

УДК 614.838.43

otrid@rambler.ru

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ ПОЖАРНОЙ  
АВТОМАТИКИ КАК СПОСОБА СНИЖЕНИЯ ПОЖАРНОЙ  
И ПРОМЫШЛЕННОЙ ОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ****SUBSTANTIATION OF THE APPLICATION OF THE RELIABILITY INDICATOR  
OF FIRE AUTOMATION, AS A WAY TO REDUCE FIRE AND INDUSTRIAL  
HAZARDS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES**

*Королев Д. С., кандидат технических наук,  
Воронежский государственный  
технический университет, Воронеж*

*Korolev D.,  
Voronezh state technical university, Voronezh*

Мировое сообщество призывает максимально быстро осуществить энергетический переход от добычи и потребления полезных ископаемых к чистым видам топлива и низкоуглеродным технологическим процессам, в частности к использованию водорода. Поскольку водород – химически активное вещество, в чистом виде не встречающееся в природе, то он может легко вступать в реакцию взаимодействия с различными материалами, в том числе с емкостями для хранения или транспортировки. Кроме того, данное вещество является особо взрывоопасным и требует гибкого подхода в разработке системы обеспечения пожарной безопасности, а значит актуальность темы не вызывает сомнения. В настоящей работе рассматривается вопрос исследования критериев надежности и безотказной работы пожарной автоматики, осуществляющей контроль особо взрывоопасных технологических процессов. Установлено, что через один год круглосуточного использования срок службы системы снижается более чем на 30 %, а к концу пятого года потребуется замена отдельных элементов.

*Ключевые слова:* пожарная безопасность, процесс, контроль, надежность, энергопереход.  
The world community encourages the maximum to quickly implement the energy transition from the extraction and consumption of minerals to clean fuels and low-carbon technological processes, in particular to the use of hydrogen. Since the latter is a chemically active substance, in pure form, not occurring in nature, can easily join the reaction of interaction with various materials, including with tanks for storage or transportation. In addition, this substance is particularly explosive and requires a flexible approach to the development of a fire safety system, which means that the relevance of the topic is no doubt. In this paper, the issue of studying the criteria for the reliability and reliability of fire automation, which carries out the control of particularly explosive technological processes. It has been established that after one year round-the-clock use of the system, its service life is reduced by more than 30%, and by the end of the fifth year it will be necessary to replace individual elements.

*Keywords:* fire safety, process, control, reliability, power transfers.

Согласно статистическим данным Министерства энергетики Российской Федерации, потребность в экологически чистых видах топлива значительно вырастет. Прогноз составлен в соответствии с глобальным планом Евросоюза достичь полной углеводородной нейтральности к 2050 г., что позволит обеспечить равенство вредных выбросов, выделяемых в атмосферу за счет развития углеродно-отрицательных проектов [1].

Отечественные крупные энергетические компании полностью поддерживают переход к низкоуглеродной экономике, о чем сравнительно недавно заявил В. В. Путин, выступая в октябре 2021 г. с докладом «Изменение климата и окружающая среда» на пленарном заседании саммита G20 [2]. Отмечено, что Россия активно развивает технологии в области энергоизменений, тем самым планируя обеспечить себе место крупного поставщика природного газа и водорода на глобальном или локальном рынке. При этом, мировой рынок представляет собой сбыт «чистого» топлива по аналогии с северными потоками, а местный рынок подразумевает потребление и производство в рамках одной страны, т. е. происходит дальнейшее развитие направления «двойной циркуляции» о чем детально говорилось в статье [3].

На начальном этапе по достижению поставленной цели, экспертами профильных министерств и ведомств РФ разработана Концепция развития водородной энергетики до 2024 г., содержащая основной алгоритм действий государства, успешная реализация которого позволит экспортировать свыше 35 млн тонн экологически чистых энергетических ресурсов, обеспечивая доход федеральному бюджету в 100 млрд долларов в год.

Однако в работах [4, 5] неоднократно поднимался актуальный вопрос о необходимости совершенствования системы управления и обеспечения пожарной безопасности в условиях энергопере-

хода, что обусловлено взрывопожароопасностью водорода, который планируется использовать как топливо во многих отраслях. Поскольку потенциальный источник энергии не представлен в окружающей среде в чистом виде, это характеризует его как химически активное вещество, легко вступающее во взаимодействие с любыми веществами и материалами, включая емкости для хранения, газотранспортной системы и газораспределительной системы.

С научно-технической точки зрения использование существующего инженерного фонда для транспортировки водорода практически невозможно:

- *происходит* колоссальная утечка через микротрещины;
- *происходит* деградация внутренней поверхности труб;
- *происходит* повышение требований к материалу изготовления в связи с увеличением давления сжатия.

Обеспечить исправное функционирование системы возможно, но при условии разбавления транспортируемого природного газа 30–70 % водорода, в зависимости от года постройки перекачивающей системы. Не менее сложная ситуация обстоит с декарбонизацией в промышленных масштабах, используемым оборудованием в производстве, поскольку для минимизации рисков возникновения чрезвычайных ситуаций [6]:

- производственное оборудование должно изготавливаться из материалов, работающих при очень высоких или криогенных температурах, иметь теплоизоляцию и узлы компенсации температурных деформаций;
- обеспечение герметичности должно достигаться за счет применения сварных соединений высокой прочности, а разъемные соединения должны быть сведены к минимуму;
- в резервуаре должно постоянно поддерживаться избыточное давление, исключая вероятность образования взрывопожароопасных смесей;

– необходимо применение предохранительных клапанов и разрывных мембран и т. д.

Это не полный перечень превентивных мероприятий и в условиях риск-ориентированного подхода, система обеспечения будет комплексной и дифференцированной, а при расчете пожарных рисков производственного объекта будет учитываться вероятность эффективного срабатывания технического средства при моделировании пожара (пожаров).

Отметим, что управление крупными производственными объектами защиты осуществляется максимально дистанционно, минимизируя участие человека во взрывоопасных зонах, что их и объединяет. Контроль проводится пожарной автоматикой, в частности датчиками, расположенными на оборудовании выполненными во взрывозащищенном электроисполнении с применением взрывозащиты вида – искробезопасные электрические цепи. Считываемая информация, независимо от режима работы, выводится на пульт дежурного

оператора, и в случае необходимости принимаются оперативные управленческие решения.

Отсюда целью исследования является анализ надежной работы системы длительного использования. В качестве объекта исследования определены пожарные извещатели пламени, основная область применения которых связана с реагированием на горение горючих газов и легковоспламеняющихся жидкостей. Процесс определения безотказности и вероятности нормального функционирования технического устройства – представят предмет исследования. Исходные данные для проведения расчетов:

- техническое оборудование – ИП-329 (извещатель пламени, во взрывозащищенном исполнении);
  - срок эксплуатации системы – 10 лет;
  - наработка на отказ – 60000 часов.
- Общая надежность определяется по формуле (1):

$$P_{\Pi}(t) = P_0 \cdot P(t) + (1 - P_0) \cdot V \cdot (t) \cdot P \cdot (t - t), \quad (1)$$

$P_0 = K_2$  – параметр вероятности начального состояния системы, при котором она исправна и численно равна коэффициенту готовности;

$P(t)$  – показатель безотказной работы к конкретному значению времени;

$$P(t) = e^{-t/T_m}; \quad (2)$$

$(1 - P_0)$  – численный показатель неспособного состояния технической системы к начальному моменту времени по ее применению;

$V(t)$  – вероятность определения и дальнейшего устранения отказа и проверки работоспособности системы, определяемая по формуле (3):

$$V(t) = 1 - e^{-t/T_B}; \quad (3)$$

$P(t-t)$  – численный показатель безотказной работы технической системы за промежутки времени;

$T_B$  – время, необходимое на восстановление системы.

$T_m$  – нормативное время безотказной работы системы;

Определить интенсивность отказов системы можно по формуле (4), а вероятность отказа системы за определенный

промежуток времени работы по формуле (5):

$$\lambda = 1/T_0, \tag{4}$$

$$Q = \lambda \cdot t, \tag{5}$$

$\lambda$  – вероятность отказов;  
 $T_0$  – возможная наработка на отказ;  
 $t$  – период работы системы.

Результаты расчетов представлены в табл. 1, а для наглядности вероятности отказа системы длительного использования рассмотрим график, представленный на рис.

Таблица 1  
 Сводная таблица результатов расчета

Наименование параметра	Продолжительность работы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Срок эксплуатации, лет	8760	17520	26280	35040	43800	52560	61320	70080	78840	87600
Срок эксплуатации, часов	60000									
Наработка на отказ, часов	60000									
Интенсивность отказов	1,14E-04	5,71E-05	3,81E-05	2,85E-05	2,28E-05	1,90E-05	1,63E-05	1,43E-05	1,27E-05	1,14E-05
Вероятность отказа за определенный период, P1	0,29	0,59	0,88	1,17	1,46	1,76	2,05	2,34	2,64	2,93
Вероятность безотказной работы	0,87	0,75	0,64	0,57	0,49	0,43	0,32	0,29	0,18	0,13
Средняя интенсивность отказов	3,34357E-05									

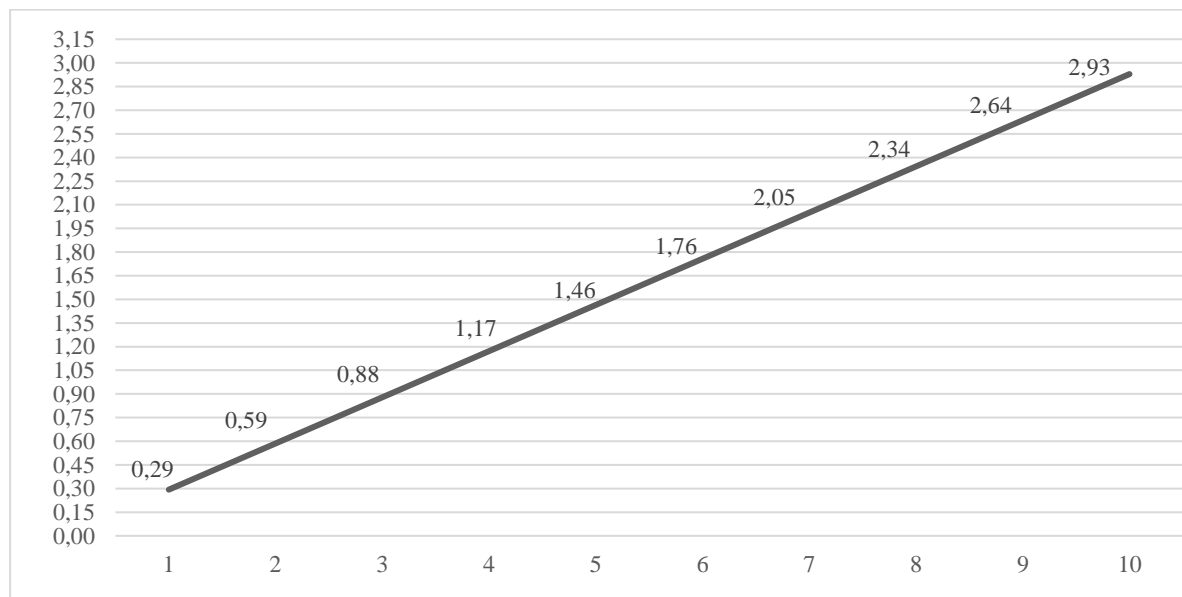


Рисунок. Вероятность отказа системы за определенный промежуток времени

Если проанализировать график вероятности отказа системы длительного использования, то надежность после первого года эксплуатации технического оборудования снижается почти на 30 %. А к концу

четвертого года этот показатель становится выше единицы, что свидетельствует о необходимости частичной замены отдельных элементов или всей системы к

концу пятого года использования. Складываясь ситуация коренным образом влияет на своевременность и достоверность получаемой информации от пожарной автоматики, а значит, вероятность раннего обнаружения опасных факторов пожара или отступлений от требований регламента технологического процесса снижается. При этом риск возникновения чрезвычайных ситуаций увеличивается.

Таким образом, одним из способов повышения надежности работы системы, в соответствии с [7], является увеличение количества технических средств извещения. Так, если рассмотреть пожарную сигнализацию, где извещатели включены параллельно в систему, то применим расчетную формулу (6):

$$P_N = 1 - (1 - P_1)^N. \quad (6)$$

Используя исходные значения, представленные в табл. 1, а также ранее полученные параметры при первом расчете,

определим вероятность отказа системы при использовании двух пожарных извещателей (табл. 2).

Таблица 2  
Расчет безотказной работы при 2-кратном увеличении устройств

Наименование параметра	Продолжительность работы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Срок эксплуатации, лет	8760	17520	26280	35040	43800	52560	61320	70080	78840	87600
Срок эксплуатации, часов	8760	17520	26280	35040	43800	52560	61320	70080	78840	87600
Наработка на отказ, часов	60000									
Интенсивность отказов	1,14E-04	5,71E-05	3,81E-05	2,85E-05	2,28E-05	1,90E-05	1,63E-05	1,43E-05	1,27E-05	1,14E-05
Вероятность отказа за определенный период, P1	0,29	0,59	0,88	1,17	1,46	1,76	2,05	2,34	2,64	2,93
Вероятность безотказной работы, P1	0,87	0,75	0,64	0,57	0,49	0,43	0,32	0,29	0,18	0,13
Вероятность безотказной работы, P2	0,98	0,93	0,87	0,81	0,73	0,67	0,53	0,49	0,32	0,24
Средняя интенсивность отказов	3,34357E-05									

Анализ полученных данных показывает, что при увеличении количества извещателей системы длительного пользования, вероятность безотказной работы повышается с 0,87 до 0,98. При этом необходимо учитывать экономическую составляющую, поскольку требуются финансовые затраты на разработку проекта и монтаж

системы, техническое обслуживание и ремонт. Таким образом, научное обоснование исследования критерия надежности пожарной автоматики, в частности пожарной сигнализации, позволит своевременно обновлять систему предотвращения возникновения пожара и обеспечит снижение пожарной и промышленной опасности технологических процессов.

#### Литература

1. Достижение углеродной нейтральности к 2050 году: самая неотложная глобальная задача. URL: <https://www.un.org/sg/ru/content/sg/articles/2020-12-11/carbon-neutrality-2050-the-world%E2%80%99s-most-urgent-mission>
2. Выступление В. Путина на саммите G20. URL: <https://ria.ru/20211031/putin-1757070044.html>
3. Королев Д. С., Калач А. В., Кончаков С. А. Математический аппарат оперативной обработки информации при принятии управленческого решения в условиях пожарной опасности // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2022. № 3. С. 137–144.

4. Королев Д. С., Калач А. В. Прогнозирование, основанное на молекулярных дескрипторах и искусственных нейронных сетях, как способ исключения образования горючей среды // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2016. № 2. С. 68–72.

5. Королев Д. С. Выбор температурного класса взрывозащищенного электрооборудования при проектировании производственных помещений с использованием дескрипторов и нейронных сетей // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2015. № 1 (14). С. 27–31.

6. ГОСТ Р 56248–2014. Водород жидкий. Технические условия: национальный стандарт Российской Федерации / ФКП «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности». М., 2019.

7. СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования.

#### References

1. Dostizhenie uglerodnoj nejtral'nosti k 2050 godu: samaya neotlozhnaya global'naya zadacha. URL: <https://www.un.org/sg/ru/content/sg/articles/2020-12-11/carbon-neutrality-2050-the-world%E2%80%99s-most-urgent-mission>

2. Vystuplenie V. Putina na sammite G20. URL: <https://ria.ru/20211031/putin-1757070044.html>

3. Korolev D. S., Kalach A. V., Konchakov S. A. Matematicheskij apparat operativnoj obrabotki informacii pri prinyatii upravlencheskogo resheniya v usloviyah pozharnoj opasnosti // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MCHS Rossii. 2022. № 3. S. 137–144.

4. Korolev D. S., Kalach A. V. Prognozirovanie, osnovannoe na molekulyarnyh deskriptorah i is-kusstvennyh nejronnyh setyah, kak sposob isklyucheniya obrazovaniya goryuchej sredy // Pozhary i chrezvy-chajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. 2016. № 2. S. 68–72.

5. Korolev D. S. Vybora temperaturnogo klassa vzryvozashchishchennogo elektrooborudovaniya pri proektirovanii proizvodstvennyh pomeshchenij s ispol'zovaniem deskriptorov i nejronnyh setej // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. 2015. № 1 (14). S. 27–31.

6. ГОСТ R 56248–2014. Водород жидкий. Технические условия: национальный стандарт Российской Федерации / ФКП «Научно-испытательный центр ракетно-космической промышленности». М., 2019.

7. СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования.