируемыми и настраиваемыми в режиме реального времени для оптимизации работы системы в различных условиях окружающей среды.

Данная математическая модель основана на статистическом подходе представления системы.

Математическая модель в Simulink. Математическая модель [16–19] ультрафиолетового датчика представлена на рис. 1:

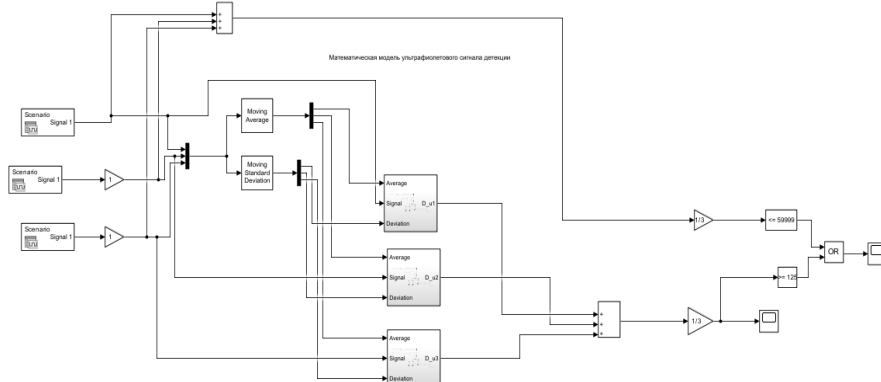


Рис. 1. Математическая модель ультрафиолетового сигнала детекции

Срабатывания датчика происходит, если среднее значения входных данных меньше 59999 [1, 2, 20] или сигнал детекции больше 125, последнее следует из эмпирического порога, т.к. считается что диапазон 60125-60000, не является пожаром [3, 21].

На рис. 1 имеется блок изображенный на рис. 2

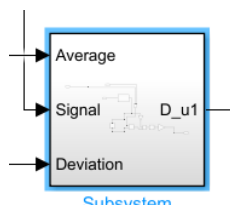


Рис. 2. Подсистема расчета сигнала с датчика

Её развернутый вид представлен на рис. 3:

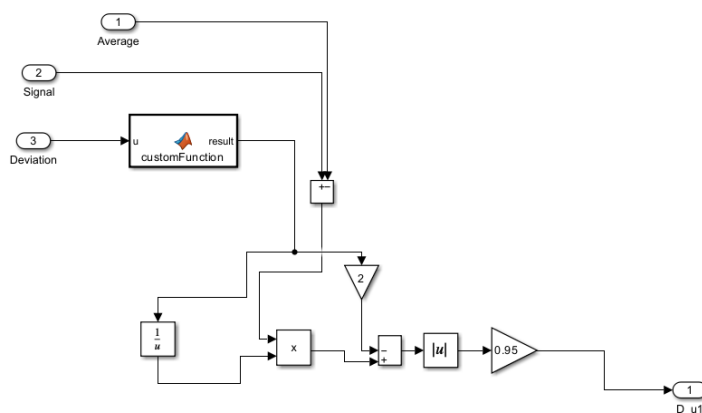


Рис. 3. Развернутая подсистема, изображенная на рис. 2

Математическая модель инфракрасного датчика совпадает с моделью ультрафиолетового датчика.

Математическая модель температурных датчиков представлена на рис. 4.

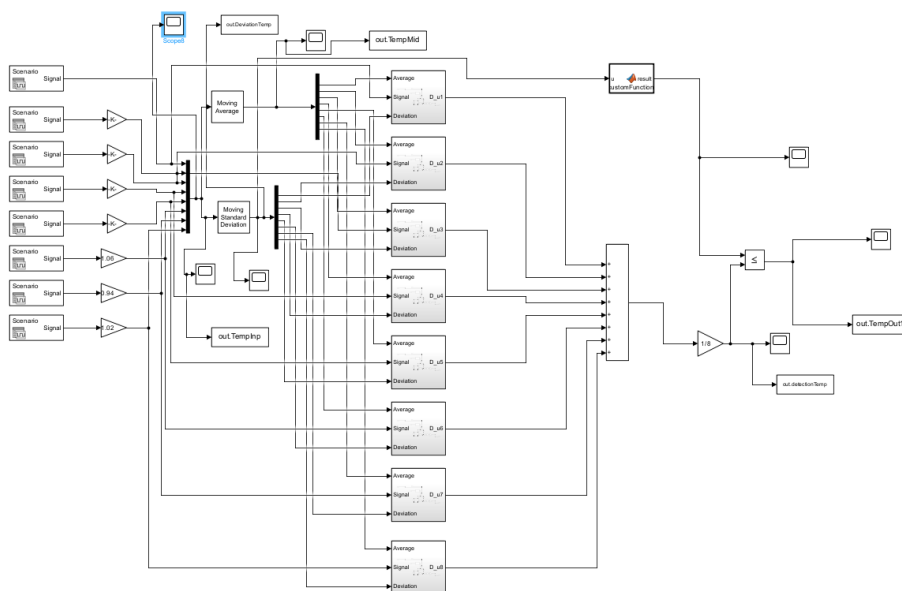


Рис. 4. Математическая модель сигнала детекции температурных датчиков

Моделирование математической модели. Про моделируем полученные модели, для этого используем реальные данные, измеренные с помощью цифрового пожарного датчика, они представляют из себя отметку во времени и соответствующее ему значение с датчиков температуры и дыма. Всего используется 37764 отметки, что соответствует примерно данным за 10,5 часов. Пример данных представлен на рис. 5.

TIME	DATA	TIME	DATA
0	23.49	0	60121
1	23.49	1	60121
2	23.49	2	60121
3	23.49	3	60121
4	23.47	4	60122
5	23.47	5	60122
6	23.47	6	60122

Рис. 5. Пример входных данных

Температура датчиками измеряется в градусах Цельсия, пороговое значение рассчитывается с помощью двойного стандартного отклонения от среднего рассмотренного ранее, соответственно на основании рассчитанного отклонения выставляется пороговое значение температуры, при выходе за пределы порога срабатывает сигнал о пожароопасной ситуации.

Задымленность датчиками дыма измеряется в пределах от 0 до 60125 [1], кроме порогового значения, также учитывается эмпирически найденный минимальный порог отсутствия пожароопасных ситуаций, который равен 59999, значения меньше этого порога являются сигналом о наличии дыма.

Выполним моделирование участка с температурными датчиками.

Инициализируем для каждого из температурных датчиков входной сигнал, рис. 6.

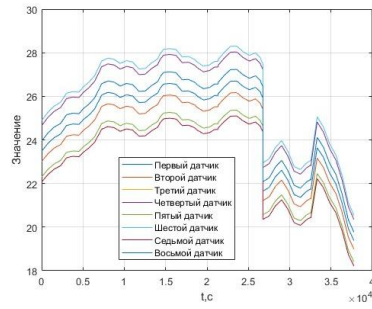


Рис. 6. Входные данные из температурных датчиков

Стандартное отклонение температурных датчиков представлено на рис. 7.

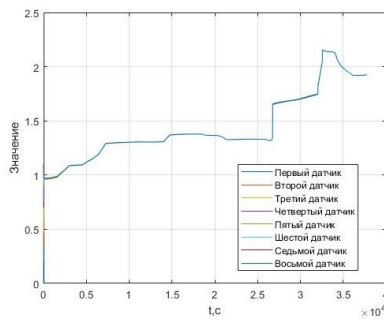


Рис. 7. График изменения стандартного отклонения датчиков температуры

Среднее значение температурного датчика рис. 8

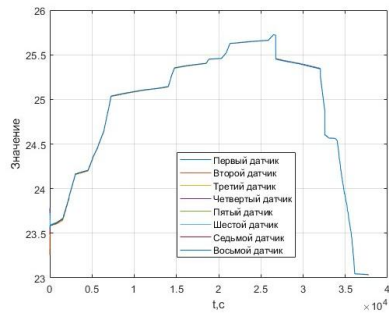


Рис. 8. График изменений среднего значения температуры

Общий сигнал детекции изображен на рис. 9.

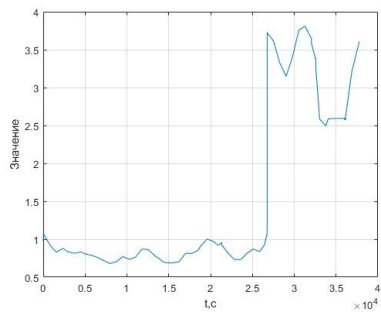


Рис. 9. Общий сигнал детекции температурных датчиков

Тогда выходной сигнал, изменяющийся от 0 до 1 (рис. 10), где 0 – пожароопасная ситуация отсутствует, 1 – возникла пожароопасная ситуация. Изменение порога приведено на рис. 11.

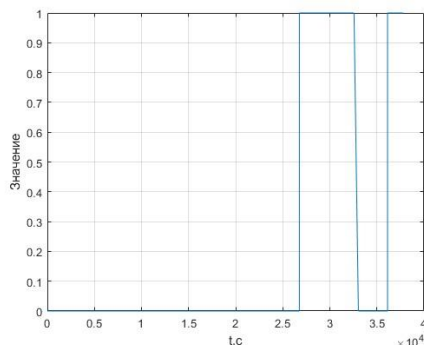


Рис. 10. График состояния срабатывания пожарного датчика по каналу температуры

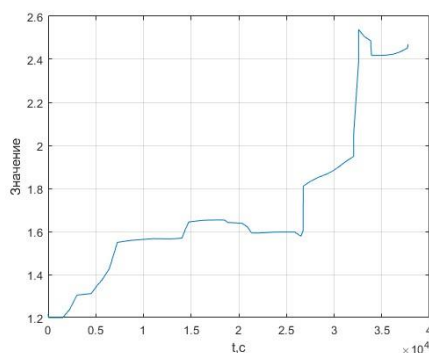


Рис. 11. Изменение порогового значения датчика температуры

Промоделируем работу датчика дыма в ультрафиолетовом спектре. Входные данные, поступающие от датчика в модель представлены на рис. 12.

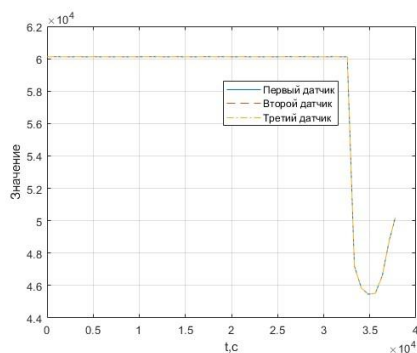


Рис. 12. График изменение входных данных ультрафиолетового спектра

Из рис. 12 видно, что входные данные по всем трем датчикам совпадают, соответственно среднее значение и стандартное отклонение по каждому из датчиков будет совпадать.

Изменение стандартного отклонения представлено на рис. 13.

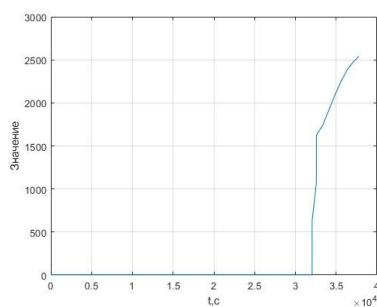


Рис. 13. График изменения стандартного отклонения ультрафиолетовых датчиков

Среднее значение сигнала ультрафиолетовых датчика приведено на рис. 14.

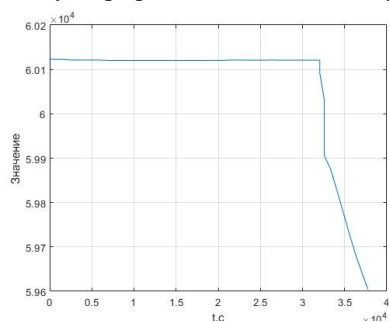


Рис. 14. График изменений среднего значения задымленности

Сигнал детекции ультрафиолетовых датчиков изображен на рис. 15.

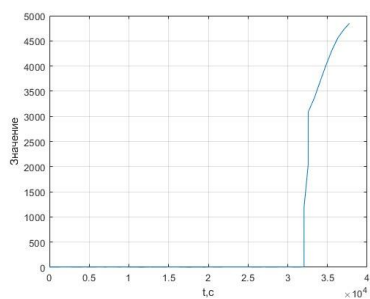


Рис. 15. Общий сигнал детекции ультрафиолетовых датчиков

Тогда выходной сигнал, изменяющийся от 0 до 1 (рис. 16), где 0 – пожароопасная ситуация отсутствует, 1 – возникла пожароопасная ситуация.

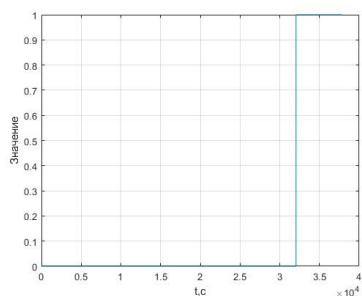


Рис. 16. График состояния срабатывания пожарного датчика по каналу ультрафиолетовых датчиков

Моделированием инфракрасного датчика можно пренебречь, т.к. его модель совпадает с моделью ультрафиолетового датчика, а также входные данные взятые за 10,5 часов также совпали. Это означает что пожароопасная ситуация в тот день затрагивала оба спектра: инфракрасный и ультрафиолетовый.

Обсуждение. Сравнивая результаты полученные из рисунков 6-16, можно сделать вывод, что моделируемая математическая модель температурного датчика работает корректно, в этом можно убедиться сравним графики детекции (рис. 9), выходного сигнала (рис. 10) и порогового значения (рис. 11), сопоставив порог с сигналом детекции и сравнив его с выходным графиком. Аналогичным образом можно подтвердить корректность моделирования инфракрасного и ультрафиолетовых датчиков.

Возникшие участки пожароопасных ситуации при моделировании совпадают с реальными зафиксированными компанией производителя цифрового универсального пожарного датчика. Принимая факт, что математическая модель в Simulink составлялись на основании теоретических математических моделях, представленных в формулах 7, 8, 9, 10, можно сделать вывод, что приведенные математические модели корректно описывают поведение реального цифрового пожарного датчика.

Заключение. Решения в области пожарной безопасности позволяют уменьшить ущерб причиняемый живым существам и материальным ценностям

В данной статье описана математическая модель реального цифрового пожарного датчика, выполнена его моделирование с использованием программного средства Simulink. Полученная математическая модель позволяет не только описать цифровой датчик, но и вносит вклад в будущие исследования по прогнозированию и обнаружению пожароопасных ситуаций с использованием пожарного датчика.

Дальнейшие исследования предполагают построение нейронной модели пожарного датчика, а также решения задачи прогнозирования пожароопасных ситуаций на основании данных из цифрового пожарного датчика с использованием нейронных сетей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саутин И.Г. Концепция построения безопасной противопожарной автоматики // Алгоритм безопасности. – 2015. – № 4.
2. Саутин И.Г. Сверхраннее обнаружение дыма. Новые возможности // Алгоритм безопасности. – 2016. – № 5.
3. Саутин И.Г. Безопасность зданий и сооружений // Безопасность. Средства размещения. – 2017. – № 1.
4. Саутин И.Г. Противопожарная защита: технологии и решения // Транспорт. Противопожарная защита. Пожарная автоматика. Средства спасения. – 2018.
5. Саутин И.Г. Особое мнение. Можно ли доверить свою жизнь дымовому пожарному извещателю? // Алгоритм безопасности. – 2019. – № 6.
6. Зайцев А.В. Достоверность и своевременность обнаружения пожара, и как их учесть в нормах на СПС // Алгоритм безопасности. – 2016. – № 2.
7. Иванов А.Н. К вопросу об оценке эффективности пожарной автоматики // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: Матер. Всерос. науч.-практ. конф. – СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2021.
8. Преснов А.И. [и др.]. Пожарная техника: учеб.: в 2-х ч. Ч. 2. – СПб.: С.-Петербург. Ун-т ГПС МЧС России, 2016. – 404 с.
9. Qureshi W.S., Ekpanyapong M., Dailey M.N., Rinsurongkawong S., Malenichev A., Krasotkina O. QuickBlaze: Early fire detection using a combined video processing approach // Fire Technol. – 2016. – 52. – P. 1293-1317. – DOI: 10.1007/s10694-015-0489-7.
10. Mulholland, G.W. How well are we measuring smoke? // Fire and Materials. – June 1982. – Vol. 6, No. 2. – P. 65-67.
11. Bywater D. Detection of Real Fires by Carbon Monoxide Detectors—Foreign Experience. The Results of 10 Years of Research Lead to a Leap in Fire Detection Technology. Available online: https://www.aktivsb.ru/statii/obnaruzhenie_realnykh_pozharov_detektorami_ugarnogo_gaza_zarubezhnyy_opyt.html (accessed on 20 December 2023).
12. Luck H. and Hase K.R. Signal Detection Aspects in Automatic Fire Detection // Fire Safety Journal. – 1983. – 6. – P. 233-240.

13. Fedorov A., Bytcinskaya T., Lukyanenko A., Hung T.D. Trends in the development of automatic fire detectors // *Technol. Technosphere Saf.* – 2009. – 23. – P. 111-114. Available online: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-avtomaticheskikh-pozharnyh-izveschateley-1> (accessed on 20 December 2023).
14. Petrov A.E., Fedorov A.V., Kochegarov A.V., Lomaev E.N., Preobrazhenskiy A.P. The Analysis of Network Models for the Design of Industrial and Fire Safety Systems for Oil Refineries // *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* – 2021. – 808. – 012024.
15. Bogdan L., Cristina B. The design of temperature control system using PIC18f4620; 2010.
16. MathWorks. «MATLAB & Simulink Help Center» MathWorks. – 2023. – <https://www.mathworks.com/help/index.html>. Accessed 20 December 2023.
17. Moler Cleve B. Numerical Computing with Matlab. The MathWorks, Inc., Natick, 2004.
18. Chapra Steven C. Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineers and Scientists. McGraw Hill Companies, Inc. – 2nd ed. – New York, 2008.
19. Trench William F. Elementary Differential Equations. – Trench, 2013.
20. Ukil A., Braendle H., Krippner P. Distributed temperature sensing: Review of technology and applications // *IEEE Sens. J.* – 2011. – 12. – P. 885-892. – DOI: 10.1109/JSEN.2011.2162060.
21. Fawad Khan, Zhiguang Xu, Recent Advances in Sensors for Fire Detection, PMID: 35590999, 2022 Apr 26, DOI: 10.3390/s22093310.

REFERENCES

1. Sautin I.G. Kontsepsiya postroeniya bezopasnoy protivopozharnoy avtomatiki [The concept of constructing safe fire-fighting automation], *Algoritm bezopasnosti* [Safety Algorithm], 2015, No. 4.
2. Sautin I.G. Sverkhrannee obnaruzhenie dyma. Novye vozmozhnosti [Ultra-early smoke detection. New features], *Algoritm bezopasnosti* [Safety Algorithm], 2016, No. 5.
3. Sautin I.G. Bezopasnost' zdaniy i sooruzheniy [Safety of buildings and structures], *Bezopasnost'. Sredstva razmeshcheniya* [Safety. Accommodation facilities], 2017, No. 1.
4. Sautin I.G. Protivopozharnaya zashchita: tekhnologii i resheniya [Fire protection: technologies and solutions], *Transport. Protivopozharnaya zashchita. Pozharnaya avtomatika. Sredstva spaseniya* [Transport. Fire protection. Fire automatics. Rescue means], 2018.
5. Sautin I.G. Osoboe mnenie. Mozhno li doverit' svoyu zhizn' dymovomu pozharnomu izveshchatelyu? [Special opinion. Can you trust your life to a smoke alarm?], *Algoritm bezopasnosti* [Security algorithm], 2019, No. 6.
6. Zaytsev A.V. Dostovernost' i svoevremennost' obnaruzheniya pozhara, i kak ikh uchest' v normakh na SPS [Reliability and timeliness of fire detection, and how to take them into account in ATP standards], *Algoritm bezopasnosti* [Safety Algorithm], 2016, No. 2.
7. Ivanov A.N. K voprosu ob otsenke effektivnosti pozharnoy avtomatiki [On the issue of assessing the effectiveness of fire automatics], *Pozharnaya bezopasnost': sovremennye vyzovy. Problemy i puti resheniya: Mater. Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Fire safety: modern challenges. Problems and solutions: Materials of Vseros. scientific-practical conf.]. St. Petersburg: S.-Peterb. un-t GPS MChS Rossii, 2021.
8. Presnov A.I. [i dr.]. Pozharnaya tekhnika: ucheb. [Fire equipment: textbook]: in 2 part. Part 2. St. Petersburg: S.-Peterb. Un-t GPS MChS Rossii, 2016, 404 p.
9. Qureshi W.S., Ekpanyapong M., Dailey M.N., Rinsurongkawong S., Malenichev A., Krasotkina O. QuickBlaze: Early fire detection using a combined video processing approach, *Fire Technol.*, 2016, 52, pp. 1293-1317. DOI: 10.1007/s10694-015-0489-7.
10. Mulholland, G.W. How well are we measuring smoke?, *Fire and Materials*, June 1982, Vol. 6, No. 2, pp. 65-67.
11. Bywater D. Detection of Real Fires by Carbon Monoxide Detectors—Foreign Experience. The Results of 10 Years of Research Lead to a Leap in Fire Detection Technology. Available online: https://www.aktivsb.ru/statii/obnaruzhenie_realnykh_pozharov_detektorami_ugarnogo_gaza_zarubezhnyy_opyt.html (accessed on 20 December 2023).
12. Luck H. and Hase K.R. Signal Detection Aspects in Automatic Fire Detection, *Fire Safety Journal*, 1983, 6, pp. 233-240.
13. Fedorov A., Bytcinskaya T., Lukyanenko A., Hung T.D. Trends in the development of automatic fire detectors, *Technol. Technosphere Saf.*, 2009, 23, pp. 111-114. Available online: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-avtomaticheskikh-pozharnyh-izveschateley-1> (accessed on 20 December 2023).
14. Petrov A.E., Fedorov A.V., Kochegarov A.V., Lomaev E.N., Preobrazhenskiy A.P. The Analysis of Network Models for the Design of Industrial and Fire Safety Systems for Oil Refineries, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 2021, 808, 012024.
15. Bogdan L., Cristina B. The design of temperature control system using PIC18f4620; 2010.

16. MathWorks. «MATLAB & Simulink Help Center» MathWorks, 2023. Available at: <https://www.mathworks.com/help/index.html>. Accessed 20 December 2023.
17. Moler Cleve B. Numerical Computing with Matlab. The MathWorks, Inc., Natick, 2004.
18. Chapra Steven C. Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineers and Scientists. McGraw Hill Companies, Inc. 2nd ed. New York, 2008.
19. Trench William F. Elementary Differential Equations. Trench, 2013.
20. Ukil A., Braendle H., Krippner P. Distributed temperature sensing: Review of technology and applications, *IEEE Sens. J.*, 2011, 12, pp. 885-892. DOI: 10.1109/JSEN.2011.2162060.
21. Fawad Khan, Zhiguang Xu, Recent Advances in Sensors for Fire Detection, PMID: 35590999, 2022 Apr 26, DOI: 10.3390/s22093310.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Курейчик.

Сингх Санны – Южный федеральный университет; e-mail: singkh@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +79885751350; кафедра систем автоматического управления; аспирант.

Прибыльский Алексей Васильевич – e-mail: apribylsky@sfedu.ru; тел.: +79885619718; кафедра систем автоматического управления; к.т.н.; доцент.

Singh Sanni – Southern Federal University; e-mail: singkh@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +79885751350; the department of automatic control systems; graduate student.

Pribylskiy Alexey Vasilievich – e-mail: apribylsky@sfedu.ru; phone: +79885619718; the department of automatic control systems; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 004.056.53+347.837+654.16

DOI 10.18522/2311-3103-2024-2-132-141

А.В. Дьяков, К.Е. Румянцев

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОМОНИТОРИНГА В СИСТЕМЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Беспроводные сети передачи данных порождают угрозы, от которых невозможно защититься традиционными для проводных сетей средствами, поскольку в таком случае невозможно обеспечить эквивалент безопасности проводных сетей в силу физических свойств канала связи. Целью статьи является определение актуальных проблем, существующих при обеспечении информационной безопасности (ИБ) в беспроводных сегментах сетей передачи данных. Для достижения поставленной цели из банка угроз безопасности информации ФСТЭК России осуществлена выборка угроз, потенциально реализуемых в беспроводных сетях. Установлено, что реализация таких угроз может приводить к полному набору нарушений состояния ИБ, а именно: к нарушению конфиденциальности, целостности и доступности информации. Рассмотрены существующие практические способы обеспечения ИБ в беспроводных сегментах сетей. Анализ этих способов указал на присутствующую при радиомониторинге техническую возможность создания дополнительного рубежа в системе эшелонированной защиты информации. В свою очередь, это обеспечивает потенциал обнаружения уязвимостей и вторжений на канальном уровне сетевого взаимодействия как в локальных сетях предприятий, так и в крупномасштабных сетях общего пользования. В соответствии с целью сгруппированы аспекты построения такого рубежа защиты, связанные с контролем канального уровня сетевого взаимодействия беспроводных устройств, уменьшением размеров частотно-территориальных кластеров и правовым обеспечением. Обзором публикаций выявлен разрыв между существующими подходами к радиомониторингу и обеспечению ИБ, также обнаружена слабая развитость направления, связанного с исследованиями в области обнаружения и предотвращения беспроводных вторжений. Полученный результат указывает на необходимость пересмотра сложившейся концепции радиомониторинга и разработки соответствующих организационно-технических мер для его интеграции в систему мероприятий по обеспечению ИБ, что должно помочь решить проблему своевременного обнаружения и предотвращения вторжений в беспроводные сегменты сетей передачи данных, а также выявления уязвимых элементов инфраструктуры этих сетей.

Информационная безопасность; радиоконтроль; радиомониторинг; системы обнаружения вторжений; СОВ; беспроводные сети; Wi-Fi; WIDS; WIPS.