

# Разработка автоматизированной системы пожаротушения шахты Третьего Соликамского калийного-рудникового управления

Татьяна Геннадьевна СЕРЕДА\*

Пермский государственный аграрно-технологический университет им. акад. Д. Н. Прянишникова, Россия, Пермь  
Пермский филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Россия, Пермь

**Актуальность работы** обусловлена необходимостью уменьшения рисков гибели шахтеров при пожаре.

**Цель работы:** разработка автоматизированной системы пожаротушения для обеспечения безопасности работников Третьего Соликамского калийного рудоуправления.

**Методология исследования:** решение задачи анализа и синтеза конечного автомата, описанного логическими уравнениями работы автоматизированной системы пожаротушения; разработка программного обеспечения для промышленного контроллера Omron.

**Результаты.** Проанализирована статистика несчастных случаев на предприятии «Уралкалий». Объектом исследований являлась четвертая шахта Третьего Соликамского калийного-рудникового управления. СКРУ-3 – одна из трех шахт в Соликамске, где подземным способом на глубине от 100 до 500 м ведется добыча калийно-магниевого солей. Был выявлен несчастный случай со смертельным исходом, в результате задымления и пожара на четвертой шахте на глубине 363 м погибли 9 человек – строители подрядной организации. Подряд по строительству ствола выполняли сотрудники ФГУП «Управление строительства № 30» из Башкортостана. При разработке системы пожаротушения построена функциональная схема управления приводом дренажным насосом и пожарным насосом высокого давления, в которой предусмотрено ручное и автоматическое управление насосами. В расширительном бачке и рассолоборнике дренажного насоса рекомендовано установить датчики нижнего и верхнего уровня и другое оборудование: датчики управления насосами, датчик сигнализации уровня с дистанционной передачей данных. Разработаны логические уравнения и релейно-контактная схема работы оборудования. В конструкторской части предложено использование программно-аппаратного обеспечения на основе микроконтроллера Omron. Проведено имитационное моделирование схемы работы насосов.

**Заключение.** Для уменьшения рисков гибели людей и порчи имущества разработана модель управления системой пожаротушения шахты рудоуправления. Разработаны принципиальная и релейно-контактная схемы управления насосами. Предложенное программно-аппаратное обеспечение поможет предотвратить возникновение аварийных ситуаций и несчастных случаев и обеспечит повышение безопасности работников СКРУ-3 при работе в шахте.

**Ключевые слова:** пожарная автоматика, релейно-контактная схема, рудник, микроконтроллер, производственный травматизм.

**В**ведение  
На строящемся четвертом стволе рудника «Соликамск-3» предприятия «Уралкалий» произошло задымление, а затем пожар. От задымления, повышенной температуры и отсутствия кислорода погибли 9 человек при подготовке к бетонированию ствола шахты. Ствол шахты диаметром 7 м был обработан полиуретаном, возгорание произошло предположительно в результате искрообразования при строительных работах [1]. В ночь на 23 декабря 2018 г. спасатели обнаружили тела погибших. Два тела были найдены на первом уровне, на втором и третьем уровнях – еще семь проходчиков-строителей [2]. С целью безопасности эксплуатации шахты представлена разработанная система управления насосами для тушения пожара с использованием релейно-контактных схем (IEC 61131-3).

## Результаты исследования

### Классификация средств пожаротушения

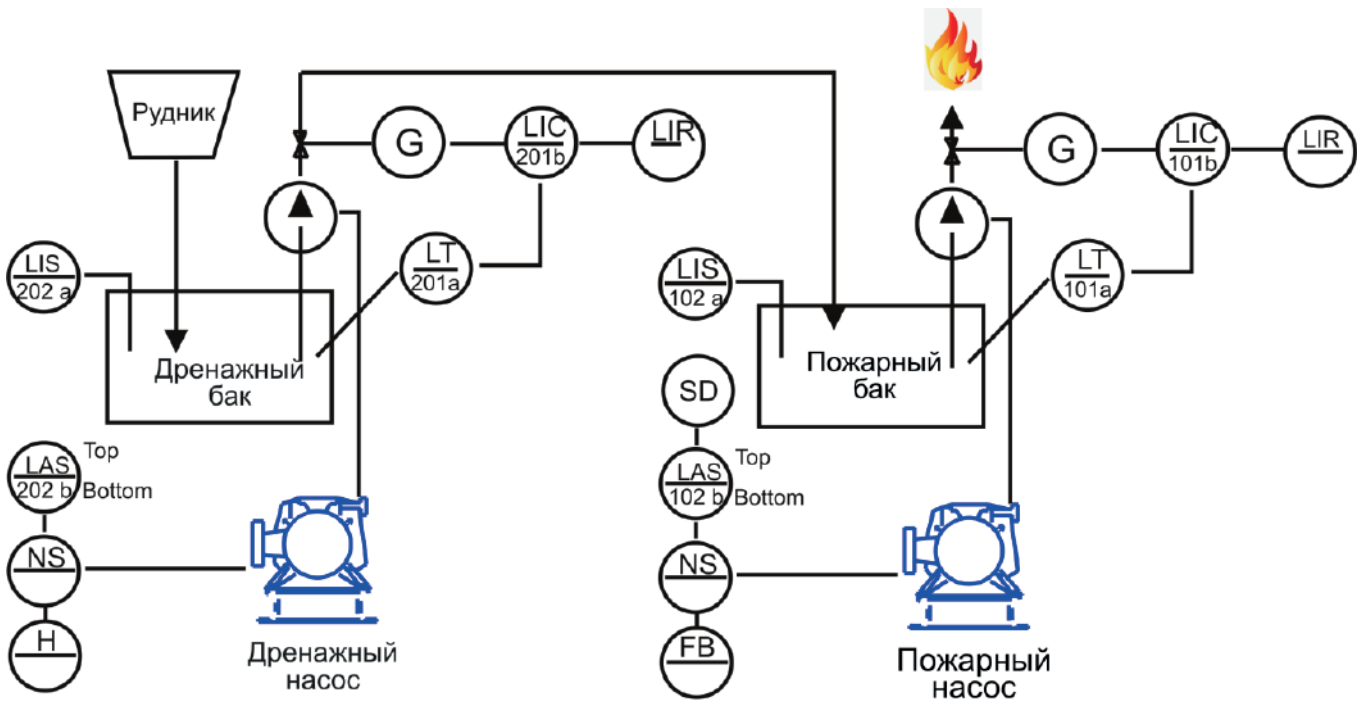
Работа в рудниках связана с большими рисками для здоровья и жизни шахтеров, одними из самых опасных факторов являются взрывы и пожары [3, 4]. Моделированию развития процесса пожара в шахте посвящены работы [5, 6]. В статье [7] проведен натурный лабораторный эксперимент по моделированию процесса распространения пламени от нескольких источников возгораний. Известны различные способы пожаротушения в шахтах, которые классифицируют по виду средств тушения, методу их подачи и назначению. Все способы подразделяют на поверхностное тушение (подача средств тушения непосредственно в очаг пожара) и объемное тушение (создание в области пожара газовой среды, не поддерживающей горение). Поверхностное тушение применяют почти при всех видах пожара. Для его реализации необходимы средства, которыми можно подавать огнетушащие материалы в очаг пожара на расстоянии (жидкости, пены, порошки). Объемное тушение применяется в ограниченном объеме (в помещениях, отсеках) [8, 9]. Разработке технологий аэрозольного пожаротушения посвящена работа [10]. Горящая горная выработка условно разделяется на участки возгоревшей крепи, зону горения (состоящую из участка беспламенного горения и участка интенсивного пламенного горения) и зоны термической подготовки древесины и подсушки древесины [11]. Разработка способов и средств обнаружения начальной стадии подземных пожаров описана в диссертации [12]. Для оценки риска последствий пожара и динамики его развития в рудниках разработаны специальные программы, например Fire Dynamics Simulator (FDS) [13].

### Анализ несчастного случая возгорания в руднике и особенности пожаротушения в шахтах Соликамского калийно-рудникового управления

22 декабря 2018 г. около 12 часов произошло возгорание на строящемся стволе рудника СКРУ-3. В момент возникновения пожара рабочие находились на отметке 363 м, где выполняли работы по бетонированию строящегося ствола. В стволе шахты в СКРУ при пожаре на глубине 343 м температура достигала 70 °С, что мешало проводить спасательные работы [2]. Использование газовых, порошковых и аэрозольных современных средств пожаротушения в рудниках ог-

\* iums@dom.raid.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7682-9013>



**Рисунок 1. Функциональная схема автоматизации пожаротушения.** LIS (102a, 202a) – датчики измерения уровня; LAS (102b, 202b) – датчики сигнализации уровня; NS – датчики управления насосами; H – ручное управление; LT (101a, 201a) – датчики сигнализации уровня с дистанционной передачей данных; LIC (101b, 201b) – П-регулятор; LIR – регистратор; G – мембранный исполнительный механизм.  
**Figure 1. Functional flow diagram of fire-fighting automatic control.** LIS (102a, 202a) – level gauges; LAS (102b, 202b) – level signaling sensors; NS – pump control sensors; H – manual control; LT (101a, 201a) – level signaling sensors with remote data transmission; LIC (101b, 201b) – P-regulator; LIR – recorder; G – membrane actuating mechanism.

**Таблица 1. Логические элементы для описания работы системы пожаротушения.**  
**Table 1. Logic components to describe the operation of the fire-fighting system.**

Сигнал*	Адрес бита в ОЗУ контроллера	Обозначение	Панель оператора	Пояснение
W4	4.00	Avt	4.00	Автоматическое/ручное управление
W5	5.00	Fire button (FB)	5.00	Извещатель пожарный ручной
X0	CIO 0.00	Smoke detector (SD)	–	Пожарный извещатель
X1	CIO 0.01	Bottom Fire (BF)	–	Датчик нижнего уровня воды в расширительном бачке пожарного насоса
X2	CIO 0.02	Button Stop (BS)	CIO 0.02	Выключение пожарного насоса
X3	CIO 0.03	Top Fire (TF)	–	Датчик верхнего уровня воды в расширительном бачке пожарного насоса
Y1	CIO 100.00	Fire-pump (FP)	CIO 100.00	Пожарный насос
X5	CIO 0.05	Bottom Drine (BD)	–	Датчик нижнего уровня воды в расширительном бачке дренажного насоса
X6	CIO 0.06	Top Drine (TD)	–	Датчик верхнего уровня воды в расширительном бачке дренажного насоса
Y2	CIO 100.02	Drainage pump (DP)	CIO 100.02	Дренажный насос

\*Вход – X, выход – Y.

раничено в связи с представлением угрозы для здоровья и жизни шахтеров. Преимуществом предлагаемой схемы пожаротушения является возможность использования также фильтрационных вод и рассола для тушения пожара, образующихся в Соликамских калийных-рудниках. В качестве дренажных пожарных насосов можно использовать насосы ЦНКС 300-300, применяемые на СКРУ и предназначенные для откачивания кислотных вод с водородным показателем рН = 3,5...8,5, температурой от 1 до 45 °С, содержанием механических примесей не более 0,2 мас. %, размером твердых частиц не более 0,2 мм, микротвердостью не более 1,47 ГПа на водоотливе угольных шахт [14].

**Разработка функциональной схемы автоматизации пожаротушения**

Для устранения рисков несчастных случаев, связанных с гибелью людей при пожаре в шахте, разработана автоматическая система пожаротушения. Функциональная схема автоматизации представлена на рис. 1. Принцип работы заключается в следующем: пожарный насос срабатывает от датчика обнаружения пожара, дренажный насос закачивает воду из дренажного приемка в бачок-расширитель пожарного насоса. В дренажном приемке и расширительном бачке

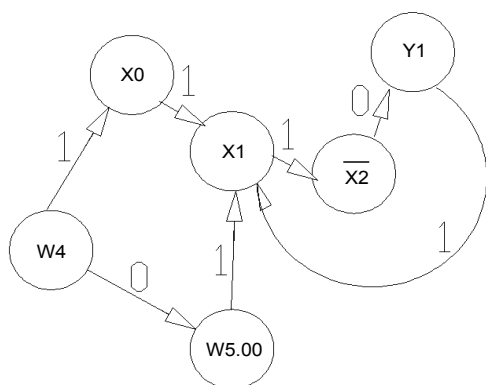


Рисунок 2. Граф состояний и переходов управления пожарным насосом.  
Figure 2. State graph and transition diagram of fire pump control.

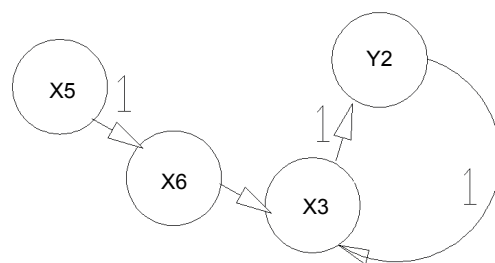


Рисунок 3. Граф состояний и переходов управления дренажным насосом.  
Figure 3. State graph and transition diagram of drainline pump control.

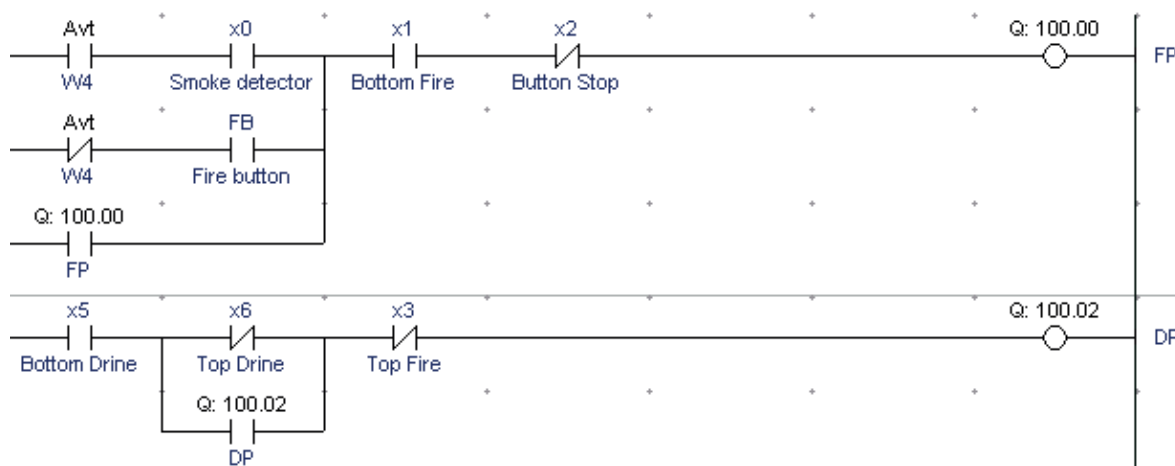


Рисунок 4. Релейно-контактная схема управления установкой пожаротушения.  
Figure 4. Relay contact circuit for control of the fire-extinguishing system.

имеются датчики нижнего и верхнего уровней воды. В качестве дополнительных резервуаров можно использовать рас-солосборники [14]. Дренажный насос должен отключаться, если воды в дренажном приемке нет или расширительный бачок полностью заполнен. Пожарный насос должен отключаться, если в расширительном бачке воды нет. Предусмотрено ручное и автоматическое управление установкой пожаротушения. Для регулирования расхода воды предусмотрен П-регулятор с мембранным исполнительным механизмом.

**Разработка релейно-контактной схемы**

В качестве программно-аппаратного обеспечения был выбран контроллер Omron, имеющий хорошие технико-экономические характеристики [15, 16]. Использование данного контроллера в промышленной безопасности показало удовлетворительные результаты. Для описания работы установки пожаротушения были введены необходимые логические элементы (табл. 1). В предлагаемой схеме было предусмотрено ручное и автоматическое управление установкой пожаротушения W4. Для ручного пожарного извещателя предназначена кнопка W5, расширительные бачки дренажного и пожарного насосов имеют датчики нижнего X5, X2 и верхнего уровней X6, X3.

Алгоритм работы насосов следующий: пожарный насос Y1 включается от датчика обнаружения пожара X0 или от ручного пожарного извещателя W5. Для работы пожарного насоса необходимо наличие воды в пожарном бачке X1. Пожарный насос отключается от кнопки ручного управления X2 или от датчика нижнего уровня воды в расширительном бачке пожарного насоса X1. Дренажный насос Y2 закачивает воду (рассол) из дренажного приемка в бачки-расширители дренажного и пожарного насосов до их наполнения X6, X3; для работы дренажного насоса необходимо наличие воды (рассола).

Графы состояний и переходов управления пожарным Y1 и дренажным Y2 насосами показаны на рис. 2, 3.

Логические функции, соответствующие графам состояний и переходов управления пожарным Y1 и дренажным насосами Y2, представлены в следующих зависимостях:

$$Y1 = (W4 \cdot X0 \vee \overline{W4} \cdot W5 \vee Y1) \cdot X1 \cdot \overline{X2}; Y2 = X5 \cdot (X6 \vee Y2) \cdot X3.$$

Разработанная релейно-контактная схема управления установкой пожаротушения показана на рис. 4.

Описание работы схемы управления насосами приведено в табл. 2.

Внедрение данной автоматизированной системы пожаротушения будет способствовать безопасности и уменьшению подобных несчастных случаев в шахте.

**Таблица 2. Описание работы схемы управления насосами.**  
**Table 2. Description of the pump control circuit.**

Описание работы	LD
Сработал детектор дыма. Включился пожарный насос	
Включение пожарного насоса от ручного извещателя	
Работа пожарного насоса осуществляется через блокировку	
Верхние уровни воды в расширительных бачках не достигнуты. Работает дренажный насос	
Пожарный насос отключился из-за отсутствия воды	
Выключение пожарного насоса от ручного выключателя	

**Заключение**

Рассмотрена ситуация возгорания рудника Третьего Соликамского калийного рудоуправления предприятия «Урал-калий», в результате чего погибли 9 горняков-проходчиков. Для уменьшения рисков гибели людей и порчи имущества предприятия разработана модель управления системой пожаротушения шахты Соликамского рудоуправления. Разра-

ботаны принципиальная и релейно-контактная схемы управления насосами. Предложенное программно-аппаратное обеспечение поможет предотвратить возникновение аварийных ситуаций и несчастных случаев и обеспечит повышение безопасности работников СКРУ-3 при работе в шахте.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяков С.П. ОАО «Уралкалий»: История и перспективы развития // Горный журнал. 2008. № 10. С. 14–17.
2. Рангулова В. Версия: девять шахтеров погибли в Соликамске из-за русского «авось» // Комсомольская правда. 2018, 24 декабря. <https://www.perm.kp.ru/daily/26924/3971805>
3. Johnson A. L., Dipnall J. F., Dennekamp M., Williamson G. J., Gao C. X., Carroll M. T. C., Dimitriadis C., Ikin J. F., Johnston F. H., McFarlane A. C., Sim M. R., Stub D. A., Abramson M. J., Guo Y. Fine particulate matter exposure and medication dispensing during and after a coal mine fire: A time series analysis from the Hazelwood Health Study // Environmental Pollution. 2019. Vol. 246. P. 1027–1035. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.085>
4. Abashidze G., Iliash N., Moraru R. I., Tsvetava D. The possibility of safety improvement through exogenous fire prediction in mine workings and transport tunnels // Quality – Access to Success. 2019. Vol. 20, issue S1. P. 7–12.
5. Jones R., Lee S., Maybery D., McFarlane A. Experiences of a prolonged coal-mine fire // Disaster Prevention and Management: An International Journal. 2018. Vol. 27 (5). P. 534–545. <http://dx.doi.org/10.1108/DPM-05-2018-0145>
6. Xiao Y., Chen L., Zhang X., Shuaijing R., Li D. Controlling Fire of Belt Conveyor and Ventilation Network Calculation in Underground Coal mines // Earth and Environmental Science: IOP Conference Series. 2018. Vol. 189(4). 042028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/189/4/042028>
7. Hansen R. Fire behaviour of multiple fires in a mine drift with longitudinal ventilation // International Journal of Mining Science and Technology. 2019. Vol. 29(2). P. 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.05.005>
8. Середина Т. Г., Кушнарёва О. В., Костарев С. Н., Устинов А. И., Михайлова М. А. Снижение пожаровзрывоопасности объектов депонирования отходов // Пожарная безопасность. 2008. № 3. С. 84–89.
9. Костарев С. Н. Пожарная автоматика, управление и связь. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017. 123 с.
10. Липанов А. М., Вахрушев А. В. Задача о диспергировании порошковых материалов взрывом // Прикладная механика. 1991. Т. 27, № 2. С. 47–53.
11. Зборщик М. П., Осокин В. В. Горение пород угольных месторождений и их тушение. Донецк: ДонГТУ, 2000. 180 с.
12. Лобазнов А. В. Разработка способа и средств обнаружения начальной стадии подземных пожаров: автореф. ... дис. канд. техн. наук. М.: МГГУ, 2011. 22 с.
13. Kong B., Li Z., Yang Y., Liu Z., Yan D. A review on the mechanism, risk evaluation, and prevention of coal spontaneous combustion in China // Environmental Science and Pollution Research. 2017. Vol. 24, issue 30, P. 23453–23470. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0209-6>
14. Kostarev S. N., Sereda T. G., Tatarnikova N. A., Kochetova O. V. Development of electric drive for centrifugal mine pumps in Solikamsk Potassium Mine Group Based on Industrial OMRON Controller // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2018. Vol. 327. 022064. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/2/022064>
15. Поляков С. И., Короборчев Р. Н. Исследование автоматического управления переместительными операциями на базе контроллера // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2018. Т. 6, № 4 (40). С. 355–361.
16. Чекавинская Я. Решения Omron для успешной реализации цифровой трансформации промышленных предприятий // Станкоинструмент. 2018. № 3 (12). С. 78–81.

Статья поступила в редакцию 27 января 2019 г.

# Development of an automated fire-fighting system for the mine of the Third Solikamsk potash-mine administration

Tat'yana Gennad'evna SEREDA\*

Perm State Agro-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia  
Perm filial of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Perm, Russia

**The relevance of the work** is due to the need to reduce the risk of mortality of miners in case of fire.

**The purpose of the work:** development of an automation fire-fighting system to ensure the safety of employees of the Third Solikamsk potash-mine administration.

**Methodology of the research:** solving the problem of analyzing and synthesizing the finite-state automation described by the logical equations of the automated fire-fighting system; software development for the Omron industrial controller.

**Results.** The information about accidents at the Uralkali was analyzed. The object of research was the fourth mine of the Third Solikamsk potash-mine administration. SKRU-3 is one of the three mines in Solikamsk, where the extraction of potassium and magnesium salts is carried out by an underground mining method at a depth of 100 to 500 m. A fatal accident was identified. As a result of smoke generation and fire 9 people died, the builders of the contracting organization, at the fourth mine at a depth of 363 m. The main contract work of the main shaft was performed by employees of the Construction Management No. 30 Federal State Unitary Enterprise from Bashkortostan. When developing a fire-fighting system, a functional scheme for motor control by a drainline pump and a high-pressure fire pump was built, which provides for manual and automatic control of the pumps. It is recommended to install low and high-level sensors and other equipment in the expansion tank and the desalination tank of the drainage pump: pump control sensors, level signaling sensor with remote data transmission. The logical equations and relay contact circuit of the equipment were developed. It is offered the use of software and hardware based on the Omron microcontroller in the engineering section. The simulation modeling of pumps was carried out.

**Conclusion.** To reduce the risk of mortality and damage to property, a model has been developed for managing the fire-fighting system of the mine management. The principle and relay-contact pump control circuit have been developed. The proposed hardware and software will help prevent alarm conditions and accidents and will increase the safety of the SKRU-3 employees when working in the mine.

**Keywords:** automatic fire-fighting equipment, relay-contact circuit, mine, microcontroller, occurrence rate of industrial injuries.

## REFERENCES

1. Dyakov S. P. Uralkali: 2008, History and prospects of development. *Gornyi Zhurnal* [Mining journal], no. 10, pp. 14–17. (In Russ.)
2. Rangulova V. 2018, Version: Nine miners died in Solikamsk because trusting to luck. *Komsomolskaya Pravda*. December 24th. <https://www.perm.kp.ru/daily/26924/3971805>
3. Johnson A. L., Dipnall J. F., Dennekamp M., Williamson G. J., Gao C. X., Carroll M. T. C., Dimitriadis C., Ikin J. F., Johnston F. H., McFarlane A. C., Sim M. R., Stub D. A., Abramson M. J., Guo Y. 2019, Fine particulate matter exposure and medication dispensing during and after a coal mine fire: A time series analysis from the Hazelwood Health Study. *Environmental Pollution*, vol. 246, pp. 1027–1035. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.085>
4. Abashidze G., Iliash N., Moraru R. I., Tsverava D. 2019, The possibility of safety improvement through exogenous fire prediction in mine workings and transport tunnels. *Quality – Access to Success*, vol. 20, issue S1, pp. 7–12.
5. Jones R., Lee S., Maybery D., McFarlane A. 2018, Experiences of a prolonged coal-mine fire. *Disaster Prevention and Management. An International Journal*, vol. 27 (5), pp. 534–545. <http://dx.doi.org/10.1108/DPM-05-2018-0145>
6. Xiao Y., Chen L., Zhang X., Shuaijing R., Li D. 2018, Controlling Fire of Belt Conveyor and Ventilation Network Calculation in Underground Coal mines. *Earth and Environmental Science: IOP Conference Series*, vol. 189(4), 042028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/189/4/042028>
7. Hansen R. 2019, Fire behaviour of multiple fires in a mine drift with longitudinal ventilation. *International Journal of Mining Science and Technology*, vol. 29(2), pp. 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.05.005>
8. Sereda T. G., Kushnareva O. V., Kostarev S. N., Ustinov A. I., Mikhailova M. A. 2008, Reduction of fire and explosion hazard of waste Deposit facilities. *Pozharnaya bezopasnost'* [Fire safety], no. 3, pp. 84–89. (In Russ.)
9. Kostarev S. N. 2017, *Pozharnaya avtomatika, upravleniye i svyaz'* [Fire automation, control and communication]. Perm, 123 p.
10. Lipanov A. M., Vakhrushev A. V., 1991, The problem of dispergation of powder materials by explosion. *Prikladnaya mekhanika* [International applied mechanics], vol. 27, no. 2, pp. 47–53. (In Russ.)
11. Zborshchik M. P., Osokin V. V., 2000, *Goreniye porod ugol'nykh mestorozhdeniy i ikh tusheniye* [Combustion of rocks of coal deposits and their extinguishing]. Donetsk, 180 p.
12. Lobzanov A. V., 2011, *Razrabotka sposoba i sredstv obnaruzheniya nachal'noy stadii podzemnykh pozharov* [Development of the method and means of detecting the initial stage of underground fires], PhD thesis. Moscow, 22 p.
13. Kong B., Li Z., Yang Y., Liu Z., Yan D. 2017, A review on the mechanism, risk evaluation, and prevention of coal spontaneous combustion in China. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, issue 30, pp. 23453–23470. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0209-6>
14. Kostarev S. N., Sereda T. G., Tatarnikova N. A., Kochetova O. V. 2018, Development of electric drive for centrifugal mine pumps in Solikamsk Potassium Mine Group Based on Industrial OMRON Controller. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 327. 022064. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/2/022064>
15. Polyakov S. I., Koroborchev R. N. 2018, The study of automatic control of the commutative operations based on controller. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual areas of research of the XXI century: theory and practice], vol. 6, no. 4 (40), pp. 355–361. (In Russ.)
16. Chekavinskaya Ya. 2018, Omron solutions for the successful implementation of digital transformation of industrial enterprises. *Stankoinstrument* [Stankoinstrument], no. 3 (12), pp. 78–81. (In Russ.)

The article was received on January 27, 2019

\*✉ [iums@dom.raid.ru](mailto:iums@dom.raid.ru)

 <https://orcid.org/0000-0002-7682-9013>