

Научная статья
УДК 62-50
<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-2-22-32>

Система предотвращения аварийных ситуаций производственных технологических объектов на основе ситуационной математической модели

Олег Викторович Антонов^{1*}, Елена Федоровна Райкова², Роберт Эдуардович Муратов³

¹⁻³Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, o_antonov@mail.ru*

Аннотация. Основным критерием, характеризующим эффективность использования оборудования промышленного объекта, является его эксплуатация без отказов и аварий. Для снижения аварийности предложена система предотвращения аварийных ситуаций, призванная идентифицировать текущую технологическую ситуацию на объекте, прогнозировать ее дальнейшее развитие, а также формировать управляющие воздействия для возврата объекта в режим нормальной эксплуатации. Задача идентификации предаварийных и аварийных ситуаций для технологических объектов реализуется как частная задача распознавания технологической ситуации на основе ситуационной математической модели объекта. Ситуационная математическая модель объекта реализуется в виде набора продукционных правил, отображающих знания экспертов об идентификации предаварийных ситуаций на объекте, а также возможных траекториях вывода объекта управления в режим нормальной эксплуатации. Предложена трехуровневая группировка правил ситуационной математической модели при обработке качественной информации об объекте. На основании ситуационной математической модели предложен метод идентификации предаварийных ситуаций, описаны этапы реализации метода. Разработан алгоритм функционирования системы предотвращения аварийных ситуаций. Определена схема взаимодействия предложенной системы предотвращения аварийных ситуаций и системы управления технологическим процессом на основе SCADA-системы. Использование предложенной системы позволит повысить безопасность и устойчивость функционирования опасных технологических объектов.

Ключевые слова: система предотвращения аварийных ситуаций, предаварийная ситуация, ситуационная математическая модель, идентификация предаварийных ситуаций, метод идентификации предаварийных ситуаций, алгоритм идентификации состояния

Для цитирования: Антонов О. В., Райкова Е. Ф., Муратов Р. Э. Система предотвращения аварийных ситуаций производственных технологических объектов на основе ситуационной математической модели // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 2. С. 22–32. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-2-22-32>.

Original article

Emergency preventing system at production technological objects based on situational mathematical model

Oleg V. Antonov^{1*}, Elena F. Raykova², Robert E. Muratov³

¹⁻³Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, o_antonov@mail.ru*

Abstract. The main criterion characterizing the efficiency of the equipment of an industrial facility is its operation without failures and damages. To reduce the emergency rate, there has been proposed an emergency prevention system targeted at identifying the technological situation at the facility, predicting its further development, and also developing the control actions to return the facility to normal operation. The task of identifying pre-emergency and emergency situations for technological objects is realized as a particular task of recognizing a technological situation based on a situational mathematical model of an object. The situational mathematical model of the object is implemented as a set of production rules that reflect the knowledge of experts about the identification of pre-emergency situations at the object, as well as possible trajectories for bringing the control object into normal operation. A three-

level grouping of the rules of the situational mathematical model by security levels is proposed. The features of the formation of the rules of the situational mathematical model in the processing of qualitative information about the object are considered. Based on the situational mathematical model, a method for identifying pre-emergency situations is proposed, the stages of the method implementation are described. An algorithm of functioning the emergency prevention system has been developed. The interaction scheme of the proposed emergency prevention system and the process control system based on the SCADA system is determined. The use of the proposed system will improve the safety and stability of the operation of hazardous technological facilities.

Keywords: emergency prevention system, pre-emergency situation, situational mathematical model, identification of pre-emergency situations, method of identification of pre-emergency situations, state identification algorithm

For citation: Antonov O. V., Raykova E. F., Muratov R. E. Emergency preventing system at production technological objects based on situational mathematical model. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics. 2022;2:22-32.* (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-2-22-32>.

Введение

В условиях жесткой конкуренции на современном рынке вопросы эффективного использования технологического оборудования с одновременным решением вопросов защиты жизни и здоровья человека, а также минимизации негативного воздействия на окружающую среду при эксплуатации промышленных объектов, имеют первостепенное значение.

Основным критерием, характеризующим эффективность использования оборудования промышленного объекта, является его эксплуатация без отказов и аварий. Рост эффективности при этом обуславливается отсутствием или сокращением простоев, уменьшением расходов на внеплановые ремонты оборудования и устранение последствий аварий, исключением потерь сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Безотказная и безаварийная работа также значительно сокращает риск причинения вреда здоровью и жизни обслуживающего персонала. С аварийными ситуациями и последующими выбросами вредных, опасных и токсичных веществ связано в основном и негативное экологическое влияние промышленных объектов.

Задача снижения аварийности на производственных технологических объектах может решаться путем разработки системы предотвращения аварийных ситуаций (СПАС) (emergency prevention

systems (EPS)), позволяющей идентифицировать текущую технологическую ситуацию на объекте и прогнозировать ее дальнейшее развитие, а также формировать управляющие воздействия для возврата объекта в режим нормальной эксплуатации.

Идентификация предаварийных ситуаций как средство повышения безопасности и устойчивости функционирования производственных технологических объектов

Основная опасность технологических объектов в значительной мере сосредоточена в потенциальной возможности их перехода в нерегламентное состояние, называемое аварией. Термин «авария» определен как «разрушение сооружений или технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв или выброс опасных веществ» [1]. Также нормативной документацией определены понятие «отказ» как «событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния технологического объекта» и понятие «нарушение технологического режима» как «возникновение режима эксплуатации с повышенной вероятностью возникновения отказов» [2].

Основные состояния технологического объекта и возможные переходы между ними с указанием актуаторов контролируемых переходов показаны на рис. 1.

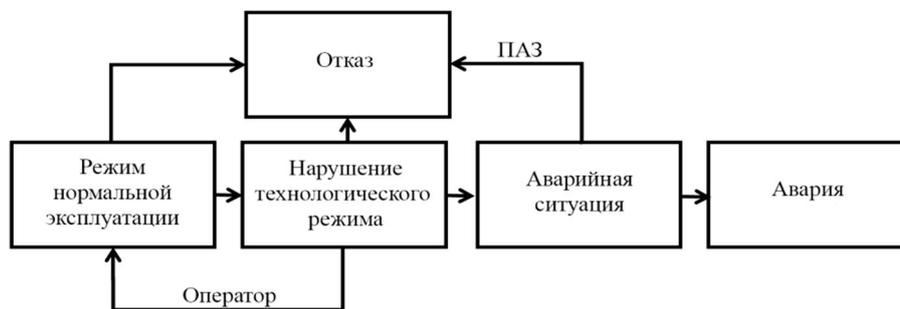


Рис. 1. Основные состояния технологического объекта и переходы между ними: ПАЗ – противоаварийная защита

Fig. 1. The main states of the technological object and the transitions between them: ПАЗ - emergency protection

Из некритического состояния «Нарушение технологического режима» объект может выходить по нескольким траекториям:

– возврат в режим нормальной эксплуатации, осуществляемый оператором вручную по сигналам предупредительной сигнализации;

– самопроизвольный переход в состояние отказа;
 – самопроизвольный – при отсутствии или неэффективности действий оператора – переход в аварийную ситуацию с дальнейшим переходом в состояние отказа при срабатывании системы противоаварийной защиты (ПАЗ) или самопроизвольным переходом в состояние аварии при неэффективности действий ПАЗ.

Таким образом, только одна из траекторий, проводимая человеком-оператором вручную, позволяет нормализовать состояние объекта, в то время как две других, с самопроизвольным течением или под действием системы управления, приводят к отказу или аварии.

Само состояние «Нарушение технологического режима» чаще всего идентифицируется по выходу значений отдельных технологических параметров за установленные пределы. Данный подход не позволяет учитывать ситуации, при которых каждый технологический параметр находится в допустимом диапазоне, но сочетание параметров указывает на развитие аварийной ситуации. Также не учитывается скорость изменения параметров, которая даже при нахождении параметра в допустимом диапазоне указывает на неблагоприятную динамику процесса. Такое состояние оборудования можно назвать предаварийной ситуацией (ПАС).

В ряде случаев при обнаружении ПАС существует возможность предпринять управляющие действия, способные вернуть систему в режим нормальной эксплуатации до срабатывания системы ПАЗ и предотвратить остановку технологического процесса, поэтому для сложных крупнотоннажных промышленных объектов целесообразно использование СПАС на основе распознавания ПАС на объекте управления [3].

Понятие «предаварийная ситуация» определяется как состояние объекта, характеризующееся следующими признаками:

- имеется отклонение от режима нормальной эксплуатации, которое при дальнейшем развитии может привести к аварии;
- каждый технологический параметр еще находится в допустимых диапазонах, хотя некоторые могут достигать предельных значений;
- в целом комбинация значений технологических параметров может характеризовать ситуацию на объекте как близкую к аварийной.

Расширенное множество состояний технологического объекта и возможные переходы между ними с учетом состояния «Предаварийная ситуация» и с указанием актуаторов контролируемых переходов показаны на рис. 2.

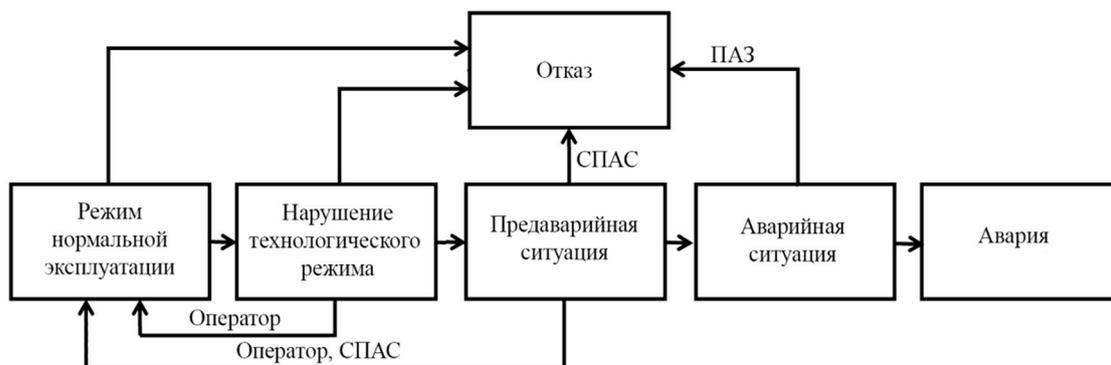


Рис. 2. Основные состояния технологического объекта и переходы между ними с учетом состояния «Предаварийная ситуация»

Fig. 2. The main states of a technological object and transitions between them, subject to the “Pre-emergency situation state”

Формируется дополнительная траектория возврата в режим нормальной эксплуатации, осуществляемая как оператором вручную, так и средствами СПАС, что уменьшает вероятность останова процесса. Еще одна дополнительная траектория позволяет под действием СПАС перевести ПАС в состояние отказа (остановка процесса). Своевременный переход в режим останова позволяет избежать возникновения аварийной ситуации, что исключает перегрузку оборудования, характерную для аварийных режимов.

Разработка ситуационной математической модели технологического объекта

Задача идентификации ПАС для технологических объектов реализуется как частная задача распознавания технологической ситуации на основе ситуационной математической модели объекта [4].

Ситуационная математическая модель (СММ) описывает зависимость ситуации на объекте от совокупности значений факторов, существенных для оценки состояния объекта. Взаимодействие модели и объекта управления показано на рис. 3.

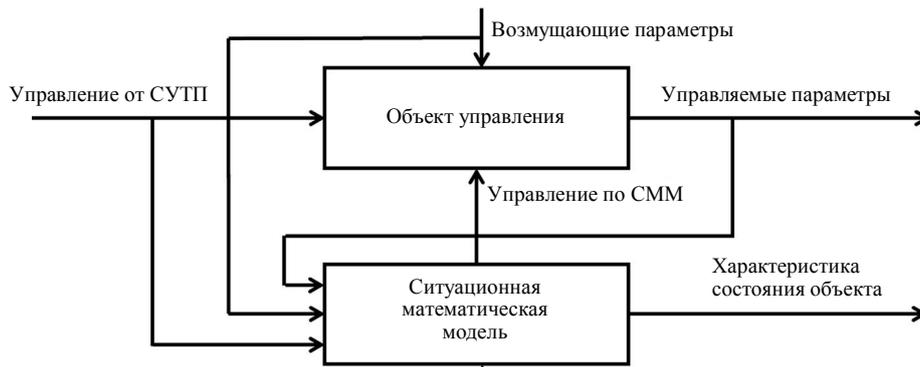


Рис. 3. Взаимодействие ситуационной математической модели и объекта управления: СУТП – система управления технологическим процессом

Fig. 3. Interaction of the situational mathematical model and the control object: СУТП - process control system

В качестве основных факторов оценки ситуации применительно к технологическим объектам рассматриваются координаты состояния: измеряемые технологические (управляющие, возмущающие и выходные параметры технологического процесса); вычисляемые параметры, зависящие от значений технологических параметров; внутренние характеристики объекта.

Ситуационная математическая модель реализуется в виде набора правил «ЕСЛИ ..., ТО ...» в терминах математического или лингвистического описания состояния объекта управления, отображающих знания экспертов об идентификации предаварийных ситуаций на объекте, а также возможных траекториях вывода объекта управления в режим нормальной эксплуатации. В соответствии с [5] предлагается группировать правила ситуационной математической модели по уровням безопасности:

– уровень 1 (СПАС-1) соответствует системе предупредительной сигнализации традиционной СУТП и оповещает оператора о переходе в состояние нарушения технологического режима;

– уровень 2.1 (СПАС-2.1, вновь вводимый) позволяет предупреждать оператора о переходе в состояние ПАС (сигнализация «предаврии»). Вывод объекта в состояние нормальной эксплуатации производится оператором вручную;

– уровень 2.2 (СПАС-2.2, вновь вводимый) позволяет при переходе в состояние ПАС и при наличии возможности управления оборудованием автоматически переводить оборудование в режим нормальной эксплуатации или в состояние отказа (остановка процесса);

– уровень 3 (СПАС-3) соответствует системе ПАЗ традиционной СУТП.

Реализация уровня СПАС-1 выполняется на базе продукционных правил, в качестве antecedentной части которых вводятся различные наборы значений технологических параметров, соответствующих параметрам состояния процесса по отношению к установленным пороговым значениям предупредительной сигнализации, а в качестве консеквентной указывается описание состояния оборудования с причиной нарушения технологического режима (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Структура правил СПАС-1

The architecture of EPS-1 rules

Антецедентная часть	Консеквентная часть	Вид правила
Простое сравнение по значениям технологических параметров $i = k$	Описание состояния оборудования	ЕСЛИ Параметр X_i ($>/</>=$) {Пороговое значение для X_i по уровню СПАС-1}, ТО Состояние {Нарушение технологического режима по параметру X_i }
Множественное сравнение по значениям технологических параметров $i \in \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$		ЕСЛИ Параметр X_i ($>/</>=$) {Пороговое значение для X_i по уровню СПАС-1} ЛОГИЧЕСКАЯ СВЯЗКА (И/ИЛИ) ... ТО Состояние {Нарушение технологического режима по совокупности параметров X_i }

Реализация подуровней СПАС-2.1 и СПАС-2.2 выполняется на базе производционных правил, в качестве антецедентной части которых вводятся различные наборы значений технологических и вычисляемых параметров по отношению к установленным пороговым значениям уровня СПАС-1 и прогнозируемому развитию ситуации, а в качестве

консеквентной указывается описание ПАС (для СПАС-2.1 и СПАС-2.2) и действия по переводу объекта из состояния ПАС в режим нормальной эксплуатации (для СПАС-2.2).

Структура правил уровней СПАС-2.1 и СПАС-2.2 приведены в табл. 2 и 3 соответственно.

Таблица 2

Table 2

Структура правил СПАС-2.1

The architecture of rules EPS-2.1

Антецедентная часть	Консеквентная часть	Вид правила
Простое сравнение по значениям технологических и вычисляемых параметров $i = k$	Описание состояния оборудования	ЕСЛИ Параметр X_i ($>/</=$) {Пороговое значение для X_i по уровню СПАС-1} ЛОГИЧЕСКАЯ СВЯЗКА (И/ИЛИ) ЕСЛИ Скорость изменения Параметра $X_i =$ {Лингвистическая переменная для скорости изменения X_i по условию СПАС-2.1}, ТО Состояние {Предаварийная ситуация по параметру X_i }
Множественное сравнение по значениям технологических и вычисляемых параметров $i \in \{k_1, k_2 \dots k_n\}$		ЕСЛИ Параметр X_i ($>/</=$) {Пороговое значение для X_i по уровню СПАС-1} ЛОГИЧЕСКАЯ СВЯЗКА (И/ИЛИ) ЕСЛИ Скорость изменения Параметра $X_i =$ {Лингвистическая переменная для скорости изменения X_i по условию СПАС-2.1} ЛОГИЧЕСКАЯ СВЯЗКА (И/ИЛИ) ... ТО Состояние {Предаварийная ситуация по совокупности параметров X_i }

Таблица 3

Table 3

Структура правил СПАС-2.2

The architecture of rules EPS-2.2

Антецедентная часть	Консеквентная часть	Вид правила
Простое сравнение по значениям технологических и вычисляемых параметров $i = k$	Описание состояния оборудования и действие	ЕСЛИ Параметр X_i ($>/</=$) {Пороговое значение для X_i по уровню СПАС-1} ЛОГИЧЕСКАЯ СВЯЗКА (И/ИЛИ) ЕСЛИ Скорость изменения Параметра $X_i =$ {Лингвистическая переменная для скорости изменения X_i по условию СПАС-2.2}, ТО Состояние {Предаварийная ситуация по параметру X_i } И Действие {ПАС}
Множественное сравнение по значениям технологических и вычисляемых параметров $i \in \{k_1, k_2 \dots k_n\}$		ЕСЛИ Параметр X_i ($>/</=$) {Пороговое значение для X_i по уровню СПАС-1} ЛОГИЧЕСКАЯ СВЯЗКА (И/ИЛИ) ЕСЛИ Скорость изменения Параметра $X_i =$ {Лингвистическая переменная для скорости изменения X_i по условию СПАС-2.2} ЛОГИЧЕСКАЯ СВЯЗКА (И/ИЛИ) ... ТО Состояние {Предаварийная ситуация по совокупности параметров X_i } И Действие {ПАС}

Реализация идентификации ситуаций уровня СПАС-3 выполняется аналогично СПАС-1 с использованием установленных пороговых значений системы ПАЗ (табл. 4).

Таблица 4

Table 4

Структура и примеры правил СПАС-3
 The architecture and cases of rules EPS-3

Антеcedентная часть	Консеквентная часть	Вид правила
Простое сравнение по значениям технологических параметров $i = k$	Описание состояния оборудования и действие	ЕСЛИ Параметр X_i ($>/</=$) {Пороговое значение для X_i по уровню СПАС-3}, ТО Состояние {Аварийная ситуация по параметру X_i } И Действие {ПАЗ}
Множественное сравнение по значениям технологических параметров $i \in \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$		ЕСЛИ Параметр X_i ($>/</=$) {Пороговое значение для X_i по уровню СПАС-3} ЛОГИЧЕСКАЯ СВЯЗКА (И/ИЛИ) ... ТО Состояние {Аварийная ситуация по совокупности параметров X_i } И Действие {ПАЗ}

Общее количество правил СММ определяется возможностью получения информации от объекта управления, полнотой знаний экспертов, возможностью управления оборудованием в ПАС и другими критериями.

Метод идентификации предаварийных ситуаций технологических объектов

На основе ситуационной математической модели предлагается метод идентификации предаварийных ситуаций. Основными этапами метода идентификации являются:

1. Формирование описания технологического объекта системы как источника предаварийных и аварийных ситуаций в виде ситуационной математической модели (проектный этап).

1.1. Декомпозиция технологического объекта с выделением функционально обособленных технологических аппаратов и их параметров.

1.2. Анализ технологических аппаратов с выделением управляемых, управляющих и возмущающих параметров технологического процесса, формирование описаний технологических и вычисляемых параметров.

1.3. Описание возможных некритичных отклонений от режима нормальной эксплуатации – СПАС-1. При этом для существующих объектов может использоваться технологическая документация по контурам предупредительной сигнализации.

1.4. Описание возможных отклонений от режима нормальной эксплуатации, потенциально приводящих к аварии (предаварийных ситуаций) – СПАС-2.1.

1.5. Анализ технологической возможности управления аппаратом в состоянии ПАС без полного останова процесса (частичный сброс сред из емкостных аппаратов, дросселирование или байпаси-

рование технологических потоков, включение дополнительных резервных аппаратов и т. д.) с формированием возможных управляющих воздействий по переводу в режим нормальной эксплуатации – СПАС-2.2.

1.6. Описание возможных отклонений от режима нормальной эксплуатации, требующих останова процесса (аварийных ситуаций) – СПАС-3. При этом для существующих объектов может использоваться технологическая документация по контурам ПАЗ.

1.7. Анализ возможных проектных аварий с указанием мер по их локализации и предотвращению последствий – СПАС-3.

1.8. Формирование СММ в виде набора по уровням СПАС.

2. Использование сформированной СММ для идентификации предаварийных и аварийных ситуаций (эксплуатационный этап).

2.1. Получение информации от технической системы.

2.2. Расчет значений вычисляемых параметров.

2.3. Обработка значений технологических и вычисляемых параметров по ситуационной математической модели.

2.4. Реализация результатов обработки.

Конкретное содержание работ по этапам зависит от вида объекта, сложности и изученности протекающих процессов, характеристик оборудования и других факторов [6].

Особенности формирования правил ситуационной математической модели при обработке качественной информации

Формирование правил уровня СПАС-2 с использованием в антеcedентной части условий по вычисляемым параметрам удобно производить с применением диаграмм взаимного влияния факторов. На

рис. 4 приведен пример диаграммы взаимного влияния для ПАС «Аварийное повышение давления

в аппарате» с использованием вычисляемого параметра в виде скорости изменения давления.

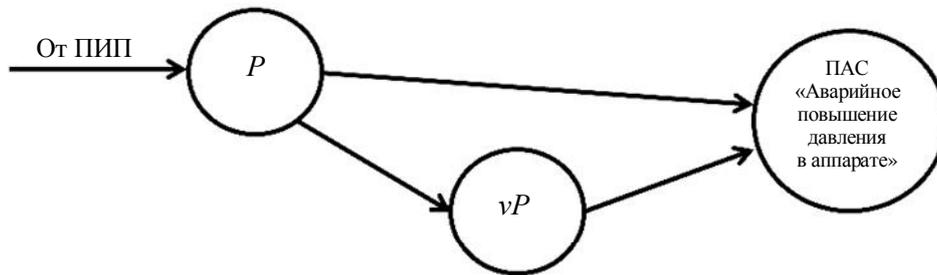


Рис. 4. Диаграмма взаимного влияния для ПАС «Аварийное повышение давления в аппарате»: ПИП – первичный измерительный преобразователь; P – текущее значение давления в аппарате; vP – скорость изменения давления в аппарате

Fig. 4. Diagram of mutual influence for EPS “Emergency pressure increase in the apparatus”: ПИП - primary measuring transducer; P - current value of the pressure in the apparatus; vP - rate of pressure change in the apparatus

Так как указать конкретные пороговые значения вычисляемых величин для использования в правилах СММ затруднительно, для описания входа модели vP используется лингвистическая переменная. Обработка правил осуществляется с использованием математического аппарата нечетких множеств.

Каждое значение входной лингвистической переменной представляет собой нечеткое подмножество базового множества (первичный терм) X на нормированном диапазоне изменения величины, образующем универсальное множество $U\{0...9\}$:

$$X = \mu_1/u_1 + \dots + \mu_i/u_i + \dots + \mu_9/u_9,$$

где u_i – i -й элемент универсального множества U , $i \in \{0...9\}$; μ_i – функция принадлежности элемента u_i нечеткому множеству X , $0 \leq \mu_i \leq 1$, $i \in \{0...9\}$.

$$\text{НИЗКАЯ} = \{1.0/0; 0.95/1; 0.70/2; 0.30/3; 0.10/4; 0.00/5; 0.00/6; 0.00/7; 0.00/8; 0.00/9\};$$

$$\text{СРЕДНЯЯ} = \{0.00/0; 0.00/1; 0.30/2; 0.80/3; 1.00/4; 0.80/5; 0.03/6; 0.00/7; 0.00/8; 0.00/9\};$$

$$\text{ВЫСОКАЯ} = \{1.00/0; 0.95/1; 0.70/2; 0.30/3; 0.10/4; 0.00/5; 0.00/6; 0.00/7; 0.00/8; 0.00/9\}.$$

В формализованной лингвистической форме antecedentная часть правила СПАС-2.1 представляется в виде множественного сравнения по значениям технологических и вычисляемых параметров:

ЕСЛИ $P > P_{\text{зад}}$ И ЕСЛИ $vP = \text{«ВЫСОКАЯ»}$,
 ТО ПАС «Аварийное повышение давления в аппарате».

В качестве математического описания используется матрица нечеткого отношения R , вычисление которой производится следующим образом:

$$R = \text{FUZZY}(vP) \times \{\text{ВЫСОКАЯ}\} + \text{FUZZY}(vP) \times \text{НЕ}\{\text{СРЕДНЯЯ}\} + \text{FUZZY}(vP) \times \text{НЕ}\{\text{НИЗКАЯ}\}.$$

В качестве примера рассмотрим реализацию лингвистического описания правила идентификации ПАС СПАС-2.1 для емкостного аппарата, характеризуемого параметром «Давление газа в аппарате» P (см. рис. 4).

Пусть предварительный анализ показал, что если давление в аппарате выше заданного и скорость изменения давления в аппарате высокая, то идентифицируется ПАС «Аварийное повышение давления в аппарате».

Для переменной vP (см. рис. 4) определены термы «Низкая», «Средняя» и «Высокая» в виде нечетких множеств на универсальном множестве $U\{0...9\}$:

На эксплуатационном этапе расчет по приведенному правилу производится с использованием матрицы R и операции минимаксной композиции

$$\{\text{ПАС}\} = \text{FUZZY}(vP) \oplus R.$$

Описание текущей ситуации в рамках СПАС определяется по максимальному значению функции принадлежности полученного нечеткого множества {ПАС}.

Алгоритм функционирования системы предотвращения аварийных ситуаций

Общая блок-схема алгоритма функционирования СПАС на эксплуатационном этапе приведена на рис. 5.

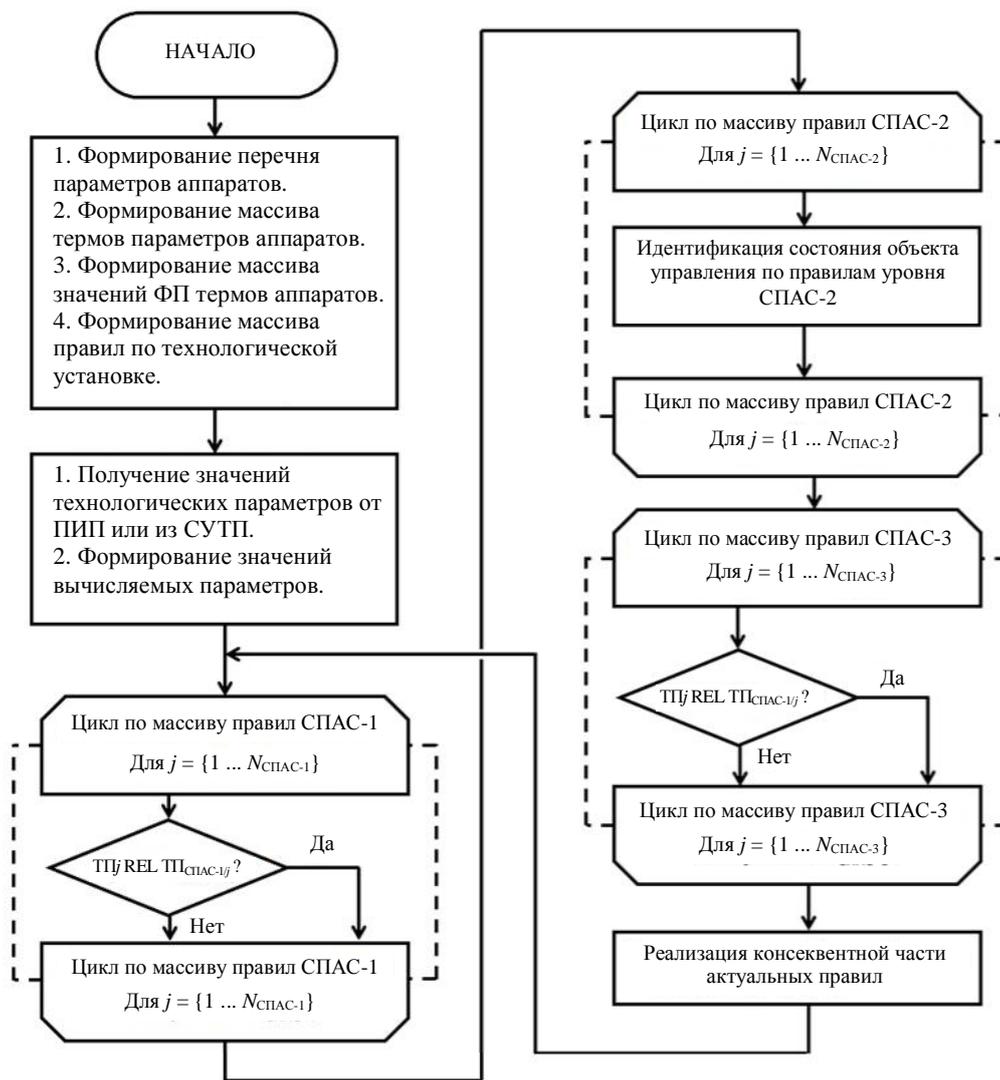


Рис. 5. Общая блок-схема алгоритма функционирования СПАС на эксплуатационном этапе:
 ФП – функция принадлежности; ТП – технологическая переменная

Fig. 5. General flowchart of the algorithm of the emergency prevention system operation during the exploitation phase: ФП - membership function; ТП - process variable

Функционирование системы на эксплуатационном этапе включает в себя инициализацию системы (шаг 1) и бесконечный цикл оценки текущей ситуации на объекте управления (шаги 2–5) и реализации управляющих воздействий в предаварийных и аварийных ситуациях (шаг 6).

Шаг 1. Инициализация СПАС: формирование перечня параметров аппаратов; формирование массива термов параметров аппаратов; формирование массива значений функции принадлежности термов по аппаратам; формирование массива правил установки.

Шаг 2. Формирование исходной информации о текущем состоянии технологического процесса:

получение значений технологических параметров от первичных преобразователей или от системы управления технологическим процессом; формирование значений вычисляемых параметров на основе значений технологических параметров.

Шаг 3. Идентификация состояния объекта управления по правилам уровня СПАС-1 (нарушение технологического режима).

Шаг 4. Идентификация состояния объекта управления по правилам уровня СПАС-2 (предаварийные ситуации).

Детализированный алгоритм процесса проверки одного правила при текущих значениях параметров состояния приведен на рис. 6.

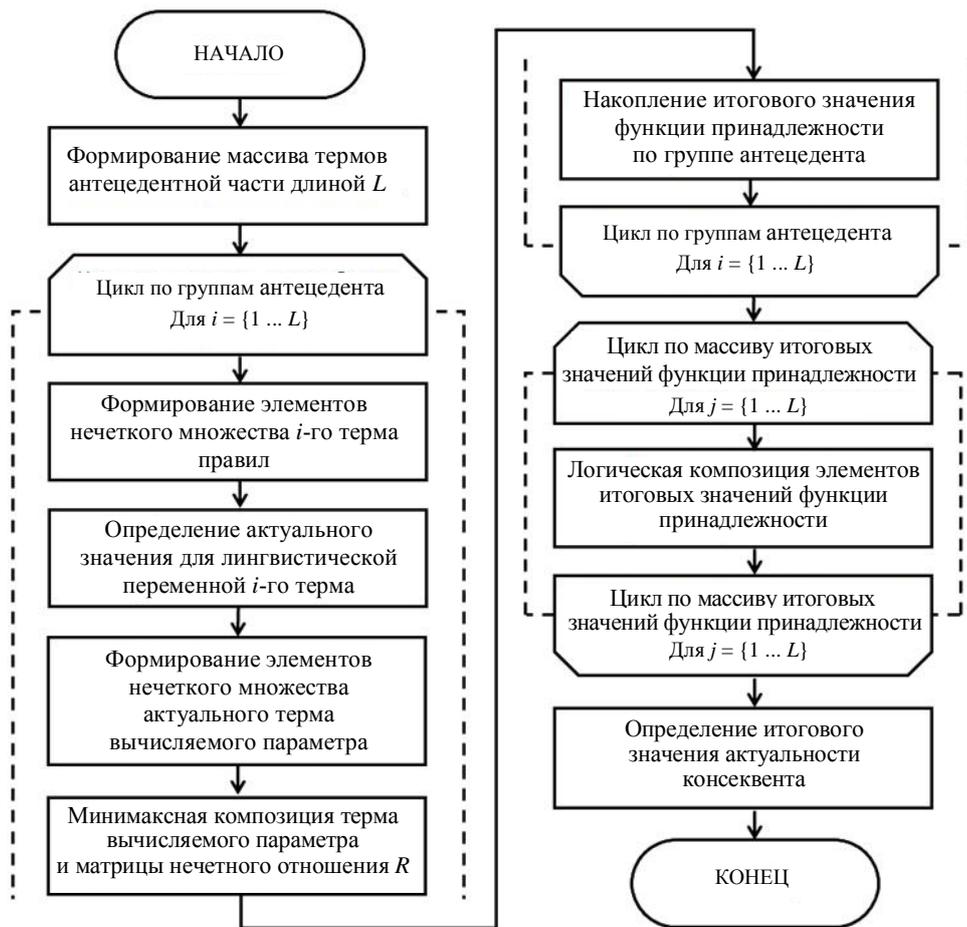


Рис. 6. Блок-схема алгоритма процесса проверки правила уровня СПАС-2 ситуационной математической модели

Fig. 6. Flowchart of the algorithm of checking the rule of EPS-2 level of the situational mathematical model

При этом для каждого правила уровней СПАС-2.1 или СПАС-2.2 осуществляется последовательность действий:

- формируется массив термов, представляющих антецедентную часть правила;
- для каждого термина массива формируется массив элементов нечеткого множества, характеризующихся ненулевым значением функции принадлежности;
- для текущего значения параметра, используемого в правиле, выбирается терм лингвистической переменной, при котором элемент множества, охватывающий текущее дискретное значение параметра, имеет наибольшее значение функции принадлежности;
- осуществляется операция минимаксной композиции элементов множества термина лингвистической переменной правила с соответствующей матрицей нечеткого отношения с накоплением итогового значения по функции принадлежности по группе антецедента;

– логическая композиция итоговых значений функции принадлежности с определением актуальности итогового консеквента.

Шаг 5. Идентификация состояния объекта управления по правилам уровня СПАС-3 (аварийные ситуации).

Шаг 6. Реализация консеквентной части актуальных правил в виде оповещения оператора или реализации управляющих воздействий на объект.

Предложенный алгоритм позволяет сформировать оценку ситуации на технологическом объекте на основании ситуационной математической модели.

Схема взаимодействия СУТП и СПАС

Для интеграции с существующей SCADA-системой предлагаемая СПАС может быть реализована на встроенном языке SCADA-системы. Однако функциональность встроенного языка зачастую не позволяет реализовать необходимые алгоритмы обработки данных, а также не обеспечивает универсальности интеграции СПАС с различными SCADA-системами.

В связи с этим предлагается использовать реализацию СПАС как внешнего приложения с использованием информационного обмена с модулями SCADA-системы через DCOM, DDE-серверы

или внешние базы данных. Структурная схема интеграции СПАС с имеющейся СУТП на основе SCADA-системы показана на рис. 7.

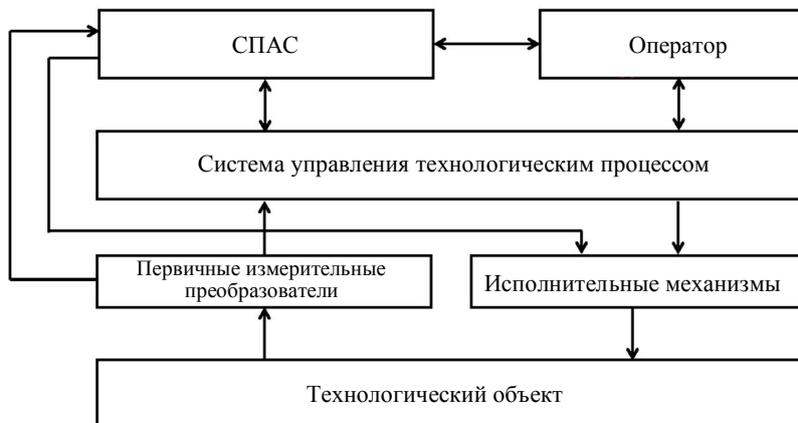


Рис. 7. Структурная схема интеграции СПАС с имеющейся СУТП на основе SCADA-системы

Fig. 7. Structural diagram of integration of the emergency prevention system with the existing PCS on base of SCADA system

Реализация СПАС в виде внешнего приложения с интеграцией через программные интерфейсы обмена информацией также не нарушает работу имеющихся систем предупредительной сигнализации и противоаварийной защиты, что не снижает проектный уровень технической безопасности объекта.

Заключение

Предложена система предотвращения аварийных ситуаций на основе ситуационной математи-

ческой модели с возможностью идентификации предаварийных ситуаций технологического процесса. Использование систем, позволяющих прогнозировать возникновение аварийного режима и предотвращать аварийную остановку технологического оборудования, позволит повысить безопасность и устойчивость функционирования опасных технологических объектов.

Список источников

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Федеральный закон № 116-ФЗ от 21 июля 1997 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9046058> (дата обращения: 05.01.2022).
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике (ССНТ). Основные понятия. Термины и определения. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 32 с.
3. Немчинов Д. В., Селиверстова А. Н., Антонов О. В. Поддержка принятия решений по управлению предаварийными ситуациями на примере установки каталитического риформинга // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 2. С. 19–25.
4. Антонов О. В., Райкова Е. Ф., Муратов Р. Э. Система идентификации предаварийных состояний технологических объектов на основе ситуационной математи-

- ческой модели // World science: problems and innovations: сб. ст. ЛП Междунар. науч.-практич. конф. (Пенза, 30 марта 2021 г.). Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г. Ю.), 2021. С. 50–54.
5. Проталинский О. М., Немчинов Д. В. Система поддержки принятия управленческих решений по снижению рисков аварийных ситуаций на промышленных объектах // Автоматизация в промышленности. 2010. № 3. С. 13–16.
6. Антонов О. В., Райкова Е. Ф., Муратов Р. Э. Метод идентификации предаварийных ситуаций для опасных производственных объектов в нефтяной и газовой промышленности // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика: сб. ст. XXIV Междунар. науч.-практ. конф. (Пенза, 30 марта 2021 г.). Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г. Ю.), 2021. С. 35–42.

References

1. O promyshlennoi bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov. Federal'nyi zakon № 116-FZ ot 21 iuliia 1997 g. [On industrial safety of hazardous production facili-

- ties. Federal Law No. 116-FZ of July 21, 1997]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/9046058> (accessed: 05.01.2022).

2. GOST 27.002-89. *Nadezhnost' v tekhnike (SSNT). Osnovnye poniatiia. Terminy i opredeleniia* [GOST 27.002-89. Dependability in techniques (SSNT). Basic principles. Terms and definitions]. Moscow, IPK Izd-vo standartov, 2002. 32 p.

3. Nemchinov D. V., Seliverstova A. N., Antonov O. V. Podderzhka priniatiia reshenii po upravleniiu predavariinymi situatsiiami na primere ustanovki kataliticheskogo riforminga [Decision support for coping with pre-emergency situation (case of catalytic reformer)]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naia tekhnika i informatika*, 2020, no. 2, pp. 19-25.

4. Antonov O. V., Raykova E. F., Muratov R. E. Sistema identifikatsii predavariinykh sostoianii tekhnologicheskikh ob"ektov na osnove situatsionnoi matematicheskoi modeli [System for identifying pre-emergency states of technological objects based on situational mathematical model]. *World science: problems and innovations: sbornik statei LII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*

(Penza, 30 marta 2021 g.). Penza, MTsNS «Nauka i Prosveshchenie» (IP Guliaev G. Iu.), 2021. Pp. 50-54.

5. Protalinskii O. M., Nemchinov D. V. Sistema podderzhki priniatiia upravlencheskikh reshenii po snizheniiu riskov avariinykh situatsii na promyshlennykh ob"ektakh [Management decision support system to reduce risks of emergency situations at industrial facilities]. *Avtomatizatsiia v promyshlennosti*, 2010, no. 3, pp. 13-16.

6. Antonov O. V., Raykova E. F., Muratov R. E. Metod identifikatsii predavariinykh situatsii dlia opasnykh proizvodstvennykh ob"ektov v neftianoi i gazovoi promyshlennosti [Method for identifying pre-emergency situations for hazardous production facilities in oil and gas industry]. *Innovatsionnye nauchnye issledovaniia: teoriia, metodologiia, praktika: sbornik statei XXIV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Penza, 30 marta 2021 g.)*. Penza, MTsNS «Nauka i Prosveshchenie» (IP Guliaev G. Iu.), 2021. Pp. 35-42.

Статья поступила в редакцию 18.01.2022; одобрена после рецензирования 16.02.2022; принята к публикации 05.04.2022
The article is submitted 18.01.2022; approved after reviewing 16.02.2022; accepted for publication 05.04.2022

Информация об авторах / Information about the authors

Олег Викторович Антонов – кандидат технических наук; доцент кафедры автоматизации и управления; Астраханский государственный технический университет; o_antonov@mail.ru

Елена Федоровна Райкова – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры автоматизации и управления; Астраханский государственный технический университет; ref11@mail.ru

Роберт Эдуардович Муратов – магистрант кафедры автоматизации и управления; Астраханский государственный технический университет; mmurat94@mail.ru

Oleg V. Antonov – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Automation and Management; Astrakhan State Technical University; o_antonov@mail.ru

Elena F. Raykova – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Automation and Management; Astrakhan State Technical University; ref11@mail.ru

Robert E. Muratov – Master's Course Student of the Department of Automation and Management; Astrakhan State Technical University; mmurat94@mail.ru

