

## **Автоматизированный анализ контролепригодности систем контроля технологического оборудования на опасных производственных объектах**

**Д.Е. Иванов, Т.В. Громова, Т.Н. Швецова-Шиловская**

Государственный научно-исследовательский институт органической химии и технологии, Москва, Российская Федерация  
e-mail: idebox@yandex.ru; gromova\_t@mail.ru; tn56@narod.ru

*Современные сложные технические системы отличаются значительным числом единиц оборудования, сложными алгоритмами управления и соответственно сложностью контроля. Актуальность анализа и оценки качества систем контроля обусловлена тем, что безопасность и надежность технологических систем напрямую зависит от контролепригодности средств контроля работы оборудования. Представлены результаты анализа контролепригодности средств контроля работы печного отделения, полученные на основе разработанного специализированного программного комплекса с учетом анализа видов отказов и их последствий. Этот комплекс создан на основе научно-методических разработок Института проблем управления РАН применительно к задачам обеспечения надежности оборудования и систем авиационной техники.*

**Ключевые слова:** контролепригодность, сложная техническая система, технологическое оборудование, опасный производственный объект, программный комплекс, полнота контроля, глубина контроля, средства контроля.

## **Automated Controllability Analysis of Technological Equipment Control Systems on Dangerous Production Facilities**

**D.E. Ivanov, T.V. Gromova, T.N. Shvetsova-Shilovskaya**

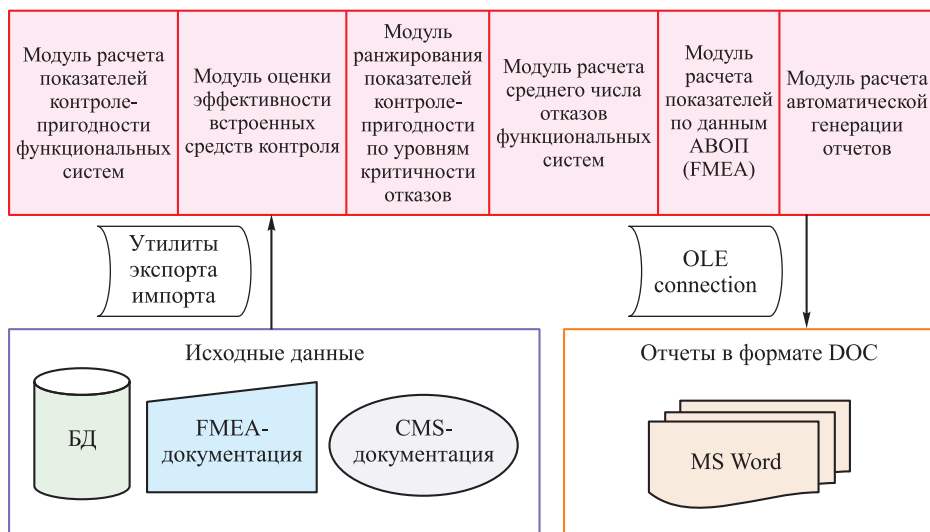
State Scientific and Research Institute of Organic Chemistry and Technology (GosNIIOKhT), Moscow, Russian Federation  
e-mail: idebox@yandex.ru; gromova\_t@mail.ru; tn56@narod.ru

*Modern complex technical systems are notable for a significant number of pieces of equipment, complex control algorithms and consequently, control complexity. The relevance of the analysis and evaluation of control system quality is due to the fact that the safety and reliability of technological systems directly depends on the devices controllability as far as the equipment performance is concerned. The article shows the analysis results of control devices controllability concerning the operation of heating branches, obtained from the developed specialized software based on the analysis of failure modes and their consequences. This complex is based on the scientific and methodological developments of Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences with regard to the problems of equipment and aviation equipment systems reliability.*

**Keywords:** *controllability, complex technical system, processing equipment, dangerous production facilities, software system, completeness of control, depth of control, control devices.*

Современные сложные технические системы (СТС), используемые на опасных производственных объектах (ОПО), отличаются значительным числом единиц оборудования и сложностью алгоритмов управления. Безопасная и надежная эксплуатация технологических систем определяется контролепригодностью средств (систем) контроля работы оборудования. В связи с этим анализ и оценка качества систем контроля является актуальной задачей в различных отраслях промышленности [1–6].

В настоящей работе приведены результаты анализа контролепригодности средств контроля работы оборудования ОПО (в том числе химико-технологических), которые получены с помощью специализированного программного комплекса обеспечения анализа контролепригодности (СПОАК), созданного на основе научно-методических разработок Института проблем управления (ИПУ РАН) для задач обеспечения надежности оборудования и систем авиационной техники [7, 8]. Программный комплекс (рис. 1) разработан в интегрированной среде Delphi, является приложением базы данных MS Access и использует OLE-автоматизацию для генерации отчетов форматов MS Office.



**Рис. 1.** Структура СПОАК

Специфика и особенности химико-технологического оборудования ОПО потребовали адаптации научно-методических разработок ИПУ РАН к оценке контролепригодности элементов технологического оборудования. Был разработан алгоритм анализа контролепригодности средств (систем) контроля работы оборудования опасных химико-технологических объектов.

На первом этапе для оценки контролепригодности необходимо подготовить информацию о структуре, а также характеристиках надежности объекта контроля и средств контроля.

Анализируемый объект — опасный химико-технологический объект — представляется в соответствии с иерархической моделью технической и функциональной структур. Верхний уровень — это объект ОПО в целом; узлы следующего уровня — функциональные системы; узлам нижнего уровня соответствуют типовые элементы замены (в зарубежных нормативных материалах такие элементы называются Line Replaceable Unit, LRU). Каждому узлу системного дерева присваивается уникальный идентификатор (unique identifier, ID).

В настоящей работе исследование контролепригодности выполнено на основе результатов проведения анализа видов и последствий отказов (АВОП) [9]. Анализ контролепригодности средств контроля работы оборудования ОПО выполняют на основе исходных данных, которые сводят в таблицу (табл. 1).

Таблица 1

**Исходные данные для исследования контролепригодности средств контроля**

1	2	3 <sup>а</sup>	4 <sup>б</sup>	5 <sup>в</sup>	6	7 <sup>г</sup>	8 <sup>д</sup>	9 <sup>е</sup>	10 <sup>ж</sup>	11	12	13	14	15
Наименование агрегата	Код АТА	Идентификатор вида отказа	Интенсивность отказов, 1/ч	Метод контроля	Признак сообщения	Критичность отказа	Фаза выполнения задания	Ложная тревога?	Индикатор глубины	Примечание	Наименование отказа	Наименование отказа (англ.)	ID отказа CMS	Описание отказа СТС

В соответствии с изложенным необходимо задать следующие данные (пояснения представлены для столбцов таблицы, имеющих в обозначении номер и букву):

**Столбец 3<sup>а</sup>.** На каждый вид оборудования задают перечень видов отказов. Виды отказов могут быть получены от разработчиков функциональных систем, взяты из специализированных библиотек видов отказов электронного, механического и электромеханического оборудования (если такие библиотеки есть), из литературных и справочных данных, а также данных заводов-изготовителей химико-технологического оборудования.

**Столбец 3<sup>б</sup>.** На каждый вид отказа оборудования может задаваться как абсолютное значение интенсивности отказа, так и процент от суммарной интенсивности отказов этого оборудования.

**Столбец 5<sup>б</sup>.** Для заполнения этого столбца заранее формируют список используемых методов контроля. В структуре СПОАК приняты следующие методы контроля:

- непрерывный встроенный контроль ВIT;
- контроль осуществляется при пуско-наладочных работах PFC (разогрев, выход аппарата на основной режим работы и пр.);
- дистанционный контроль CREW (контроль параметра, осуществляемый в помещении операторной);
- визуальный контроль персоналом TACKTILE FEEDBACK;
- контроль при обслуживании MAINT (например, при проведении планово-предупредительного ремонта (ППР));
- отсутствие контроля NONE.

**Столбец 7<sup>г</sup>.** Стандартный столбец, обязательно имеющийся в таблицах АВОП вне зависимости от ориентации анализа, значения для заполнения этого столбца выбирают на основе данных, полученных от экспертов. Каждый элемент списка определяет степень влияния вида отказа на подсистему, содержащую элемент LRU, и систему в целом. Индикатором критичности может являться как число, так и словесное описание. Примеры подобных списков: {1, 2, 3, 4} применяют в отечественном самолетостроении; {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10} — в зарубежном автомобилестроении; {Marginal, Minor, Catastrophic, Critical, Major} — в стандарте MIL-STD-1629 [7]. Для ОПО авторами настоящей статьи предложены следующие виды критичности отказа: {1, 2, 3, 4, 5}, где 1 — Catastrophic, аварийная ситуация; 2 — Hazard, инцидент (событие, предшествующее реализации аварийной ситуации); 3 — Major, сложная ситуация (создание неблагоприятных условий процесса, ухудшение свойств выпускаемой продукции); 4 — Minor, отклонение от оптимальных (регламентных) условий ведения процесса; 5 — NONE, отказ не критичен.

**Столбец 8<sup>д</sup>.** Значения для этого столбца выбирают из списка, формируемого исходя из режимов работы объекта анализа. Например, для самолетостроения анализ видов отказов и их последствий обычно проводится для этапов {запуск двигателя и выруливание, взлет, набор высоты, крейсерский полет, снижение, посадка, заруливание и выключение двигателя} или более укрупнено {взлет, полет, посадка} [7]. Для ОПО приняты этапы {подготовка и подача сырья, проведение химической реакции, получение (выгрузка) готовой продукции}.

**Столбец 9<sup>е</sup>.** Введен для разделения отказов элементов LRU, относящихся к средствам контроля, на отказы типа несрабатывания и ложного срабатывания.

**Столбец 10<sup>ж</sup>.** Индикатор глубины — целое число, принимающее значения {1, 2, 3}, где 1 — отказ выявляется до одного элемента LRU

(т. е. сразу можно указать на отказавший элемент); 2 — отказ выявляется до двух элементов LRU (выбор из двух отказавших элементов); 3 — отказ выявляется до трех или более элементов LRU (выбор из трех возможных элементов).

**Столбец 11.** Предназначен для примечаний (учет особенностей данных по контролепригодности).

**Столбцы 12–15.** Используют для хранения информации из базы данных системы централизованного обслуживания ОПО.

Для оценки степени влияния средств контроля на изменение работоспособности оборудования необходимо определить характеристики контроля на множестве возможных состояний системы, отражающих отказы ее элементов.

Интегральную оценку качества контроля проводят по показателю «достоверность контроля» [7, 8]. Отдельные составляющие, входящие в интегральную оценку, также представляют интерес как с позиции задания, обоснования требований к средствам контроля, так и для понимания причин снижения интегральной оценки, выявления степени влияния составляющих.

Основные характеристики контроля, регламентированные нормативными документами, — полнота контроля (fault detection) и глубина контроля (fault isolation) [10, 11].

*Полнота контроля* характеризует долю отказов объекта контроля, обнаруживаемых при контроле работоспособности. В общем случае качество контроля определяется перечнем элементов (модулей), отказы которых выявляются контролем. В связи с этим одной из характеристик полноты контроля может быть отношение числа контролируемых элементов к общему числу элементов рассматриваемого объекта контроля (например, в процентах). Однако для моделирования «поведения надежности оборудования» объекта и средств контроля желательно задавать полноту контроля как некоторый вероятностный показатель или как отношение показателей, характеристик надежности (отказа) контролируемых элементов ко всем элементам. Целесообразность такого подхода объясняется тем, что при моделировании «поведения надежности оборудования» анализируемого объекта (СТС) можно будет «разбить» общий поток отказов на две составляющие: 1) отказы, выявляемые контролем; 2) отказы, которые не выявлены контролем — скрытые отказы.

Для полноты контроля при экспоненциальных распределениях наработки до отказа элементов (принимаемых, как правило, на этапе проектирования СТС) наиболее удобно задавать как отношение суммарной интенсивности отказов контролируемых элементов к суммар-

ной интенсивности отказов всех элементов:  $\eta = \sum_{j \in K} \lambda_j / \sum_{i=1}^n \lambda_i$ , где  $\eta$  —

полнота контроля;  $n$  — число элементов объекта контроля;  $K$  — под-

множество контролируемых элементов;  $\lambda_i$  — интенсивность отказа  $i$ -го элемента.

В этом случае определяемая полнота контроля является условной стационарной вероятностью контролируемого отказа при условии, что отказ произошел.

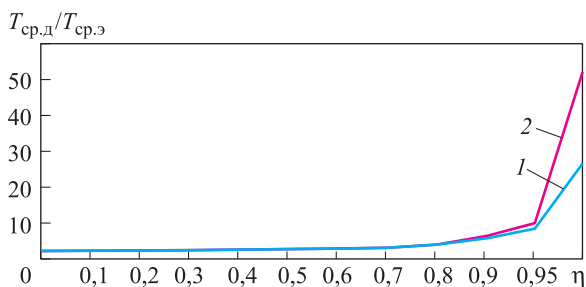
*Глубина контроля* характеризует «разрешающую» способность средств контроля. Понятие указанной характеристики шире, чем понятие полноты контроля. Например, можно понимать глубину контроля некоторой системы как глубину поиска неисправного компонента в иерархии компонентов структуры — система, подсистема, узел, неделимый элемент оборудования.

Глубину контроля будем определять через типовые элементы замены (LRU) следующим образом. Если при отказе контролируемого оборудования контроль указывает на некоторое подмножество элементов, которые возможно отказали, то эти элементы одновременно удаляются (в том числе и не отказавшие) и заменяются работоспособными элементами (это является спецификой оперативного обслуживания).

По аналогии с полнотой контроля глубину также можно понимать как долю от общего числа элементов анализируемого объекта контролируемых до одного, двух, трех и т. д. элементов LRU. Таким образом, глубина контроля может быть представлена распределением, составляющие которого — стационарные вероятности замены 1, ...,  $n$  элементов LRU при условии возникновения одного отказа. Если эти вероятности выражены через отношение числа элементов соответствующих подмножеств LRU к общему числу элементов LRU (например, в процентах), то такая характеристика является качественной, т. е. она не связана с вероятностной моделью комплекса объект контроля—средства контроля. С позиции анализа надежности глубина контроля влияет на показатели ремонтпригодности, в частности, на среднее время восстановления работоспособности, на число запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП).

Значение систем контроля оценивают по влиянию их характеристик надежности на показатели надежности оборудования технологических объектов. Результаты исследования надежности дублированной схемы с восстановлением при непрерывном режиме работы приведены ниже.

Зависимость средней наработки до отказа дублированной схемы от полноты контроля представлена на рис. 2 [7]. По оси абсцисс отложено отношение средней наработки до отказа дублированной схемы с восстановлением элементов, отказы которых распознаются контролем, к средней наработке до отказа одного невосстанавливаемого элемента, по оси ординат — доля выявляемых отказов (полнота контроля). Параметр  $\rho$ , характеризующий готовность элемента, — это отношение его средней наработки до отказа к среднему времени восстановления.



**Рис. 2.** Зависимость средней наработки до отказа дублированной схемы от полноты контроля при значениях параметра  $\rho = 50$  (1) и 100 (2)

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 2, показывает, что полнота контроля является фактором, нелинейно улучшающим показатели безотказности систем, состоящих из восстанавливаемых элементов. При достаточно высоких значениях полноты контроля ( $\eta > 0,9$ ) значение такого показателя, как средняя наработка до отказа, увеличивается в десятки раз.

Расчетные процедуры и аналитические выражения для определения основных показателей контролепригодности (полноты, глубины, достоверности контроля) реализованы в отдельном программном модуле СПОАК. Все определяемые показатели делятся на три группы.

**Группа 1. Заданные показатели.** В группу входят показатели, рассчитываемые на основе данных технического задания: рассчитанное по заданным в техническом задании параметрам значение достоверности (недостоверности) контроля функциональных систем (DI).

**Группа 2. Расчетные показатели (по критерию надежности).** К группе относятся показатели, рассчитываемые на основе проектных данных разработчика: проектная средняя наработка функциональных систем до отказа  $T_{ср}$  (вычисляются на основе наработок до отказа составных подсистем); вероятность безотказной работы (отказа) средств контроля  $P_k(Q_k)$ ; рассчитанное по проектным данным значение достоверности (недостоверности) контроля (DII);

**Группа 3. Расчетные показатели (по критерию безопасности).** В группу входят показатели, рассчитываемые на основе данных анализа видов и последствий отказов: полнота контроля систем (LRU) и функциональных систем  $\eta$  (полноты контроля); глубина контроля систем (LRU) и функциональных систем  $\gamma$  (глубина контроля); коэффициент надежности системы контроля  $M_k$ ; коэффициент несрабатывания встроенных средств контроля (ВИТ)  $K_{несраб}$ ; вероятность ложного срабатывания средств контроля  $P_{лож.с.к}$ ; вероятность отказа средств контроля типа невыдачи  $P_{н.с.к}$ ; рассчитанное по проектным данным значение достоверности (недостоверности) контроля (DIII).

Рассмотрим использование процедуры анализа контролепригодности на практике на примере установки утилизации сероводорода. Установка предназначена для переработки сероводородсодержащего газа методом мокрого катализа с получением серной кислоты. В установку производства серной кислоты входит печное отделение, контактное отделение, отделение конденсации, склад серной кислоты, теплотехнический блок, водооборотный цикл, выхлопная труба, межцеховые эстакады.

Мощность установки составляет 50 тыс. т/год моногидрата серной кислоты. Диапазон изменения производительности 60...120 % номинальной мощности. Режим работы установки непрерывный, трехсменный, 8700 ч/год.

Анализ контролепригодности выполнен для печного отделения. Сероводородсодержащий газ сжигается в циклонной печи, состоящей из трех последовательно установленных циклонов, которые заключены в единый металлический корпус, при температуре 1150...1200 °С.

Конструкция печи обеспечивает полноту сгорания газа  $H_2S$ . Воздух подается от роторного компрессора. Нагрев циклонной печи, котла-утилизатора и контактного аппарата проводится дымовыми газами, образующимися от сжигания топливного газа. После достижения в циклонной печи температуры 1000 °С печь переводится на рабочий режим: прекращается подача топливного газа и подается сероводородсодержащий газ. Процесс горения протекает при температуре 1150...1200 °С. Соотношение газ-воздух регулируется автоматически и составляет на сероводородсодержащем газе 1:13, на топливном газе — 1:30. Технологический газ после циклонной печи охлаждается в котле-утилизаторе до температуры 450 °С, при этом вырабатывается насыщенный пар с давлением 40 МПа и температурой 247,7 °С.

Результаты анализа контролепригодности печного отделения, полученные с использованием специализированного программного комплекса СПОАК, приведены ниже.

При вводе данных в СПОАК элементам системы (печному отделению) задают проектную среднюю наработку функциональных систем до отказа ( $T_{cp}$ ) и присваивают уникальный идентификатор ID:100 000...101100 (используется кодировка высокого международного уровня [7, 8]).

Система включает в себя следующие агрегаты: трубопровод  $H_2S$  (100 100); средства контроля трубопровода\*  $H_2S$  (100 200); ПАЗ трубопровода\*  $H_2S$  (100 300); трубопровод топливного газа (100 400); средства контроля трубопровода топливного газа\* (100 500); ПАЗ трубопровода топливного газа\* (100 600); печь циклонная (100 700); ПАЗ печь\* (100 800); компрессор роторный (100 900); ПАЗ компрессора<sup>1</sup> (101 000); котел утилизатор (101 100).

---

<sup>1</sup> Отмечены средства контроля.



Исходные данные для расчета достоверности средств встроенного контроля вводят в СПОАК на основании данных технического задания и по проектным показателям надежности. Данные для вычисления достоверности контроля по АВОП (критерию безопасности) определяют на основе анализа видов и последствий отказов средств контроля. Результаты АВОП с учетом разных методов контроля приведены в табл. 2. С учетом этих результатов выполнен расчет полноты средств контроля по уровням критичности (табл. 3).

Значения полноты средств контроля ПК1 и ПК2 для разных видов критичности отказов представлены в табл. 3. Значение ПК1 определяют на основе отношения общей интенсивности отказов средств контроля к общей интенсивности отказов оборудования производственного объекта. Значение ПК2 находят как произведение значения ПК1 и среднего числа выявляемых средствами контроля отказов.

Распределение показателей надежности печного отделения (установки утилизации сероводорода) по уровням критичности представлено на рис. 3. Программный комплекс СПОАК позволяет получить распределение вероятности отказа за ресурс, который составляет 50 000 ч, и распределение вероятности отказа на межпрофилактическом интервале, равном 8 700 ч (один раз в год), печного отделения (установки утилизации сероводорода) по уровням критичности отказов.

Результаты расчета среднего числа отказов печного отделения (установки утилизации сероводорода) приведены ниже. Анализ полученных результатов показывает, что среднее число отказов, выявляемых средствами контроля ВІТ, составляет около 5, а среднее число срабатываний средств контроля — 8.

В результате проведенных исследований печного отделения получены следующие результаты:

- отказы первого уровня критичности в 50 % случаев фиксируются встроенной системой контроля (ВІТ);
- отказы второго уровня критичности в 100 % случаев фиксируются непрерывно встроенной системой контроля (ВІТ);
- отказы третьего уровня критичности практически не выявлены встроенной системой контроля, а фиксируются дистанционно в помещении операторной.

***Значение среднего числа отказов печного отделения  
за интервал 8 700 ч для Sys100/ 100 000***

Среднее число отказов .....	6,73
Коэффициент автоматизации .....	0,6701
Среднее число отказов, выявляемых ВІТ .....	4,507
Среднее число ложных срабатываний ВІТ .....	3,898
Среднее число срабатываний ВІТ .....	8,405

Анализ видов и последствий отказов печного отделения (установки утилизации сероводорода) с учетом средств контроля

ID отказа	Интенсивность отказов, 1/ч	Ложная тревога	Метод контроля	Критичность отказа	Фаза задания
<b>Идентификатор агрегата: 100 100</b>					
Свищ трубопровода H <sub>2</sub> S участок 1	2,99 · 10 <sup>-9</sup>	Нет	Tactile feedback	1	Все фазы
Разрыв трубопровода H <sub>2</sub> S участок 1	3,32 · 10 <sup>-10</sup>		ВИТ		
Течь фланца H <sub>2</sub> S участок 1	7,07 · 10 <sup>-9</sup>		Tactile feedback		
Разрыв трубопровода H <sub>2</sub> S участок 2	9,29 · 10 <sup>-10</sup>		ВИТ		
Течь фланца H <sub>2</sub> S участок 2	6,36 · 10 <sup>-9</sup>		Crew		
Свищ трубопровода H <sub>2</sub> S участок 3	1,14 · 10 <sup>-8</sup>		ВИТ		
Разрыв трубопровода H <sub>2</sub> S участок 3	1,26 · 10 <sup>-9</sup>		ВИТ		
Течь фланца H <sub>2</sub> S участок 3	1,26 · 10 <sup>-8</sup>		ВИТ		
Свищ трубопровода H <sub>2</sub> S участок 2	8,37 · 10 <sup>-9</sup>		Tactile feedback		
<b>Идентификатор агрегата: 100 200</b>					
Отказ клапана давления трубопровода H <sub>2</sub> S участок 2 PV-101	7,70 · 10 <sup>-5</sup>	Нет	Crew	3	Все фазы
Отказ регулятора расхода H <sub>2</sub> S участок 2 FVS-11-1	2,18 · 10 <sup>-6</sup>		ВИТ	2	
<b>Идентификатор агрегата: 100 300</b>					
Отказ отсечного клапана трубопровода H <sub>2</sub> S участок 2 UVS-101	1,20 · 10 <sup>-4</sup>	Да	ВИТ	2	Все фазы
Отказ отсечного клапана трубопровода H <sub>2</sub> S участок 2 UVS-101 в аварийной ситуации	8,84 · 10 <sup>-10</sup>	Нет	ВИТ	1	

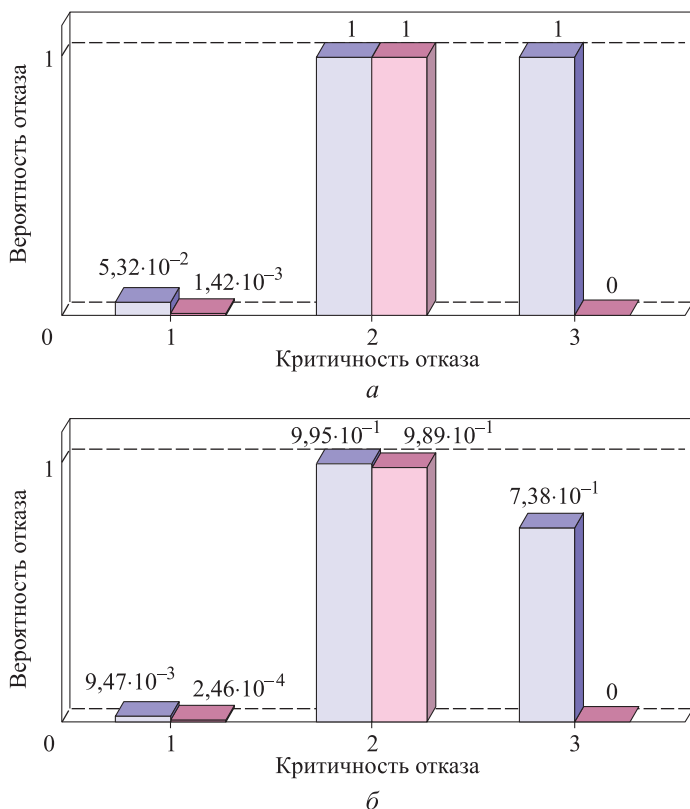
ID отказа	Интенсивность отказов, 1/ч	Ложная тревога	Метод контроля	Критичность отказа	Фаза задания
<b>Идентификатор агрегата: 100 400</b>					
Свищ трубопровода топливного газа участок 1	$6,22 \cdot 10^{-10}$	Нет	Tactile feedback	1	Все фазы
Свищ трубопровода топливного газа участок 2	$1,43 \cdot 10^{-8}$		Tactile feedback		
Разрыв трубопровода топливного газа участок 1	$3,24 \cdot 10^{-10}$		ВИТ		
Течь фланца топливного газа участок 1	$8,52 \cdot 10^{-10}$		Tactile feedback		
Разрыв трубопровода топливного газа участок 2	$1,58 \cdot 10^{-9}$		Tactile feedback		
Течь фланца топливного газа участок 2	$1,34 \cdot 10^{-8}$		Tactile feedback		
<b>Идентификатор агрегата: 100 500</b>					
Отказ клапана давления трубопровода топливного газа участок 2 PV-102	$7,70 \cdot 10^{-5}$	Нет	Crew	3	Все фазы
Отказ регулятора расхода топливного газа участок 2 FVS-12-1	$2,18 \cdot 10^{-6}$		ВИТ	2	
<b>Идентификатор агрегата: 100 600</b>					
Отказ отсечного клапана трубопровода топливного газа участок 2 UVS-102	$1,20 \cdot 10^{-4}$	Да	ВИТ	2	Все фазы
Отказ отсечного клапана трубопровода топливного газа участок 2 UVS-102 в аварийной ситуации	$5,92 \cdot 10^{-10}$	Нет	ВИТ	1	

<b>Идентификатор агрегата: 100 700; Идентификатор агрегата: 100 800</b>					
Отказ датчика температуры в кладке TRSA-12-1	5,00·10 <sup>-6</sup>	Да	ВІТ	2	Все фазы
Отказ датчика температуры газа TRSCA 13-1	5,00·10 <sup>-6</sup>		ВІТ	2	
<b>Идентификатор агрегата: 100 700; Идентификатор агрегата: 100 800</b>					
Отказ датчика ПДК H <sub>2</sub> S	1,00·10 <sup>-6</sup>		Maint	2	Все фазы
Отказ датчика контроля пламени	1,00·10 <sup>-6</sup>		Maint	1	
Отказ датчика ПДК H <sub>2</sub> S в аварийной ситуации	1,00·10 <sup>-8</sup>	Нет	Maint	1	
<b>Идентификатор агрегата: 100 900</b>					
Отказ электродвигателя	1,00·10 <sup>-4</sup>	Нет	ВІТ	2	Все фазы
Отказ механизма компрессора	6,57·10 <sup>-5</sup>		ВІТ		
<b>Идентификатор агрегата: 101 000</b>					
Отказ датчика оборотов NSA-103-1	1,00·10 <sup>-5</sup>	Да	ВІТ	2	Все фазы
Отказ датчика давления PRS-18-1	8,70·10 <sup>-5</sup>		ВІТ		
<b>Идентификатор агрегата: 101 100</b>					
Отказ перепускной заслонки	1,00·10 <sup>-6</sup>	Нет	ВІТ	2	Все фазы

Таблица 3

**Значения полноты контроля по уровням критичности**

Критичность отказов	Интенсивность, 1/ч		ПК1	Число		ПК2
	отказов	отказов ВІТ		отказов	отказов ВІТ	
1	1,09·10 <sup>-6</sup>	2,83·10 <sup>-8</sup>	0,03	19	8	0,42
2	6,18·10 <sup>-4</sup>	5,18·10 <sup>-4</sup>	0,84	12	11	0,92
3	1,54·10 <sup>-4</sup>	0	0	2	0	0



**Рис. 3.** Распределение показателей надежности печного отделения (установки утилизации сероводорода) по уровням критичности отказа (1, 2, 3) за ресурс (а) и на межпрофилактическом интервале (б)

В настоящей работе представлены результаты анализа контроле-пригодности средств контроля работы печного отделения (установки утилизации сероводорода), полученные с помощью разработанного СПОАК с учетом анализа видов отказов и их последствий. Результаты выполненных исследований необходимы для внесения дополнительных обоснованных изменений в проектную документацию на создание средств контроля.

Показано, что наряду с различными видами резервирования использование средств контроля для оценки технического состояния оборудования производственных объектов является важным фактором обеспечения надежности работы СТС. Использование средств контроля для оценки технического состояния оборудования имеет большое значение при оценке показателей надежности и безопасности оборудования производственных объектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Харазов А.М., Цвид С.Ф. Методы оптимизации в технической диагностике машин. М.: Машиностроение, 1983. 132 с.

2. Сагунов В.И., Ломакина Л.С. Контролепригодность структурно связанных систем. М.: Энергоатомиздат, 1990. 110 с.
3. Сапожников В.В. Разработка методов технической диагностики и методов синтеза контролепригодных дискретных систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Дис. ... д-ра техн. наук, 1983. 363 с.
4. Соколова Э.С. Разработка и реализация моделей, методов и алгоритмов решения задач оптимального синтеза контролепригодных объектов. Дис. ... д-ра техн. наук, 2001.
5. Шариков С.В. Построение контролепригодных сложных радиотехнических систем и оценка уровня их приспособленности к определению технического состояния. Дис. ... канд. техн. наук, 2000. 280 с.
6. Каспанов С.Н. Разработка моделей и методов синтеза контролепригодных объектов с помощью генетических алгоритмов. Дис. ... канд. техн. наук, 2004. 150 с.
7. Викторова В.С., Степаняц А.С. Проектный анализ контролепригодности технических систем (теория, методы расчета, программное обеспечение). М.: ИПУ РАН, 2010. 71 с.
8. Викторова В.С., Ведерников Б.И., Спиридонов И.Б., Степаняц А.С. Моделирование и анализ контролепригодности бортовых систем самолетов // Надежность. 2007. № 3 (22). С. 62–71.
9. ГОСТ 27.310–95 (МЭК 60812:1985). Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. Минск: Межгосударственный совет по метрологии, стандартизации и сертификации.
10. ГОСТ 26656–85. Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие положения. М.: Изд-во стандартов, 1986.
11. DoD 3235.1–H. Test and Evaluation of System Reliability, Maintainability, Reliability // Office of the Director Defense Test and Evaluation, Washington, 1982.

## REFERENCES

- [1] Kharazov A.M., Tsvid S.F. Metody optimizatsii v tekhnicheskoy diagnostike mashin [Optimization Methods in Machine Technical Diagnostics]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983. 132 p.
- [2] Sagunov V.I., Lomakina L.S. Kontroleprigodnost' strukturno svyazannykh system [Testability of Structurally Related Systems]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 110 p.
- [3] Sapozhnikov V.V. Razrabotka metodov tekhnicheskoy diagnostiki i metodov sinteza kontroleprigodnykh diskretnykh sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki. Diss. dokt. tekhn. nauk [Developing Technical Diagnostics Methods and Methods of Synthesis of Discrete Controllable Railway Automatic Equipment and Remote Control Systems. Dr. tech. sci. diss.], 1983. 363 p. (in Russ.).
- [4] Sokolova E.S. Razrabotka i realizatsiya modeley, metodov i algoritmov resheniya zadach optimal'nogo sinteza kontroleprigodnykh ob"ektov. Diss. dokt. tekhn. nauk [Development and Implementation of Models, Methods and Algorithms For Solving Problems of Optimal Synthesis of Controllable Objects. Dr. tech. sci. diss.], 2001 (in Russ.).
- [5] Sharikov S.V. Postroenie kontroleprigodnykh slozhnykh radiotekhnicheskikh sistem i otsenka urovnya ikh prisposoblennosti k opredeleniyu tekhnicheskogo sostoyaniya. Diss. kand. tekhn. nauk [Constructing Controllable Sophisticated Radio Systems and Assessing Their Fitness for Diagnostics. Cand. tech. sci. diss.], 2000. 280 p. (in Russ.).
- [6] Kaspanov S.N. Razrabotka modeley i metodov sinteza kontroleprigodnykh ob"ektov s pomoshch'yu geneticheskikh algoritmov. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of Controllable Object Models and Synthesis Methods Using Genetic Algorithms. Cand. tech. sci. diss.], 2004. 150 p. (in Russ.).

- [7] Viktorova V.S., Stepanyants A.S. Proektnyy analiz kontroleprigodnosti tekhnicheskikh sistem (teoriya, metody rascheta, programmnoe obespechenie) [Testability Project Analysis of Technical Systems (Theory, Computation Methods, Software)]. Moscow, IPU RAN Publ., 2010. 71 p.
- [8] Viktorova V.S., Vedernikov B.I., Spiridonov I.B., Stepanyants A.S. Modeling and Testability Analysis of Onboard Aircraft Systems. *Nadezhnost'* [Dependability], 2007, no. 3 (22), pp. 62–71 (in Russ.).
- [9] Standard RF. GOST 27.310–95. Nadezhnost' v tekhnike. Analiz vidov, posledstviy i kritichnosti otkazov. Osnovnye polozheniya [Dependability in technicals. Failure mode, effects and criticality analysis. Basic principles]. Minsk, Mezghos. sovet po metrologii, standartizatsii i sertifikatsii Publ.
- [10] Standard RF. GOST 26656–85. Tekhnicheskaya diagnostika. Kontroleprigodnost'. Obshchie polozheniya [Technical diagnostics. Testability. General requirements]. Moscow, Izd. standartov Publ., 1986.
- [11] DoD 3235.1–H. Test and Evaluation of System Reliability, Maintainability, Reliability. *Office of the Director Defense Test and Evaluation*, Washington, 1982.

Статья поступила в редакцию 25.05.2015

Иванов Дмитрий Евгеньевич — старший научный сотрудник ГосНИИОХТ (Российская Федерация, 111024, Москва, ш. Энтузиастов, д. 23).

Ivanov D.E. — Senior Research Scientist of State Scientific and Research Institute of Organic Chemistry and Technology (GosNIIOKhT) (Shosse Entuziastov 23, Moscow, 111024 Russian Federation).

Громова Татьяна Владимировна — д-р техн. наук, начальник отдела ГосНИИОХТ (Российская Федерация, 111024, Москва, ш. Энтузиастов, д. 23).

Gromova T.V. — Dr. Sci. (Eng.), Head of Department, State Scientific and Research Institute of Organic Chemistry and Technology (GosNIIOKhT) (Shosse Entuziastov 23, Moscow, 111024 Russian Federation).

Швецова-Шиловская Татьяна Николаевна — д-р техн. наук, профессор, начальник отделения ГосНИИОХТ (Российская Федерация, 111024, Москва, ш. Энтузиастов, д. 23).

Shvetsova-Shilovskaya T.N. — Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of Department, State Scientific and Research Institute of Organic Chemistry and Technology (GosNIIOKhT) (Shosse Entuziastov 23, Moscow, 111024 Russian Federation).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Иванов Д.Е., Громова Т.В., Швецова-Шиловская Т.Н. Автоматизированный анализ контролепригодности систем контроля технологического оборудования на опасных производственных объектах // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2016. № 3. С. 114–128.

DOI: 10.18698/0236-3933-2016-3-114-128

**Please cite this article in English as:**

Ivanov D.E., Gromova T.V., Shvetsova-Shilovskaya T.N. Automated Controllability Analysis Technological Equipment Control Systems on Dangerous Production Facilities. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Bauman, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2016, no. 3, pp. 114–128.

DOI: 10.18698/0236-3933-2016-3-114-128