

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ В ШАХТУ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА OMRON

С. Н. Костарев, Т. Г. Серeda

Development of system of mine access control based on industrial controller OMRON

S. N. Kostarev, T. G. Sereda

The article analyzes the statistics on accidents at the workplace PJSC «Uralkaliy». Object of study is the mine of second Solikamsk potassium and ore management. The analysis of the company showed that the greatest number of accidents was due to jamming and collision with moving objects. One of the fatal accidents was a result of jamming of the lock gates. This study examines the construction of the drive airlock doors and characteristics the drive control station. In order to eliminate injury and fatal accidents in the sluice gate authors designed an advanced contactor-relay circuit and developed recommendations for the installation of additional equipment. The description of the graph on work for the door adds the necessary logic elements. The article shows a designed graph of states and transitions for cargo control gate. Authors introduce the notation of logic elements for the lock gates. In the construction part, authors propose using of hardware and software based on OMRON microcontroller with the development of contactor-relay circuits for the automation of control system of lock gates of the mine, a result of the implementation of which will increase the safety of miners at work in the mine. Authors also developed a dialog box for the control and monitoring of settings for the mine access, which includes the duplex screen. Automated and manual control for the mine access are provided. The study offers a simulation of the work of the ladder diagram with the description of the gate operation scheme. Using the developed control ladder diagram of engine gate will greatly improve reliability.

Keywords: occupational injuries; ladder diagram; sluice gates; graph of states and transitions; microcontroller.

В статье проанализирована статистика несчастных случаев на рабочих местах ПАО «Уралкалий». Объектом исследований явилась шахта второго Соликамского калийно-рудникового управления. Проведенный анализ деятельности предприятия показал, что наибольшее количество несчастных случаев было вызвано заземлением и столкновением с движущимися объектами. Как выяснилось, один из несчастных случаев со смертельным исходом произошел в результате заземления шлюзовыми воротами. Изучено устройство привода шлюзовой двери, рассмотрены особенности постов управления электроприводом. С целью устранения несчастных случаев, связанных с травмированием и гибелью людей на шлюзовых воротах, разработана усовершенствованная релейно-контактная схема, а также разработаны рекомендации по установке дополнительного оборудования. Для описания графа работы ворот введены необходимые логические элементы. Разработан граф состояний и переходов управления грузовыми воротами. Введены обозначения логических элементов для шлюзовых ворот. В конструкторской части предложено использование программно-аппаратного обеспечения на основе микроконтроллера OMRON с разработкой релейно-контактных схем для автоматизации системы управления шлюзовыми воротами шахты, в результате внедрения которой повысится безопасность шахтеров при работе в руднике. Разработано диалоговое окно по

управлению и мониторингу параметров доступа в рудник, включающего дуплексный экран. Предусматривается автоматизированное и ручное управление доступом в шахту. Проведено имитационное моделирование работы алгоритма лестничной диаграммы с описанием работы схемы управления воротами. При использовании разработанной релейно-контактной схемы управления двигателем ворот вероятность безотказной работы будет значительно выше.

Ключевые слова: производственный травматизм; релейно-контактная схема; шлюзовые ворота; граф состояний и переходов; микроконтроллер.

Настоящие исследования были выполнены на примере предприятия ПАО «Уралкалий», которое специализируется на производстве калийных удобрений и занимает одно из лидирующих мест на мировых рынках минеральных удобрений. ПАО «Уралкалий», и в частности второе Соликамское калийно-рудниковое управление (СКРУ-2), является одним из крупнейших производителей минеральных удобрений в Российской Федерации. Основным продуктом работы предприятия является хлористый калий.

Основные производственные мощности ПАО «Уралкалий» расположены в Пермском

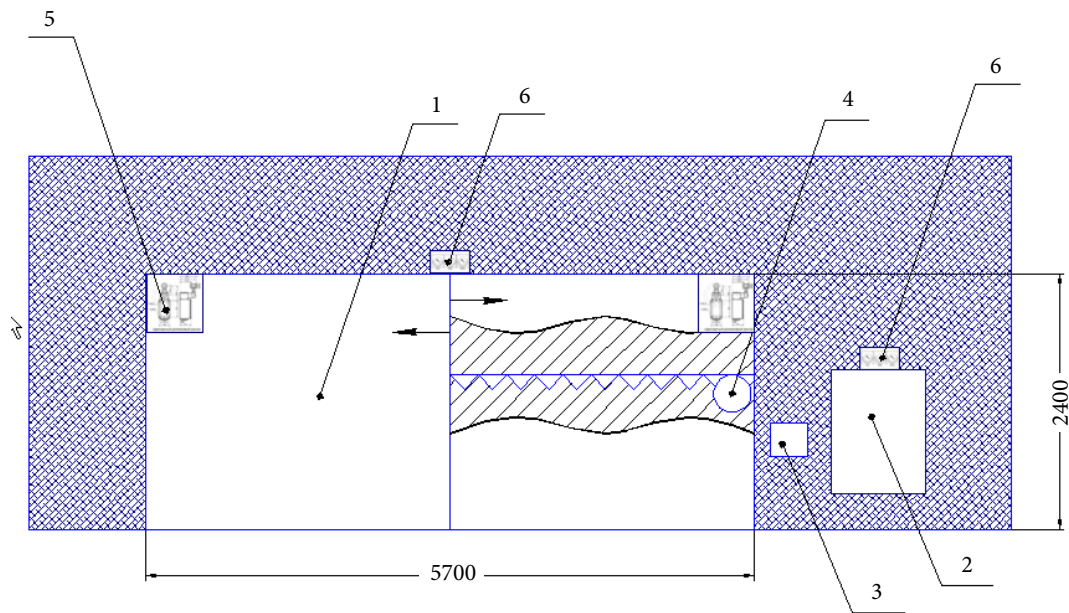


Рисунок 1. Схема шлюзовых ворот. 1 – грузовые ворота; 2 – люк для прохода людей; 3 – пульт управления и устройство считывания; 4 – электродвигатель;

5 – конечный выключатель; 6 – датчики движения и магнитная петля / **Figure 1 | Scheme of sluice gates.**

крае и в Ленинградской области. Рудные запасы предприятия находятся на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей, которое является вторым по величине разведанным месторождением в мире, содержащим более 3,8 млрд т калийной руды [1].

ПАО «Уралкалий» производит три основных вида калийных удобрений: гранулированный, белый и розовый хлористый калий. Каждый из них производится из калийной руды, содержащей хлористый калий, смешанный с прочими минералами природного происхождения. Виды продукции ПАО «Уралкалий» различаются по содержанию калия, консистенции и способу производства.

Компания является одним из самых высокодоходных и наиболее низкочастотных производителей калийных удобрений в мире, главным образом благодаря имеющемуся доступу к недорогим энергетическим и трудовым ресурсам. Однако производственный травматизм на предприятии остается ещё на достаточно высоком уровне [2].

На основании анализа несчастных случаев был выявлен один случай со смертельным исходом, происшедший 16 сентября 2014 г. в 9 ч 40 мин в результате воздействия подвижных механизмов. Погиб слесарь по обслуживанию и ремонту оборудования 5 разряда, которого зажало дверью шлюзовых ворот № 2 транспортного уклона в ЗУМПФ ствола № 5 [3]. Для предотвращения подобных несчастных случаев была разработана автоматизированная систе-

ма управления доступом в шахту, в частности управления шлюзовыми воротами. Шлюзовая дверь была изготовлена из стали, сварная, толщиной 140 мм. Дверь перемещается по направляющей, закрепленной на неподвижной стенке – перегородке по сечению горной выработки. Мотор-редуктор привода двери установлен на раме, закрепленной на неподвижной перегородке. Приводом являлся цилиндрический мотор-редуктор 4МЦ2С, передающий движение через открытую зубчатую передачу на рейку, установленную на двери. Электродвигатель привода марки АИР 100L4P3 мощностью 4 кВт, частотой вращения 1000 об/мин [3]. Для включения привода служили посты управления кнопочные «КУ-92» производства ОАО «ВЭЛАН». Рядом с пускателем в неподвижной перегородке установлен люк с дверкой (рис. 1). Дверка изготовлена из стали, свободно закрывается и открывается, имеет запирающее устройство, позволяющее открывать и закрывать люк с любой стороны.

Для устранения несчастных случаев, связанных с травмированием и гибелью людей, на шлюзовых воротах была разработана новая релейно-контактная схема с установкой дополнительного оборудования; рекомендовано установить датчики движения и магнитной петли (рис. 1). Ранее подходы по автоматизированному управлению процессами на сложных объектах были представлены в работах [4–7]. В предлагаемой разработке были использованы методические указания [8].

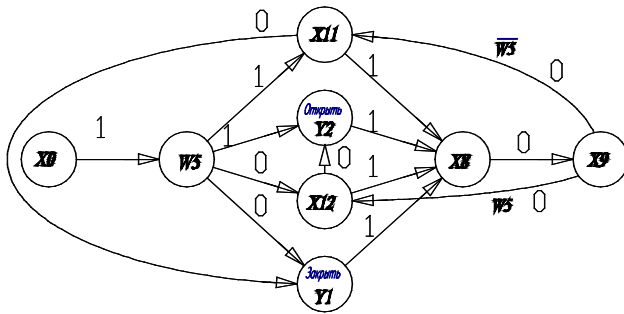


Рисунок 2. Граф состояний и переходов управления шлюзовыми воротами / Figure 2 | Graph of states and transitions of sluice gates control

Таблица 1 | Обозначение логических элементов для шлюзовых ворот

Переменная	Обозначение	Пояснение
X0	СЧВ	Считыватель пропуска, ворота грузовые
Y1	Q:100.01	Двигатель, закрывающий ворота
Y2	Q:100.02	Двигатель, открывающий ворота
X8	I:0.08	Датчик «Магнитная петля»
X9	I:0.09	Датчик движения
X11	ВКВ1.00	Датчик «Закрытые ворота»

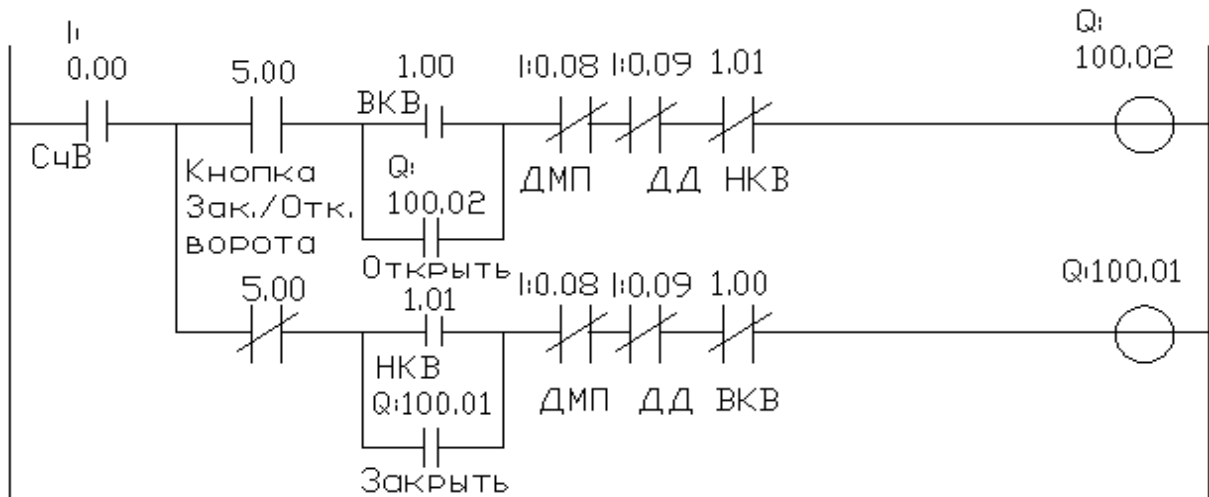


Рисунок 3. Релейно-контактная схема управления воротами / Figure 3 | Ladder diagram of gates control.

Для решения поставленной задачи были введены необходимые логические элементы для описания графа работы ворот (табл. 1). Общий доступ в шахту разрешается по пропуску (X₀). На воротах предусмотрены концевые выключатели X₁₁ – датчик «Закрытые ворота» и X₁₂ – датчик «Открытые ворота», также датчик движения X₉ и датчик «Магнитная петля» X₈. Граф состояний и переходов управления грузовыми воротами показан на рис. 2. Ворота закрываются из положения «Открытые ворота» и открываются из положения «Закрытые ворота». При срабатывании датчика движения и датчика «Магнитная петля» двигатель останавливается.

Разработанная релейно-контактная схема (РКС) управления шлюзовыми воротами показана на рис. 3.

Для удовлетворения требований безопасности предложена разработка человеко-машинной имитационной системы, состоящей из следующих основных частей: сенсорный монитор оператора управления доступом в шахту (рис. 4) (см. руководство по контроллеру OMRON «CX-

Designer»); совокупности программ, реализующих РКС (см. руководство по контроллеру OMRON «CX-Programmer»).

Разработанная структура диалогового окна управления системой доступа в шахту показана на рис. 5. Диалоговое окно оператора доступа в шахту и управления локальных сооружений откачки фильтра из шахты СКРУ-2 содержит дуплексный экран по управлению (Экран 1) и мониторингу параметров доступа (Экран 2) (рис. 6). Предусматривается автоматизированное и ручное управление (кнопка «Авт./Руч.»). В автоматическом режиме производится авторегулирование параметров системы согласно разработанному алгоритму. В ручном режиме оператор управляет установкой, пользуясь пультом управления.

Описание работы схемы управления воротами приведено в табл. 2.

РКС управления двигателем ворот показаны на рис. 7, где приведена схема с наличием датчика движения (рис. 7, а) и упрощенная РКС несчастного случая, происшедшего на СКРУ-2 (рис. 7, б).



Рисунок 4. Стенд сенсорного монитора оператора и контроллер / Figure 4 | Platform of touch monitor and controller.



Рисунок 5. Структура диалогового окна управления системой доступа в шахту / Figure 5 | Structure of the dialog box to control the mine access.

Таблица 2 | Описание работы схемы управления воротами

№	Описание работы	РКС	Панель оператора
1	Идентификация пропуска. На считыватель (СчВ) поступает значение 1 (если пропуск подошел)		
2	Закрытие ворот (при положении переключателя W5 в состояние откл. «0») сигнал идет по нижней ветке на замкнутую кнопку откл. W5 (5,00), значение на датчике открытия ворот должно быть 1 (т. е. ворота находятся в положении «Открыто»), срабатывает закрывающий двигатель (100,01), сигнал проходит через замкнутый контакт (0,08) – ДМП, датчик движения (0,09) и датчик «Конечный выключатель» закрытия ворот (ВКВ) → ворота начинают закрываться		
3	Ворота отошли из крайнего открытого положения. Конечный датчик «Открытия ворот» (НКВ) разомкнулся, ток на двигатель пошел через блокировку		
4	Сработал «Датчик движения» (ДД), ворота остановились		
5	Сработал «Датчик магнитная петля» (ДМП), ворота остановились		
6	Сработал «Конечный Датчик» (ВКВ) – крайнее закрытое положение, ворота остановились		
7	Сработал «Конечный Датчик» (ВКВ) – крайнее закрытое положение, ворота остановились		

Влияние неисправности компонентов на отказ РКС показано в табл. 3.

Для расчета вероятности безотказной работы системы структурную схему соединения управляющих контактов и датчиков следует представить в эквивалентном виде

(рис. 8).

В системе с последовательной структурой отказ любого компонента приводит к отказу системы в целом, а в системе с параллельной структурой отказ системы в целом происходит только при отказе всех элементов.

ОТЧЕТ Доступа в шахту				
Время события	Событие	ФИО водителя	Марка машины	Гос. номер
18/01/16 21:29	Alarm Message			
* 18/01/16 21:29	Alarm Message			
18/01/16 21:29	Alarm Message			
* 18/01/16 21:28	Alarm Message			
18/01/16 21:28	Alarm Message			

Рисунок 6. Мониторинг параметров системы (отчет доступа в шахту). «Alarm» – событие открывания/закрывания ворот / Figure 6 | Monitoring of system settings for the mine access.

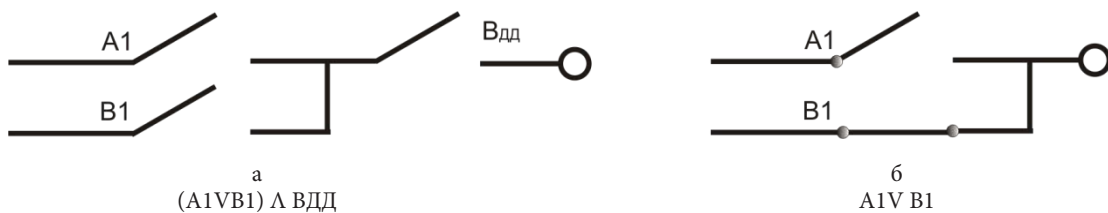


Рисунок 7. Релейно-контактные схемы управления двигателем ворот. а – схема с наличием датчика движения (ВДД); б – упрощенная РКС несчастного случая, происшедшего на СКРУ-2 / Figure 7 | Control ladder diagram of engine gate.

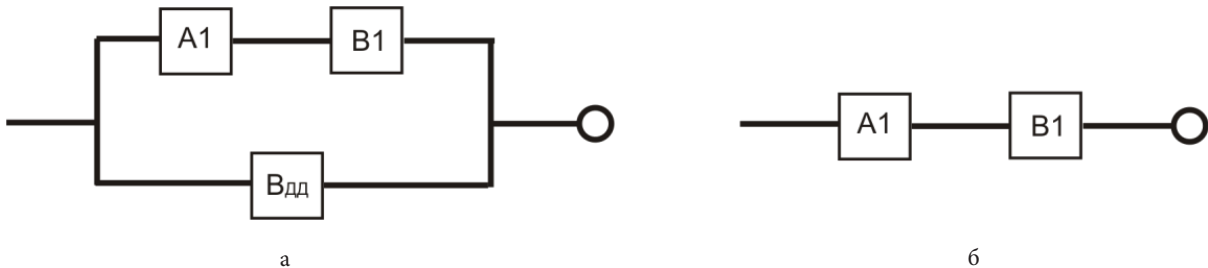


Рисунок 8. Схемы для расчета вероятности безотказной работы системы управления двигателем ворот. а – схема с наличием датчика движения (В_{дд}); б – существующая схема / Figure 8 | Calculation schemes for control system of engine gate reliability.

Вероятность безотказной работы существующей схемы (рис. 8, б) будет рассчитываться по последовательной структуре по формуле (1)

$$P_{CC}(t_0) = P_{A1}(t_0)P_{B1}(t_0). \quad (1)$$

Если предположить, что все компоненты системы имеют одинаковое экспоненциальное распределение времени работы до отказа с параметром интенсивности отказов $\lambda = 0,0005$ 1/ч., рассчитаем время безотказной работы за 1000 ч. при ненагруженном режиме работы по формуле (2) [8]

$$(1 + k\lambda t_0) e^{-k\lambda t_0}, \quad (2)$$

где k – количество элементов.

Таблица 3 | Влияние неисправности компонентов на отказ РКС

Компонент	Отказ
Контакты кнопок «А1», «В1»	Случайные нажатия
Контакты кнопки «А1», «В1» или датчика «ВДД»	Замыкание вследствие механического повреждения

Отсюда получаем:

$$P_{A1}(1000) = P_{B1}(1000) = P_{Вдд}(1000) = (1 + 2 \cdot 0,0005 \cdot 1000) e^{-2 \cdot 0,0005 \cdot 1000} = 0,8.$$

Тогда вероятность отказа существующей схемы P_{CC} будет равна

$$P_{CC}(1000) = 0,8 \cdot 0,8 = 0,64.$$

Вероятность безотказной работы схемы с наличием датчика движения $V_{дд}$ (рис. 8, а) будет рассчитываться по системе с резервированием

$$P_p(t_0) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - p_i(t_0)), \quad (3)$$

где $p_i(t_0)$ – вероятность безотказной работы i -го элемента.

Тогда вероятность отказа схемы с резервированием P_p будет равна

$$\begin{aligned} P_p(1000) &= 1 - \left(1 - P_{V_{дд}}(1000)\right) \left(1 - P_{CC}(1000)\right) = \\ &= 1 - (1 - 0,8)(1 - 0,64) = 0,928. \end{aligned}$$

Таким образом, вероятность безотказной работы РКС с датчиком движения значительно выше, чем при ранее действующей схеме. Внедрение данной автоматизированной системы будет способствовать безопасности и уменьшению подобных несчастных случаев в шахте.

Принято к публикации 13.02.2016

ЛИТЕРАТУРА

1. ПАО «Уралкалий». URL: <http://www.uralkali.com/ru>
2. Положение о производственном контроле за соблюдением требований промышленной безопасности на опасных производственных объектах ПАО «Уралкалий» от 01.06.2000. URL: <http://www.uralkali.com/ru>
3. Акт расследования несчастного случая со смертельным исходом от 16 сентября 2014 г. ООО «Уралкалий-Ремонт». URL: <http://www.uralkali.com/ru>
4. Михайлова М. А., Еланцева Е. Н., Серeda Т. Г. Разработка автоматизированной системы орошения на базе промышленного контроллера OMRON / Молодежная наука 2014: технологии, инновации: сб. трудов Всерос. науч.-практ. конф. Пермь: ПГСХА. 2014. С. 276–279.
5. Костарев С. Н., Серeda Т. Г., Михайлова М. А. Программно-аппаратный комплекс управления качеством фильтрационных стоков // Экологические системы и приборы. 2014. № 3. С. 39–46.
6. Костарев С. Н., Серeda Т. Г., Михайлова М. А. Разработка автоматизированной системы мониторинга и управления природно-техническими системами утилизации отходов // Фундаментальные исследования. 2013. № 6–2. С. 273–277.
7. Серeda Т. Г., Костарев С. Н. Разработка методов проектирования автоматизированных систем обра-

ботки информации и управления искусственными экосистемами хранения отходов // Экологические системы и приборы. 2006. № 11. С. 21–24.

8. Козлов Б. А., Ушаков И. А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: Советское радио, 1975. 472 с.

REFERENCES

1. PAO «Uralkaliy» [PJSC «Uralkaliy»]. Available at: <http://www.uralkali.com/ru>
2. *Polozhenie o proizvodstvennom kontrole za soblyudeniem trebovaniy promyshlennoy bezopasnosti na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh PAO «Uralkaliy» ot 01.06.2000 goda* [Regulations on production control over compliance with industrial safety at hazardous production facilities of JSC «Uralkali» from 01.06.2000]. Available at: <http://www.uralkali.com/ru>
3. *Akt rassledovaniya neschastnogo sluchaya so smertel'nym iskhodom ot 16 sentyabrya 2014 goda. OOO «Uralkaliy-Remont»* [Act investigation of the accident with a fatal outcome on September 16, 2014 LLC «Uralkaliy-Remont»]. Available at: <http://www.uralkali.com/ru>
4. Михайлова М. А., Еланцева Е. Н., Серeda Т. Г. 2014, *Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy orosheniya na baze promyshlennogo kontrolera OMRON* [Development of an automated irrigation system on the basis of the industrial controller Omron]. *Molodezhnaya nauka 2014: tekhnologii, innovatsii: sbornik trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Youth Science 2014: Technology, Innovation: Proceedings of All-Russian scientific-practical conference], pp. 276–279.
5. Kostarev S. N., Sereda T. G., Mikhaylova M. A. 2014, *Programmno-apparatnyy kompleks upravleniya kachestvom fil'tratsionnykh stokov* [Hardware-software complex of quality management of leachate]. *Ekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological Systems and Devices], no. 3, pp. 39–46.
6. Kostarev S. N., Sereda T. G., Mikhaylova M. A. 2013, *Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy monitoringa i upravleniya prirodno-tekhnicheskimi sistemami utilizatsii otkhodov* [Development of an automated system for monitoring and management of natural and technical waste management systems]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], no. 6–2, pp. 273–277.
7. Sereda T. G., Kostarev S. N. 2006, *Razrabotka metodov proektirovaniya avtomatizirovannykh sistem obrabotki informatsii i upravleniya iskusstvennymi ekosistemami khraneniya otkhodov* [Development of methods for the design of automated systems of information processing and management of artificial ecosystems of waste storages]. *Ekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological Systems and Devices], no. 11, pp. 21–24.
8. Kozlov B. A., Ushakov I. A. 1975, *Spravochnik po raschetu nadezhnosti apparatury radioelektroniki i avtomatiki* [Guide to the calculation of the reliability of electronics and automation equipment], 472 p.

Сергей Николаевич Костарев,
доктор технических наук, профессор
iums@dom.raid.ru

Татьяна Геннадьевна Серeda,
доктор технических наук, профессор

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет
Россия, Пермь, Комсомольский пр., 29

Sergey Nikolaevich Kostarev,
Dr, Professor
iums@dom.raid.ru
Tatyana Gennad'evna Sereda,
Dr, Professor

Perm National Research
Polytechnic University
Perm, Russia