

УДК 681.5.09

С.Л. Пегушин, А.Г. ШумихинПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ
РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ КОМПЛЕКСА
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СИСТЕМ
ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ С УЧЕТОМ
ИХ НАДЕЖНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Рассматриваются методика и примеры оценивания экономической целесообразности резервирования систем автоматической противоаварийной защиты (ПАЗ) опасных производственных объектов при выборе комплекса технических средств на ее реализацию с учетом характеристик надежности элементов комплекса.

Для промышленного производственного объекта, например с непрерывным характером технологических процессов, методика основана на соотношении при проектировании экономических потерь, вызванных отказом элементов системы ПАЗ, с затратами на ее реализацию. Снижение затрат для производственного объекта, имеющего в составе системы автоматизации контроля и управления систему ПАЗ, может быть достигнуто уменьшением в процессе эксплуатации числа ложных срабатываний элементов комплекса технических средств (датчики, сигнализаторы, контроллеры, модули ввода-вывода сигналов, исполнительные устройства, барьеры искрозащиты и др.).

Снижение ложных срабатываний ПАЗ, вызывающее останов всего производства или его части, позволяет сократить непроизводственные издержки, с ним связанные. Одним из способов снижения количества ложных срабатываний является аппаратное резервирование элементов комплекса технических средств системы автоматической ПАЗ. Резервирование является широко используемым методом повышения надежности систем автоматизации крупнотоннажных непрерывных промышленных производств, для которых даже короткий простой ведет к большим экономическим потерям. Резервирование позволяет создавать вы-

соконадежные системы из типовых, относительно недорогих изделий широкого применения. При выборе структуры системы ПАЗ и определении соотношения между надежностью, диктуемой жесткими требованиями промышленной безопасности опасных производственных объектов, и ее стоимостью требуется анализ надежности-экономических предпосылок, т.е. в конечном счете – решение задачи экономической оптимизации.

Ключевые слова: *опасный производственный объект, противоаварийная защита, автоматическая система, надежность, резервирование, FMEA, экономическая целесообразность.*

S.L. Pegushin, A.G. Shumikhin

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**FEASIBILITY ANALYSIS BY SELECTING COMPLEX
OF TECHNICAL MEANS EMERGENCY SYSTEMS
WITH REGARD TO THEIR RELIABILITY
CHARACTERISTICS**

Discusses the methodology and examples of estimating the economic feasibility of the automatic backup emergency shutdown (ESD) of hazardous production facilities in the selection of the technical means for its implementation, taking into account the characteristics of reliability of the components of the complex.

Industrial production facility, such as the continuous nature of the process, the method based on the correlation of the design of the economic losses caused by the denial of elements of ESD, with the costs of its implementation. Lower costs for a production facility, which has a part of the automation system monitoring and control system of ESD, reduction can be achieved in the operation of false positives elements of the technical means (sensors, transmitters, controllers, input-output signals, actuators, and intrinsically safe barriers et al.).

Reduced false positives of ESD, causing shutdown of all or part of production, reduces non-productive costs associated with it. One way to reduce the number of false positives is redundant hardware elements of the technical means of the automatic ESD. Redundancy is a widely used method to improve the reliability of systems of automation of large continuous industrial production, for which even a short simple leads to large economic losses. Backup allows you to create a highly reliable system of standard, relatively inexpensive products widely used. When

selecting the structure of ESD and determining the balance between reliability, dictated by the stringent requirements of industrial safety of hazardous production facilities, and its cost, an analysis of reliability and economic preconditions, ie, ultimately, the solution of economic optimization.

Keywords: hazardous production facilities, emergency protection, automatic, reliability, redundancy, FMEA, economic feasibility.

Экономические потери предприятия, связанные с остановкой производства, при ложном срабатывании систем автоматической ПАЗ с учетом ее надежности можно оценить по следующей формуле [1]:

$$S_T = n \left[B \int_0^h \lambda \cdot t dt + B_0 \right],$$

где S_T – стоимость технологических потерь, связанных с рабочими (необходимыми) и ложными срабатываниями; n – число рабочих периодов или интервалов между профилактическими остановами, на которое выдвинуто количественное требование безаварийности; B – затраты на выпускаемую продукцию; B_0 – затраты на продукцию, обусловленные предварительной технологической подготовкой к пуску процесса; λ – интенсивность потока отказов оборудования системы ПАЗ; h – временной интервал использования ПАЗ.

Рассматриваются две альтернативные схемы реализации автоматической ПАЗ с расчетом экономических потерь при их отказе. Пусть, например, время безотказной работы оборудования $T_H = 100\,000$ ч, ин-

тенсивность отказов $\lambda = \frac{1}{T_H} = 0,000\,01 \text{ ч}^{-1}$, время восстановления $T_B = 2$ ч,

интенсивность восстановления $\mu = \frac{1}{T_B} = 0,5 \text{ ч}^{-1}$ [2, 3].

На рис. 1 представлена типовая надежностная схема автоматической ПАЗ с резервированным контроллером, для которой вероятность безотказной работы вычисляется по формуле

$$P = P_{\text{ДАТЧИК}} \cdot P_{\text{БАРЬЕР}} \cdot P_{\text{I/O}} \cdot (P_{\text{КОНТРОЛЛЕР}} + P_{\text{КОНТРОЛЛЕР}} - P_{\text{КОНТРОЛЛЕР}} \cdot P_{\text{КОНТРОЛЛЕР}}) \cdot P_{\text{I/O}} \cdot P_{\text{БАРЬЕР}} \cdot P_{\text{КЛАПАН}}.$$

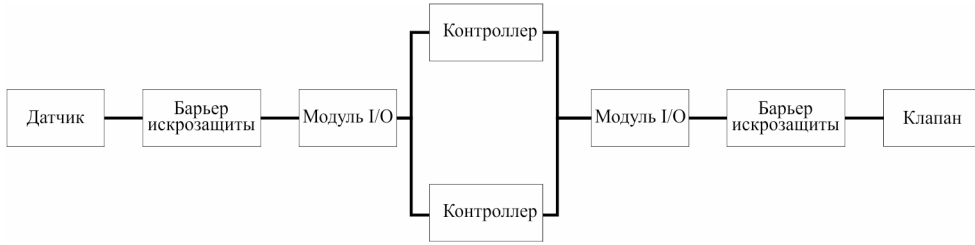


Рис. 1. Типовая надежность схема с резервированным контроллером

Для экспоненциального закона распределения вероятности времени безотказной работы [4, 5]:

$$P = e^{-3\lambda t} \cdot (e^{-\lambda t} + e^{-\lambda t} - 2e^{-\lambda t}) \cdot e^{-3\lambda t} = 2e^{-7\lambda t} - e^{-8\lambda t}.$$

Тогда средняя наработка систем (ч) до отказа, вычисляемая по формуле $T_H = \int_0^{+\infty} P(t)dt$ [6, 7], составит

$$T_H = \int_0^{+\infty} (2e^{-7\lambda t} - e^{-8\lambda t})dt = \frac{2}{7 \cdot 0,000\ 01} - \frac{1}{8 \cdot 0,000\ 01} = 16\ 071,43,$$

а интенсивность отказов системы (ч⁻¹)

$$\lambda = \frac{1}{T_H} = 0,000\ 062\ 2.$$

Затраты предприятия (у.е.) в случае ложного срабатывания ПАЗ при отказе какого-либо ее оборудования, приводящего к остановке производства продукции, для $n = 1$, $B = 100\ 000$ у.е./ч, $B_0 = 2\ 000\ 000$ у.е., $h = 8760$ ч, $N = 365$ дней составят

$$S_{Т1} = n \left[B \int_0^h \lambda \cdot t dt + B_0 \right] = 2\ 054\ 487,2.$$

Рассмотрим вторую типовую надежность схему системы автоматической ПАЗ с резервированным контроллером и резервированным каналом измерения (рис. 2),

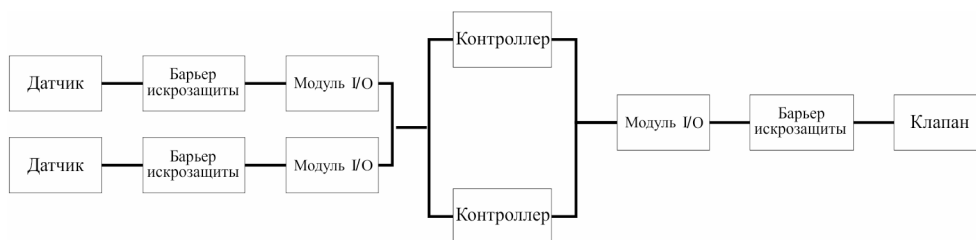


Рис. 2. Типовая надежностная схема системы автоматической ПАЗ с резервированным контроллером и резервированным каналом измерения

для которой вероятность безотказной работы

$$P = (P_{\text{ДАТЧИК}} \cdot P_{\text{БАРЬЕР}} \cdot P_{\text{I/O}} + P_{\text{ДАТЧИК}} \cdot P_{\text{БАРЬЕР}} \cdot P_{\text{I/O}} - P_{\text{ДАТЧИК}} \cdot P_{\text{БАРЬЕР}} \cdot P_{\text{I/O}} \cdot P_{\text{ДАТЧИК}} \cdot P_{\text{БАРЬЕР}} \cdot P_{\text{I/O}}) \cdot (P_{\text{КОНТРОЛЛЕР}} + P_{\text{КОНТРОЛЛЕР}} - P_{\text{КОНТРОЛЛЕР}} \cdot P_{\text{КОНТРОЛЛЕР}}) \cdot P_{\text{I/O}} \cdot P_{\text{БАРЬЕР}} \cdot P_{\text{КЛАПАН}}$$

Для экспоненциального закона распределения вероятности времени безотказной работы

$$P = (e^{-3\lambda t} + e^{-3\lambda t} - 2e^{-6\lambda t}) \cdot (e^{-\lambda t} + e^{-\lambda t} - 2e^{-2\lambda t}) \cdot e^{-3\lambda t} = 4e^{-7\lambda t} - 2e^{-8\lambda t} - 2e^{-10\lambda t} + e^{-11\lambda t}$$

Средняя наработка до отказа (ч), вычисляемая по формуле $T_H = \int_0^{+\infty} P(t)dt$, составит

$$T_H = \int_0^{+\infty} (4e^{-7\lambda t} - 2e^{-8\lambda t} - 2e^{-10\lambda t} + e^{-11\lambda t}) dt = \frac{4}{7 \cdot 0,00001} - \frac{2}{8 \cdot 0,00001} - \frac{2}{10 \cdot 0,00001} + \frac{1}{11 \cdot 0,00001} = 21\,233,77,$$

а интенсивность потока отказов системы (ч⁻¹)

$$\lambda = \frac{1}{T_H} = 0,0000471.$$

Для этого случая затраты предприятия (у.е.) при ложном срабатывании ПАЗ в результате отказа какого-либо ее оборудования, приводящего к остановке производства продукции, при $n = 1$, $B = 10\,000$ у.е./ч, $B_0 = 2\,000\,000$ у.е., $h = 8760$ ч, $N = 365$ дней составят

$$S_{T2} = n \left[B \int_0^h \lambda \cdot t dt + B_0 \right] = 20\,041\,259,6.$$

Сравнительный анализ затрат предприятия при использовании рассмотренных вариантов систем автоматической ПАЗ позволяет сделать следующие выводы:

– применение резервированной схемы хотя и увеличивает затраты предприятия на монтаж и внедрение ПАЗ, но снижает затраты, связанные с остановками производства в результате ложного срабатывания;

– применение резервированной системы автоматической ПАЗ вследствие увеличения затрат на ее монтаж и внедрение целесообразно на особо ответственных потенциально опасных технологических объектах.

Список литературы

1. Системы защиты потенциально опасных процессов химической технологии / П.А. Обновленский, Л.А. Мусяков [и др.]. – М.: Химия, 1978. – 224 с.

2. Пегушин С.Л., Шумихин А.Г. Планирование технического обслуживания автоматических систем противоаварийной защиты производственных объектов с учетом оценки надежности и ремонтпригодности // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2012. – № 14. – С. 13 – 21.

3. Пегушин С.Л., Шумихин А.Г. Анализ причин и последствий отказов систем автоматизации в условиях эксплуатации на нефтеперерабатывающих предприятиях с применением единой базы эксплуатационных данных // Sworld: сб. науч. тр. – 2013. – Т. 9. – № 1. – С. 3–7.

4. Федоров Ю.Н. Основы построения АСУТП взрывоопасных производств: в 2 т. – М.: СИНТЕГ, 2006. – Т. 1. – 720 с.

5. Острейковский В.А. Теория надежности. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.

6. Обеспечение и методы оптимизации надежности химических и нефтеперерабатывающих производств / В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин [и др.]. – М.: Химия, 1987. – 272 с.

7. Ефимов В.В. Улучшение качества продукции, процессов, ресурсов: учеб. пособие. – М.: Кнорус, 2007. – 240 с.

References

1. Obnovlenskiy P.A., Musyakov L.A. [et al.]. Sistemy zashchity potencialno opasnykh processov khimicheskoy tekhnologii [Protection systems potentially dangerous processes of chemical technology]. Moscow: Khimiya, 1978. 224 p.

2. Pegushin S.L., Shumikhin A.G. Planirovanie tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomaticheskikh sistem protivopariyoy zashchity proizvodstvennykh obektov s uchetom otsenki nadezhnosti i remontoprigradnosti [Scheduling maintenance of automatic emergency systems production facilities taking into account the evaluation of the reliability and maintainability]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya*, 2012, no. 14, pp. 13-21.

3. Pegushin S.L., Shumikhin A.G. Analiz prichin i posledstviy otkazov sistem avtomatizatsii v usloviyakh ekspluatatsii na neftepererabatyvayushchikh predpriyatiyakh s primeneniem edinoi bazy ekspluatatsionnykh dannykh [Analysis of the causes and consequences of the failure of automation systems in operation in refineries using a unified database of operational data]. *Sbornik nauchnykh trudov Sworld*, 2013, vol. 9, no. 1, pp. 3-7.

4. Fedorov Ju.N. Osnovy postroeniya ASUTP vzryvoopasnykh proizvodstv: v 2 tomakh [Fundamentals of building control system hazardous areas]. Moscow: SINTEG, 2006, vol. 1. 720 p.

5. Ostreykovskiy V.A. Teoriya nadezhnosti [Reliability theory]. Moscow: Vysshaya shkola, 2003. 463 p.

6. Kafarov V.V., Meshalkin V.P. [et al.]. Obespechenie i metody optimizatsii nadezhnosti khimicheskikh i neftepererabatyvayushchikh proizvodstv [Ensuring reliability and methods of optimization of chemical and refining industries]. Moscow: Khimiya, 1987. 272 p.

7. Efimov V.V. Uluchshenie kachestva produkcii, processov, resursov [Improving the quality of products, processes, resources]. Moscow: Knorus, 2007. 240 p.

Об авторах

Пегушин Станислав Леонидович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: atp@pstu.ru).

Шумихин Александр Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: atp@pstu.ru).

About the authors

Stanislav L. Pegushin (Perm, Russian Federation) – graduate student, Department of automation of technological processes, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: atp@pstu.ru).

Aleksandr G. Shumikhin (Perm, Russian Federation) – doctor of technical sciences, professor, head of department of automation of technological processes, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: atp@pstu.ru).

Получено 15.09.2014