



УДК 519.4

DOI 10.34757/2413-7383.2023.30.3.007

К. Б. Фам, П. М. Мурашев, В. Н. Богатиков
Тверской государственный технический университет
170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22.

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

K. B. Fam, P. M. Murashev, V. N. Bogatikov
Tver State Technical University
170026, Tver, emb. Afanasia Nikitina, 22.

FUZZY MODEL OF DIAGNOSTICS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

К. Б. Фам, П. М. Мурашев, В. Н. Богатиков
Тверський державний технічний університет
170026, м. Тверь, наб. Афанасія Нікітіна, 22

НЕЧІТКА МОДЕЛЬ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

В этой работе приведена система обеспечения безопасности работы технологических процессов с помощью алгоритма нечеткой модели определения степени безопасности в текущем моменте. Для представления упорядоченного множества неисправностей было использовано алгоритма построения диаграммы Хассе.

Ключевые слова: диагностика технологических процессов, диаграмма Хассе, нечеткое равенство, нечеткое включение, поиск в графе.

In this paper, a system for ensuring the safety of the technological process using an algorithm for determining the degree of safety at the current moment is presented. To represent an ordered set of faults, the Hasse diagram construction algorithm was used.

Key words: diagnostics of technological processes, Hasse diagram, fuzzy equality, fuzzy inclusion, graph search.

У даній роботі представлена система забезпечення безпеки технологічного процесу з використанням алгоритму визначення ступеня безпеки на поточний момент. Для представлення впорядкованої множини несправностей використано алгоритм побудови діаграми Хассе.

Ключові слова: діагностика технологічних процесів, діаграма Хассе, нечітка рівність, нечітке включення, пошук по графу.

Основной задачей промышленных систем диагностики является своевременное обнаружение нарушений, которые приводят к внештатным ситуациям [1], [2]. Для того чтобы иметь возможность выявить возможное нарушение еще на ранней стадии его развития, необходима количественная оценка безопасности [3], [4]. На современном этапе дальнейшее развитие науки и техники немыслимо без всесторонней информатизации и автоматизации процессов. Особенно остро эта проблема стоит при проектировании новых и диагностики используемых устройств и процессов [5]. В данной работе представлены алгоритм диагностики с помощью нечеткой логики и построение модели развития неисправности на основе диаграммы Хассе.

В процессе работы технического процесса ТП, в результате изменения значений его параметров происходит постоянная смена состояний. Каждое состояние системы имеет множество технологических параметров – $T = \{T_1, T_2, \dots, T_p\}$ [6-8]. Набор значений параметров, описывающих такое состояние в некоторый момент времени, назовем ситуацией. Каждый параметор из этого набора имеет центр области безопасности, в котором данный процесс является наиболее безопасным во время его рабочего (штатного) функционирования $T_{ц} = \{T_{ц1}, T_{ц2}, \dots, T_{цp}\}$. Выходы параметров из области безопасности может вызывать критические ситуации, поэтому для оценки степени безопасности системы при текущим состоянии необходимо определить удаленность текущей рабочей точки процесса s^* от точки характеризующей центр безопасности s_0 покажет степень безопасности для данного состояния ТП [8]. Это удаленность назовем уровнем безопасности, и она характеризуется расстоянием. Эти область и индексы безопасности имеет нечеткие характеристики, так как они определены из опытов экспертов при эксплуатации данного оборудования.

Дадим формальное определение «нечеткой» ситуации. Пусть $T_p = \{T_1, T_2, \dots, T_p\}$ – множество параметров значениями, которых описывается состояние процесса. Каждый параметр T_i описывается соответствующей лингвистической переменной $\langle \beta_i, T_i, D_i \rangle$ [9], [10] где:

- β_i - название лингвистической переменной;
- $E_i = \{E^1_i, E^2_i, \dots, E^{M_i}_i\}$ - терм-множество лингвистической переменной β_i ;
- D_i - базовое множество лингвистической переменной β_i ;

Каждому элементу терм-множества E_i , ставится в соответствие своя функция принадлежности. На рис. 1 представлен пример функций принадлежности одного параметров. В данном случае значение параметра, которое имеет наиболее безопасности, является точкой центра безопасности (как показан на рисунке). Для обеспечения безопасности работы ТП текущее значения данного параметра должно находится в области безопасности (отмеченная область).

Нечеткие ситуации \tilde{S} описываются таким образом: $\tilde{S} = \{ \langle \mu_s(T_i)/T_i \rangle, T_i \in T \}$,

где $\mu_s(T_i) = \{ \langle \mu_{\mu_s(T_i)}(E^j_i)/E^j_i \rangle, j = 1 \dots M; i = 1 \dots p \}$.

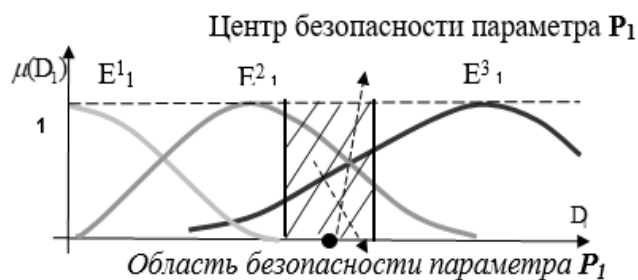


Рисунок 1 – Представление функции принадлежности параметров диагностики

Уровень безопасности системы в данном времени можно определить через степень нечеткого равенства [11] между текущим состоянием и центром безопасности. Данная степень рассматривается два критерия: степени нечеткого включения текущего состояния в центр безопасности и центра безопасности в текущее. Процедура определения степени равенства между текущим состоянием и центром безопасности заключается следующим образом:

$$\mu(S_{\text{теку}} \leftrightarrow S_{\text{ц}}) = \vartheta(S_{\text{теку}}, S_{\text{ц}}) \& \vartheta(S_{\text{ц}}, S_{\text{теку}}) \quad (1)$$

где $\vartheta(S_{\text{теку}}, S_{\text{ц}})$ – степень включения текущего состояния $S_{\text{теку}}$ в центр безопасности $S_{\text{ц}}$

$\vartheta(S_{\text{ц}}, S_{\text{теку}})$ – степень включения центра безопасности $S_{\text{ц}}$ в текущее состояние $S_{\text{теку}}$

$$\vartheta(S_{\text{теку}}, S_{\text{ц}}) = \& (\mu_{S_{\text{теку}}}(T_i) \rightarrow \mu_{S_{\text{ц}}}(T_i)), \quad i = 1 \dots n \quad (2)$$

$$\mu_{S_{\text{теку}}}(T_i) \rightarrow \mu_{S_{\text{ц}}}(T_i) = \max \{1 - \mu_{S_{\text{теку}}}(T_i), \mu_{S_{\text{ц}}}(T_i)\} \quad (3)$$

$$\vartheta(S_{\text{ц}}, S_{\text{теку}}) = \& (\mu_{S_{\text{ц}}}(T_i) \rightarrow \mu_{S_{\text{теку}}}(T_i)), \quad i = 1 \dots n \quad (4)$$

$$\mu_{S_{\text{ц}}}(T_i) \rightarrow \mu_{S_{\text{теку}}}(T_i) = \max \{1 - \mu_{S_{\text{ц}}}(T_i), \mu_{S_{\text{теку}}}(T_i)\} \quad (5)$$

Полученное нечеткое равенство между текущим состоянием и центром безопасности сравнивается с установленным значением порогом (примерно 0,6). В случае данное равенство больше порога можно делать вывод, что данное состояние системы находится в рамке безопасности, а когда уровень безопасности ниже порога, то работа оборудования нарушается и необходимо устранить неисправности.

Применение нечеткой модели к обнаружению нарушения работы различных процессов

Для процесса сушки

Рассмотрим пример применения диагностики к сушильному оборудованию по данным подходу. На основании знаний экспертов и видя отклонения технических параметров в работе агрегата при возникновении критической ситуации были выбраны параметры, которые оценивают степень безопасности. В работах [12], [13], предложен обоснование направления модификации параметров процесса конвективного воздействия на неоднородные смеси реагентов для обеспечения повышения качества получаемых смесей. Ими являются сильное повышение давления в камере сушки, и также отклонения температуры, скоростей ленты и воздуха от задания [13], [14]. Нечеткая ситуация представляется в виде:

{«0/ “малый – E11”, 80/ “средний – E12”, 150/ “большой – E13”»/ температура – признак 1;
 «0/ “малый – E21”, 0,3/ “средний – E22”, 0,6/ “большой – E23”»/ давление пары – признак 2;
 «0/ “малый – E31”, 1/ “средний – E32”, 2/ “большой – E33”»/ скорость воздуха – признак 3;
 «0/ “малый – E41”, 0,5/ “средний – E42”, 1/ “большой – E43”»/ скорость ленты – признак 4}



После получения текущего значения и заданного значения (центра безопасности) необходимых параметров, данные преобразуются в нечетком виде для процесса вычисления степени нечеткого равенства между текущей точкой системы и точкой центра безопасности.

Рассмотрим следующую конкретную ситуацию параметров процесса сушки. В данном примере нечеткие параметры диагностики имеет следующей значения (табл. 1):

Таблица 1 – Нечеткие значения по параметрам в данном примере

Парамс.	Т ₁ – Отклонение температуры			Т ₂ – Отклонение давления			Т ₃ – Отклонение скорости воздуха			Т ₄ – Отклонение скорости ленты			
	Тер	Е ₁ ¹	Е ₁ ²	Е ₁ ³	Е ₂ ¹	Е ₂ ²	Е ₂ ³	Е ₃ ¹	Е ₃ ²	Е ₃ ³	Е ₄ ¹	Е ₄ ²	Е ₄ ³
Цен.		0,15	0,9	0,15	0	0,2	0,8	0	0,5	0,9	0	0,6	0,2
Теку.		0,4	0,8	0,1	0	0,4	0,6	0	0,3	0,65	0	0,65	0,1

Степень включения текущего состояния $S_{\text{теку}}$ в центр безопасности $S_{\text{ц}}$:

$$\vartheta(S_{\text{теку}}, S_{\text{ц}}) = \& (\mu_{S_{\text{теку}}}(T_i) \rightarrow \mu_{S_{\text{ц}}}(T_i)) = 0,6$$

Степень включения текущего состояния $S_{\text{ц}}$ в центр безопасности $S_{\text{теку}}$:

$$\vartheta(S_{\text{ц}}, S_{\text{теку}}) = \& (\mu_{S_{\text{ц}}}(T_i) \rightarrow \mu_{S_{\text{теку}}}(T_i)) = 0,6$$

Степень равенства между текущим состоянием и центром безопасности:
 $\mu(S_{\text{теку}} \leftrightarrow S_{\text{ц}}) = \vartheta(S_{\text{теку}}, S_{\text{ц}}) \& \vartheta(S_{\text{ц}}, S_{\text{теку}}) = 0,6 \geq 0,6$ (порог)

Видно, что получение степени равенства между текущим состоянием и центром безопасности равно порогу (0,6) поэтому данная ситуация находится в зоне безопасности.

После обнаружения нарушения безопасности ТП необходимо найти место неисправности в оборудовании. Рассмотрим перечислены дефекты, которые возможны появляться в сушильном аппарате (табл. 2).

Таблица 2 – Дефекты, возникающие в сушилке

Код	Описание
O ₀	Нарушение работы камеры сушилки
O ₁	Нарушение работы двигателя для ленты в камере сушилки
O ₂	Нарушение работы нагревателя
O ₃	Нарушение работы вентилятора
O ₄	Неисправность системы регулирования двигателя ленты
O ₅	Неисправность системы регулирования вентилятора
O ₆	Неисправность регулятора температуры воздуха
O ₇	Неисправность датчика измерения скорости ленты

Продолж. табл. 2

O ₈	Неисправность датчика измерения скорости воздуха
O ₉	Неисправность датчика измерения влажности
O ₁₀	Неисправность датчика измерения давления
O ₁₁	Неисправность датчика измерения температуры
O ₁₂	Неисправность клапана воздуха
O ₁₃	Неисправность клапана зеленого чая
O ₁₄	Разбито смотровое окно
O ₁₅	Повышения значения давления
O ₁₆	Изменение скорости движения ленты
O ₁₇	Изменение значения температуры воздуха
O ₁₈	Остановка ленты
O ₁₉	Остановка вентилятора
O ₂₀	Остановка нагревателя

Для изучения взаимодействия между дефектами построена матрица нечеткого отношения, которая характеризуется степенями порождения одного к другому дефекту (табл. 3). Нечеткий граф развития опасностей изображен на рис. 2.

Таблица 3 – Нечеткое отношения $\mu_{R_1}^-(o_i, o_j)$

	O ₀	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇	...	O ₁₄
O ₀	1	0	0	0	0	0	0	0	...	0
O ₁	0,9	1	0	0	0	0	0	0	...	0
O ₂	0,9	0	1	0	0	0	0	0	...	0
O ₃	0,9	0	0	1	0	0	0	0	...	0
O ₄	0,6	0,8	0	0	1	0	0	0	...	0
O ₅	0,6	0	0	0,9	0	1	0	0	...	0
O ₆	0,5	0	0,9	0	0	0	1	0	...	0
O ₇	0,5	0,8	0	0	0	0,8	0	1	...	0
O ₈	0,5	0	0	0,8	0,8	0	0	0	...	0
O ₉	0,5	0	0	0	0	0	0	0	...	0
O ₁₀	0,7	0	0	0,5	0	0	0	0	...	0
O ₁₁	0,6	0	0,8	0	0	0	0,8	0	...	0
O ₁₂	0,5	0	0,7	0	0	0	0	0	...	0
O ₁₃	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	...	0
O ₁₄	0,7	0	0	0	0	0	0	0	...	1

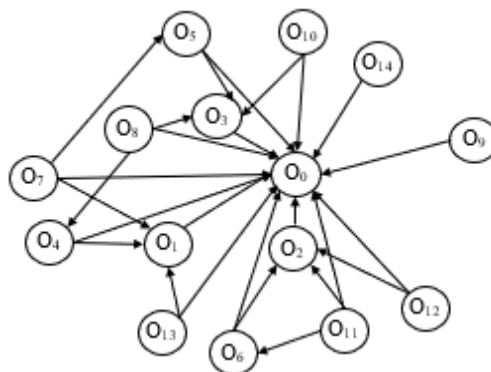


Рисунок 2 – Нечеткий граф развития неисправностей сушильного оборудования

Далее проводится анализ и преобразование нечеткого графа развития дефектов, целью которого является выделение в нем иерархической структуры, позволяющей проводить процедуру диагностирования внештатных ситуаций на множестве опасностей. Данная иерархическая структура является диаграммой Хассе. Алгоритм построения этой диаграммы заключается следующим образом: на первом уровне диаграммы находится только вершины, из которых не выходит ни одной дуги, на втором – вершины, из которых выходят дуги, инцидентные только вершинам первого уровня и на следующих уровнях есть вершины, из которых выходят дуги, инцидентные вершинам, расположенным на уровнях с первого по данным уровню (рис. 3).

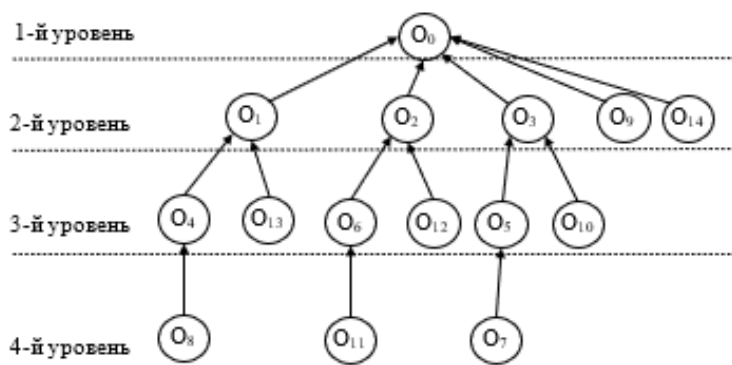


Рисунок 3 – Диаграмма Хассе [17] развития неисправностей сушильного оборудования

Для процесса измельчения

Порядок проверки наличия неисправностей также как применение к процессу сушки. Далее рассмотрим, как построение диаграмма Хассе для поиска дефекта в данном случае. В табл. 4 перечислены дефекты [15], [16], которые могут возникнуть в ходе работы мельницы.

Таблица 4 – Дефекты, возникающие в барабанной мельницы

Обозначение дефекта	Дефект
O ₀	Повышение температуры
O ₁	Снижение давления в клиновом зазоре
O ₂	Отсутствие смазки
O ₃	Забит трубопровод
O ₄	Износ насоса
O ₅	Забит фильтр (раз в неделю)
O ₆	Наличие большого количества воды в масле (постоянно)
O ₇	Забиты трубы
O ₈	Износ маслонасоса
O ₉	Низкое качество шабровки
O ₁₀	Нарушение баббитовой заливки
O ₁₁	Наличие инородных тел в баббитовой заливке
O ₁₂	Неравномерное прилегание цапфы на баббитовую поверхность

Матрица нечеткого отношения, которая характеризуется степенями порождения одного к другому дефекту, в данном случае изображен в табл. 5. Диаграмма Хассе развития дефектов процесса измельчения изображен на рис.4.

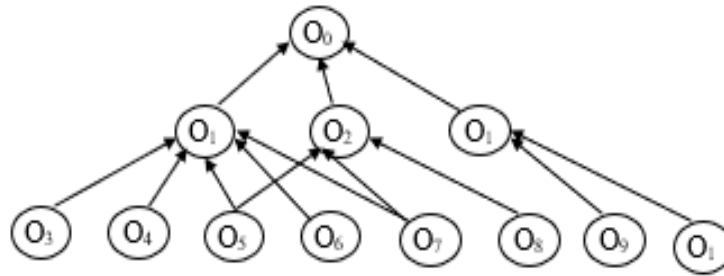


Рисунок 4 – Диаграмма Хассе развития неисправностей оборудования измельчения

Порядок проверки узлов ТП при выходе системы за ограничения области безопасности

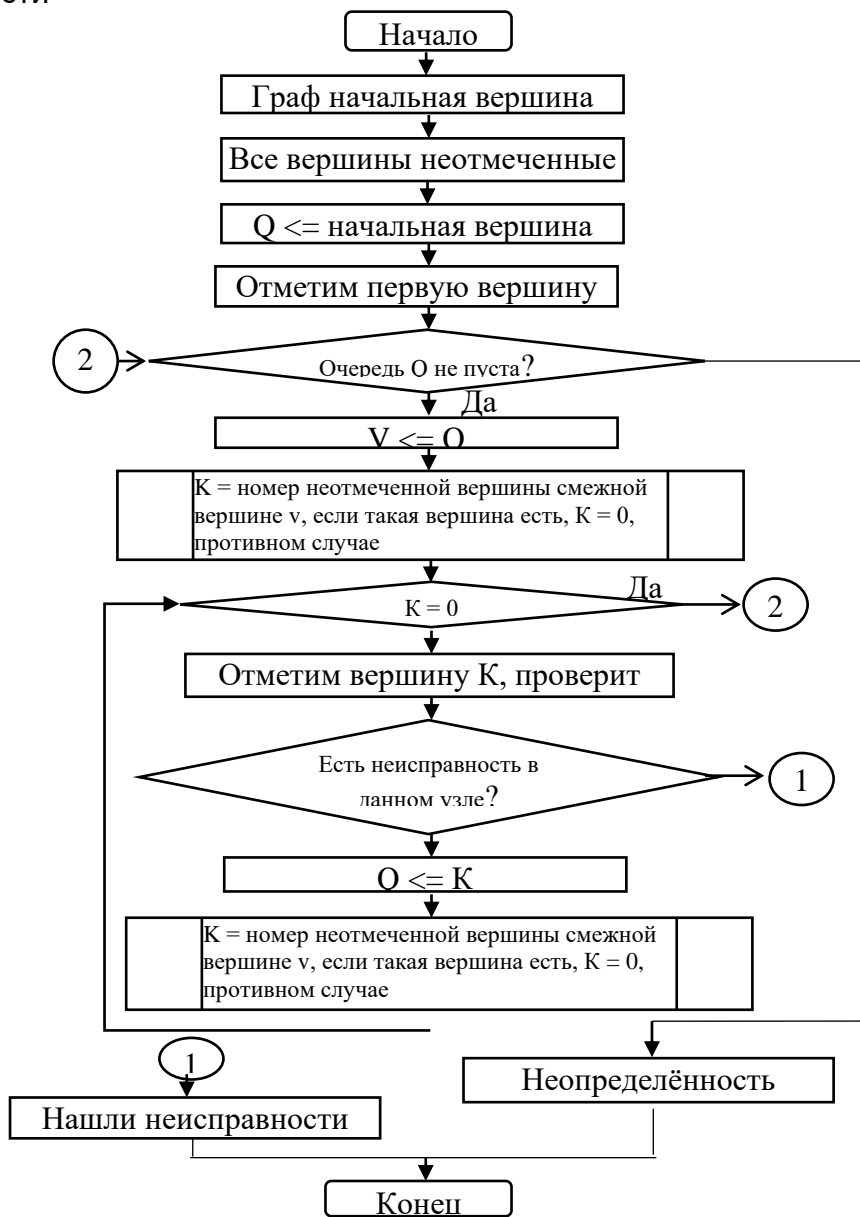


Рисунок 5 – Алгоритм поиска неисправности в графу

Таблица 5 – Нечеткое отношение $\mu_{R_1}(o_i, o_j)$

	O ₀	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇	O ₈	O ₉	O ₁₀	O ₁₁
O ₀	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O ₁	0,8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O ₂	0,7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O ₃	0,5	0,7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
O ₄	0,6	0,8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
O ₅	0,5	0,7	0,8	0	0	1	0	0	0	0	0	0
O ₆	0,3	0,7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
O ₇	0,5	0,8	0,8	0	0	0	0	1	0	0	0	0
O ₈	0	0	0,9	0	0	0	0	0	1	0	0	0
O ₉	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,7
O ₁₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,8
O ₁₁	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Список литературы

1. Ярмо Е., Чернышов К. Задачи диагностики в человеко-машинных системах управления атомными электростанциями. *Международная конференция по промышленной инженерии, приложениям и производству (ICIEAM)*. 2022. С. 563-571.
2. Вэйци В., Яньмей З., Шоуи С. и Гоцянь Х. Разработка системы динамической диагностики шахтной безопасности на основе облачных вычислений и технологии Интернета вещей. *Журнал интеллектуальных и нечетких систем*. 2021. № 40 (4). С. 5837-5844.
3. Зуев В. М., Бутов О. А., Иванова С. Б., Никитина А. А., Уланов С. И. Способ обучения нейронной сети управления роботом // *Проблемы искусственного интеллекта*. 2021. №2 (21).
4. Иванова С. Б., Сальников И. С., Сальников Р. И. Особенности и результаты групповой компьютерной диагностики и безмедикаментозной терапии психоэмоциональных состояний трудового коллектива в эксперименте. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2021. №1 (20).
5. Перинская Е. В. Математическое моделирование процессов функционирования специализированных аппаратов конвективного типа. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2022. №2 (25).
6. Тоичкин Н. А., Богатиков В. Н. Алгоритм определения центра безопасности для оценки состояния технологического процесса. *Информационные технологии в региональном развитии. Апатиты*, 2005. Вып. V. С. 68–72.
7. Тоичкин, Н. Проектирование архитектуры информационной системы диагностики состояний и управления безопасностью технологических процессов. *Научно-технический вестник поволжья Учредители: ООО «Рашии Сайнс»*, (3), 128-132.
8. Тоичкин Н. А. *Диагностика состояний и управление технологической безопасностью с использованием индекса безопасности* (на примере цеха выпарки производства хлора и каустика). Diss. Твер. гос. техн. ун-т, 2006.
9. Фам К. Б., Моделирование процесса сушки зеленого чая. *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки*. 2023. № 3(19). С. 71-83. DOI 10.46573/2658-5030-2023-3-71-83. – EDN IZQVSF
10. Фам, К. Б., Мурашев П. М., Богатиков В. Н. Прогнозирующее управление индексом качества процесса сушки зеленого чая. *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия: Технические науки*. 2022. № 4(16). С. 63-76. DOI 10.46573/2658-5030-2022-4-63-76. – EDN UGDSMK.
11. Сидиков, И. Х., Мамасадииков, Ю., Мамасодикова, Н. Ю., & Махмудов, И. А. Нечетко-ситуационная модель управления технологических состояний нефтехимических установок и комплексов. *Science and Education*, 2022. 3(9), 202-213.
12. Перинская Е. В. Математическое моделирование процессов функционирования специализированных аппаратов конвективного типа. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2022. №2 (25).
13. Перинская Е. В. Применение метода вычислительного эксперимента к исследованию параметров конвективных процессов. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2021. №3 (22).

14. Попов Д. И., Виноградов Д. В. Анализ алгоритмов поиска в пространстве состояний. *Вестник Московского государственного университета печати*, (6), 31-33, 2015.
15. Яо, ЛЮ, Цзяхао, Ли, Чжиган, Чжао, Цзиньчжу, ГУО, Гохун, Ли и Сицзин, Чжу Перспективные технологии шлифования карбидокремниевой керамики: обзор. *Журнал передовых производственных наук и технологий*. 2023. 4 (1), 2023016-0.
16. Кофман Ф. *Введение в теорию нечетких множеств*. – М.: Радио и связь, 1982.
17. Заде Л. *Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений*. М.: Мир. 1976.
18. Порешин П.П., Попов Б.Н. *Дискретная математика: множества, отношения, логика, автоматы. Учебное пособие* М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2014.
19. Листопад Н. И., Карук И. А., Хайдер А. А. *Алгоритмы поиска кратчайшего пути и их модификация. Цифровая трансформация*, (1), 48-63, 2016.
20. Сатиш Т., Премкумар И.Дж., Сараванан Р., Баскер С., Партибан А. и Виджаян В. (октябрь 2020 г.). Увеличение скорости, качества и безопасности процессов за счет недорогой автоматизации – практический пример. *Материалы конференции AIP* (том 2283, № 1). Издательство AIPP.

References

1. Yarko E., Chernyshov K. (May 2022). Diagnostic problems in human-machine control systems of nuclear power plants. The 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (pp. 563-571). IEEE.
2. Weiqi, W., Yanmei, Z., Shouyi, S., & Guoqiang, X. (2021). Development of a dynamic diagnostics system for mine safety based on cloud computing and Internet of Things technology. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 40(4), 5837-5844.
3. Zuev V. M., Butov O. A., Ivanova S. B., Nikitina A. A., Ulanov S. I. A method for training a neural network for robot control // *Problems of artificial intelligence*. 2021. No. 2 (21).
4. Ivanova S. B., Salnikov I. S., Salnikov R. I. Features and results of group computer diagnostics and drug-free therapy of psycho-emotional states of the work collective in an experiment // *Problems of artificial intelligence*. 2021. No. 1 (20).
5. Perinskaya E. V. Mathematical modeling of the functioning processes of specialized convective type devices // *Problems of artificial intelligence*. 2022. No. 2 (25).
6. Toichkin N. A., Bogatikov V. N. Algorithm for determining the security center for assessing the state of a technological process // *Information technologies in regional development*. Apatity, 2005. Vol. V. P. 68–72.
7. Toichkin, N. Designing the architecture of an information system for diagnosing conditions and managing the safety of technological processes. *Scientific and technical bulletin of the Volga region Founders: Russian Science LLC*, (3), 128-132.
8. Toichkin, Nikolai Alexandrovich. *Diagnostics of conditions and management of process safety using a safety index (using the example of an evaporation shop for the production of chlorine and caustic soda)*. Diss. Tver. state tech. univ., 2006.
9. Pham, K. B. Modeling the process of drying green tea / K. B. Pham, P. M. Murashev, V. N. Bogatikov // *Bulletin of Tver State Technical University. Series: Technical Sciences*. – 2023. – No. 3(19). – P. 71-83. – DOI 10.46573/2658-5030-2023-3-71-83. – EDN IZQVSF
10. Pham, K. B. Predictive management of the quality index of the green tea drying process / K. B. Pham, P. M. Murashev, V. N. Bogatikov // *Bulletin of the Tver State Technical University. Series: Technical Sciences*. – 2022. – No. 4(16). – P. 63-76. – DOI 10.46573/2658-5030-2022-4-63-76. – EDN UGDSMK.
11. Sidikov, I. Kh., Mamasadikov, Y., Mamasodikova, N. Yu., & Makhmudov, I. A. (2022). Fuzzy situational model for controlling technological states of petrochemical plants and complexes. *Science and Education*, 3(9), 202-213.
12. Perinskaya E. V. Mathematical Modeling Of Operation Processes Of Specialized Convective Type Devices // *Problems of artificial intelligence*. 2022. No. 2 (25).
13. Perinskaya E. V. Application Of The Computational Experiment Method To The Study Of Parameters Of Convective Processes // *Problems of artificial intelligence*. 2021. No. 3 (22).
14. Popov D. I., Vinogradov D. V. Analysis of search algorithms in state space. *Bulletin of the Moscow State University of Printing*, (6), 31-33, 2015.
15. Yao, Liu, Jiahao, Li, Zhigang, Zhao, Jinzhu, Guo, Guohong, Li and Xijing, Zhu (2023). Promising technologies for grinding silicon carbide ceramics: a review. *Journal of Advanced Manufacturing Science and Technology*, 4(1), 2023016-0.

16. Kofman F. Introduction to the theory of fuzzy sets. – M.: Radio and Communications, 1982.
17. Zadeh L. The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions. – M.: Mir. 1976.
18. Poreshin P.P., Popov B.N. Discrete mathematics: sets, relations, logic, automata: Textbook - M.: MAI-PRINT Publishing House, 2014.
19. Listopad N. I., Karuk I. A., Haider A. A. Algorithms for finding the shortest path and their modification. Digital Transformation, (1), 48-63, 2016.
20. Satheesh, T., Premkumar, I. J., Saravanan, R., Bhasker, S., Parthiban, A., and Vijayan, V. (October 2020). Increasing speed, quality and safety of processes through low-cost automation - a practical example. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2283, No. 1). AIP Publishing House.

RESUME

K. B. Fam, P. M. Murashev, V. N. Bogatikov

Diagnose technological processes using fuzzy methods and Hasse diagrams

The online implementation of these methods is becoming an important research topic due to the growing demand for higher performance, efficiency, reliability and safety of automated industrial processes. Classical failure detection methods are based on limit testing of some important measurable variables. Artificial intelligence experiments with models of human intelligence and proposes systems that can act autonomously. Expert systems and intelligent signal processing have been successfully used as fault detection methods. When these knowledge-based methods are applied to online troubleshooting, they include the necessary components for interpreting sensor signals, detecting abnormal behavior.

The proposed method is based on the degree of safety of the current state. Each parameter from this set has the center of the security area, in which this process is the safest during its working (normal) functioning $T_c = \{T_{c1}, T_{c2}, \dots, T_{cp}\}$. The exit of parameters from the security area can cause critical situations, therefore, to assess the degree of system security in the current state, it is necessary to determine the distance of the current operating point of the process s^* from the point characterizing the security center so will show the degree of security for a given state of the technological process.

A methodology for creating a system for controlling the technological safety state of industrial processes based on the mathematical apparatus of fuzzy logic is proposed. The algorithm of the system operation is shown for two technological processes (drying and grinding). The application of the Hassé diagram for troubleshooting in the technological safety operating system is considered.

Got methods for detecting the presence of an object malfunction by using the degree of equality between the current state and the security center, also got an algorithm for finding the defect location using the Hasse diagram.

РЕЗЮМЕ

К. Б. Фам, П. М. Мурашев, В. Н. Богатиков

Нечеткая модель диагностики технологических процессов

Онлайн-реализация этих методов становится важной темой исследований в связи с растущим спросом на более высокую производительность, эффективность, надежность и безопасность автоматизированных промышленных процессов. Классические методы обнаружения отказов основаны на проверке пределов некоторых важных измеримых переменных. Искусственный интеллект экспериментирует с моделями человеческого интеллекта и предлагает системы, которые могут действовать автономно. Экспертные системы и интеллектуальная обработка сигналов

успешно используются в качестве методов обнаружения неисправностей. Когда эти основанные на знаниях методы применяются для онлайн-устранения неполадок, они включают в себя необходимые компоненты для интерпретации сигналов датчиков и обнаружения аномального поведения.

Предлагаемый метод основан на степени безопасности текущего состояния. Каждый параметр из этого набора имеет центр области безопасности, в которой этот процесс наиболее безопасен при своем рабочем (нормальном) функционировании $T_{Ц} = \{T_{Ц1}, T_{Ц2}, \dots, T_{Цp}\}$. Выход параметров из области безопасности может вызвать критические ситуации, поэтому для оценки степени безопасности системы в текущем состоянии необходимо определить расстояние текущей рабочей точки процесса s^* от точки, характеризующей безопасность, центр так покажет степень безопасности для данного состояния технологического процесса.

Предложена методология создания системы контроля состояния технологической безопасности производственных процессов на основе математического аппарата нечеткой логики. Алгоритм работы системы показан для двух технологических процессов (сушка и измельчение). Рассмотрено применение диаграммы Хассе для поиска неисправностей в операционной системе технологической безопасности.

Получили методы обнаружения наличия неисправности объекта по степени равенства текущего состояния и центра безопасности, а также получили алгоритм поиска места неисправности с помощью диаграммы Хассе.

Фам Куанг Банг – аспирант кафедры информационных систем «Тверского государственного технического университета», *Область научных интересов:* автоматизация технологических процессов, системы искусственного интеллекта эл. почта phambang79520897405@gmail.com, адрес: 170026, г. Тверь, Комсомольский проспект, 5, телефон +79201705924.

Мурашев Павел Михайлович – аспирант кафедры информационных систем «Тверского государственного технического университета», *Область научных интересов:* автоматизация технологических процессов, системы искусственного интеллекта эл. почта myptver@gmail.com, адрес: 170002, г. Тверь, Спортивный переулок, 3, телефон +79092663434.

Богатиков Валерий Николаевич – д.т.н., профессор кафедры информационных систем «Тверского государственного технического университета», *Область научных интересов:* автоматизация технологических процессов, системы искусственного интеллекта эл. почта vnbgtk@mail.ru, адрес: 170043, г. Тверь, Октябрьский проспект, 99, телефон +79190693669.

Статья поступила в редакцию 13.10.2023.