

**ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА
НА РАБОЧИХ МЕСТАХ И КАЧЕСТВА РАБОТ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ**

© 2025 А.В. Винниченко

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП),
г. Санкт-Петербург, Россия

Статья поступила в редакцию 18.02.2025

Статья посвящена разработке методики оценки состояния оператора в производственной системе «оператор-оборудование-процесс» (ООП) с использованием нечеткой логики и трапециевидных функций принадлежности. В условиях растущих требований к производительности и безопасности производственных процессов актуальность исследования обусловлена необходимостью внедрения адаптивных систем управления, способных учитывать неопределенность и вариативность показателей состояния оператора. Предложенная методика включает классификацию уровней состояния оператора, интерпретацию данных через трапециевидные функции принадлежности и интеграцию с методами машинного обучения для автоматизации процесса оценки и подбора рекомендаций по улучшению хода протекания процесса. Результаты исследования демонстрируют возможность оперативного выявления критических состояний оператора, прогнозирования рисков и разработки корректирующих действий, что способствует повышению организационно-технологической эффективности производственных систем.

Ключевые слова: адаптивные системы управления, машинное обучение, нечеткая логика, производственная система «оператор-оборудование-процесс», организационно-технологическая эффективность, трапециевидные функции принадлежности.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-2-81-87

EDN: GEVLCU

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № FSRF-2023-0003, «Фундаментальные основы построения помехозащищенных систем космической и спутниковой связи, относительной навигации, технического зрения и аэрокосмического мониторинга».

ВВЕДЕНИЕ

Влияние оператора на эффективность производственной системы является критичным фактором, определяющим качество продукции, производительность и безопасность производственного процесса [1]. Однако выполнение рутинных операций, высокая физическая и психоэмоциональная нагрузка могут приводить к усталости, снижению концентрации внимания и, как следствие, к ошибкам [2]. Отсутствие единой методики оценки состояния оператора, а также высокая вариативность показателей в различных производственных сферах, осложняют анализ и требуют разработки специализированных подходов [3]. Внедрение адаптивных систем управления, основанных на нечеткой логике, позволяет учитывать неопределенность и вариативность данных, что особенно актуально в условиях динамично изменяющихся производственных систем [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки состояния оператора разработан и предложен подход, основанный на использовании модели нечетких множеств, позволяющей устранить неопределенность при перекрывании различных показателей [5], отличающийся от известных классификаций уровней состояния оператора, интерпретацию результатов через трапециевидные функции принадлежности, что позволяет учитывать нечеткость и вариативность показателей, а также интеграцию с методами машинного зрения для автоматизации процесса оценки [6] и самообучения системы на основе пополняемой базы данных [7].

Для реализации методики разработана программная модель на языке Python, которая использует алгоритмы машинного обучения и методы анализа больших данных. Это позволяет оперативно выявлять отклонения, прогнозировать риски и разрабатывать корректирующие действия.

Винниченко Александра Валерьевна, соискатель, старший преподаватель кафедры инноватики и интегрированных систем качества. E-mail: alex23rain@gmail.com

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Были определены уровни состояния оператора и принято решение интерпретировать результаты через трапециевидные функции принадлежности для уровней состояния оператора [8] (табл. 1).

Таблица 1. Фрагмент квалиметрической шкалы оценок характеристик классификации уровня состояния оператора

№ n/n	Обозначение	Показатель	Интервал	Характеристика
1	2	3	4	5
1	X_1	Время на операцию	[0-0,45)	$X_{1.1}$ – Большое
			[0,3-0,75)	$X_{1.2}$ – Стандартное
			[0,7-1)	$X_{1.3}$ – Малое
2	X_2	Действия оператора	[0-0,4)	$X_{2.1}$ – Не правильное
			[0,35-0,8)	$X_{2.2}$ – Правильное
			[0,75-1)	$X_{2.3}$ – Отсутствует
3	X_3	Сложность операции	[0-0,3)	$X_{3.1}$ – Сложная
			[0,3-0,8)	$X_{3.2}$ – Стандартная
			[0,75-1)	$X_{3.3}$ – Легкая
4	X_4	Уровень стресса	[0-0,4)	$X_{4.1}$ – Высокий
			[0,375-0,775)	$X_{4.2}$ – Присутствует
			[0,7-1)	$X_{4.3}$ – Отсутствует

Для обеспечения эффективного управления производственной системой «оператор-оборудование-процесс» (ООП) необходимо разработать условия принятия решений для всех исследуемых показателей, учитывая возможные уровни их состояния и соответствующие интервалы [9]. Это позволит реализовать адаптивную систему управления, способную оперативно реагировать на изменения в производственной среде и минимизировать отклонения от заданных параметров. В рамках данной задачи была разработана таблица 2, содержащая нечеткие множества для показателя «время на операцию» (X_1), которая учитывает условия принятия решений о принадлежности к тому или иному уровню состояния (формулы 1–3). В рамках данной задачи были определены нечеткие множества для показателя «время на операцию» (X_1), изложенные в таблице 2, учитывая условия принятия решений о принадлежности к тому или иному уровню состояния (формулы 1–3).

Представленные нечеткие множества для показателя «время на операцию» (X_1), которые описывают его возможные состояния: «медленное», «стандартное», «быстрое». Каждое состояние характеризуется определенными интервалами значений, что позволяет учитывать неопределенность и вариативность в производственных процессах. Для визуализации данных на рисунке 1 представлен график функций принадлежности для всех состояний показателя X_1 .

На рисунке 1 представлен график функций исследуемого показателя для всех его состояний, учитывая условия принятия решения о принадлежности к тому или иному уровню для показателя время на операцию (X_1).

График функций принадлежности демонстрирует перекрытие интервалов, что отражает нечеткость в оценке состояния показателя. Например, значение времени на операцию, находящееся на границе между «медленным» и «нормальным» уровнями, может одновременно принадлежать обоим состояниям с разной степенью уверенности. Это явление, известное как лингвистическая неопределенность, позволяет более гибко подходить к принятию решений, учитывая возможные погрешности в измерениях или изменения в условиях производства. Использование нечеткой логики (fuzzy logic) в данном контексте обеспечивает возможность работы с неточными данными, что особенно актуально в условиях динамично изменяющихся производственных систем [5].

Разработанные условия принятия решений на основе нечетких множеств обеспечивают адаптивность системы управления производственными процессами, за счет реализации итеративных алгоритмов, позволяющих оперативно корректировать параметры работы оборудования, оптимизировать временные затраты на выполнение операций и минимизировать влияние человеческого фактора.

При анализе переходов показателей оператора на более высокие уровни состояния учитываются лишь те параметры и индикаторы, которые отражают компоненты и критерии оценки готовности к переходу на следующий уровень [10]. В таблице 3 и на рисунке 2а,б представлены основные условия принятия решения для отнесения того или иного рассматриваемого показателя к определенному уровню состояния оператора.

Таблица 2. Время на операцию (X_1)

Нечеткое множество	Функция принадлежности	Дефазификатор
$X_{1.1} = \{(0,0); (0,125;1); (0,3;1); (0,45;0)\}$	$\mu_{X_{1.1}}(x) = \left\{ \begin{array}{ll} y = 0, & 0,45 \leq x < 0 \\ \frac{x-0}{0,125-0}, & 0 \leq x < 0,125 \\ y = 1, & 0,125 \leq x \leq 0,3 \\ \frac{0,45-x}{0,45-0,3}, & 0,3 < x < 0,45 \end{array} \right\} (1)$	Медленное время выполнения операции, в соответствии с нормой выработки
$X_{1.2} = \{(0,3;0); (0,4;1); (0,6;1); (0,75;0)\}$	$\mu_{X_{1.2}}(x) = \left\{ \begin{array}{ll} y = 0, & 0,75 \leq x < 0,3 \\ \frac{x-0,3}{0,4-0,3}, & 0,3 \leq x < 0,4 \\ y = 1, & 0,4 \leq x < 0,6 \\ \frac{0,75-x}{0,75-0,6}, & 0,6 < x < 0,75 \end{array} \right\} (2)$	Стандартное время выполнения операции, в соответствии с нормой выработки
$X_{1.3} = \{(0,7;0); (0,8;1); (1,0;1)\}$	$\mu_{X_{1.3}}(x) = \left\{ \begin{array}{ll} y = 0, & 1,0 \leq x < 0,7 \\ \frac{x-0,7}{0,8-0,7}, & 0,7 \leq x < 0,8 \\ \frac{1,0-x}{1,0-0,8}, & 0,8 \leq x < 1,0 \end{array} \right\} (3)$	Быстрое время выполнения операции, в соответствии с нормой выработки

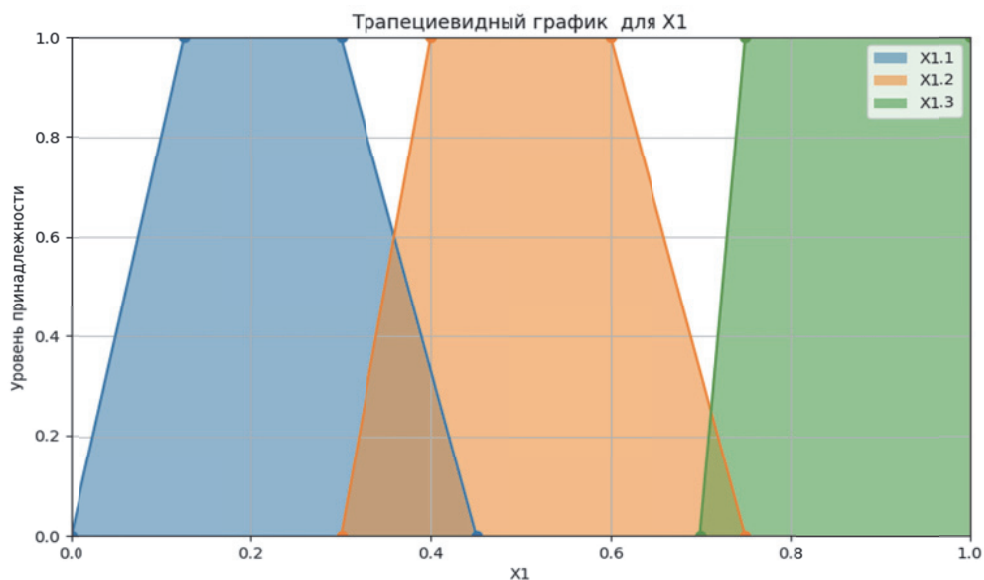


Рис. 1. График показателя «Время на операцию»

Для реализации предложенной классификации была разработана программная модель на языке Python, нацеленная на автоматизацию процесса оценки состояния оператора в производственной среде [11]. Данная модель опирается на алгоритмы машинного обучения и методы анализа больших данных, что позволяет значительно повысить точность диагностики и эффективность принятия решений (рис. 3).

Ключевым аспектом данной модели является использование функций принадлежности в контексте нечеткой логической системы. Эти функции позволяют количественно оценивать состояние оператора в реальном времени, что критично в условиях динамично изменяющейся производственной среды. Нечеткая логика, как подход, даёт возможность обрабатывать данные, полученные от различ-

Таблица 3. Уровни состояния оператора ТЛ

Уровень состояния оператора	Характеристика	Интервалы	Условия принятия решения	Дефазификатор нечеткого множества
Уровень 1 Критичное состояние	X_1	[0-0,45]	$X_{1,1} = \{(0,0); (0,125;1); (0,3;1); (0,45;0)\}$	Медленное время выполнения операции, в соответствии с нормой выработки
	X_2	[0-0,4]	$X_{2,1} = \{(0,0;0); (0,2;1,0); (0,3;1,0); (0,4;0)\}$	Технологическая операция выполняется неправильно
	X_3	[0-0,3]	$X_{3,1} = \{(0,0;0); (0,225;1,0); (0,275;1,0); (0,35;0)\}$	Технологическая операция сложная
	X_4	[0-0,4]	$X_{4,1} = \{(0,0;0); (0,25;1,0); (0,30;1,0); (0,4;0)\}$	Высокий уровень стресса, сильно влияющий на работу
Уровень 2 Нормальное состояние	X_1	[0,3-0,75]	$X_{1,2} = \{(0,3;0); (0,4;1); (0,6;1); (0,75;0)\}$	Стандартное время выполнения операции, в соответствии с нормой выработки
	X_2	[0,35-0,8]	$X_{2,2} = \{(0,35;0); (0,45;1,0); (0,65;1,0); (0,8;0)\}$	Технологическая операция выполняется в допустимых пределах в соответствии с документами
	X_3	[0,3-0,8]	$X_{3,2} = \{(0,3;0); (0,425;1,0); (0,675;1,0); (0,8;0)\}$	Технологическая операция средней сложности
	X_4	[0,375-0,775]	$X_{4,2} = \{(0,375;0); (0,45;1,0); (0,65;1,0); (0,775;0)\}$	Средний уровень стресса, не сильно влияющий на работу
Уровень 3 Хорошее состояние	X_1	[0,7-1]	$X_{1,3} = \{(0,7;0); (0,8;1); (1,0;1)\}$	Быстрое время выполнения операции, в соответствии с нормой выработки
	X_2	[0,75-1]	$X_{2,3} = \{(0,75;0); (0,9;1); (1,0;1,0)\}$	Технологическая операция выполняется правильно
	X_3	[0,75-1]	$X_{3,3} = \{(0,75;0); (0,875;1); (1,0;1,0)\}$	Технологическая операция легкая
	X_4	[0,7-1]	$X_{4,3} = \{(0,7;0); (0,825;1,0); (1,0;1,0)\}$	Низкий уровень стресса, или его отсутствие, не влияющее на работу

ных сенсоров и систем мониторинга, вывода четкий и интегративный уровень состояния оператора. Это позволяет оперативно выявлять потенциальные проблемы и предпринимать меры для их устранения, что в свою очередь ведет к оптимизации производительности технологической линии.

Особую актуальность это приобретает в контексте сложных производственных систем, где требуется комплексный учет множества факторов, влияющих на качество и скорость производственных процессов. Адаптивные алгоритмы, интегрированные в систему управления, обеспечивают не только повышение эффективности, но и возможность саморегуляции в условиях нестабильности, что является важным фактором в современном производстве. Это подчеркивает значимость внедрения нечеткой логики и адаптивных технологий для достижения высоких показателей производительности и устойчивой конкурентной позиции на рынке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная и предложенная методика обладает отличительной новизной в применении трапециевидных функций принадлежности нечеткой логики, позволяющих учитывать межкритери-

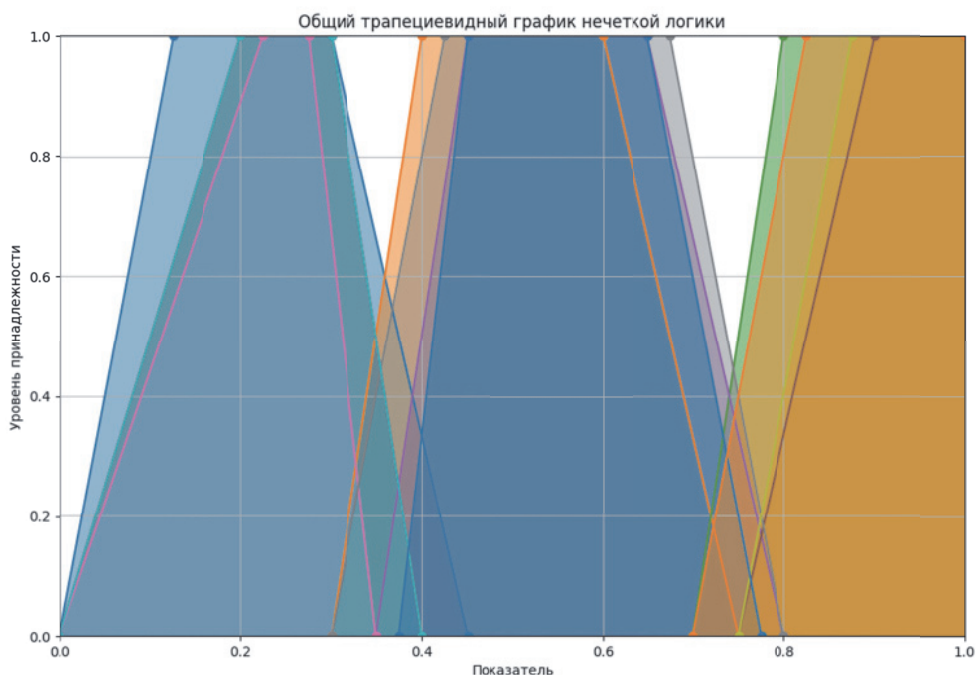


Рис. 2а. Модель уровней состояния операторов

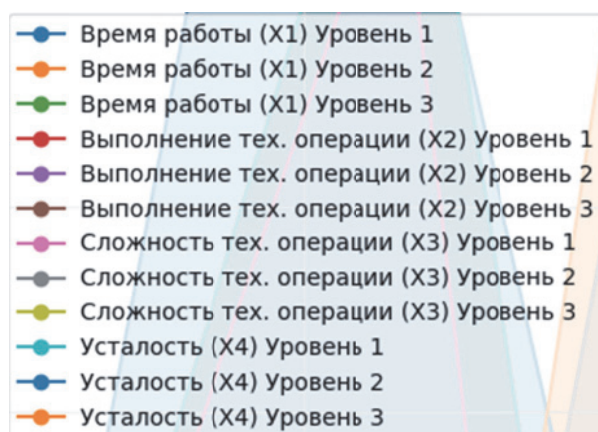


Рис. 2б. Легенда уровней состояния операторов с рис. 2а

альные численные интервалы, интерпретация которых вызывает неопределенность при использовании традиционных моделей, основанных на бинарной системе жестких критериев, в задачах идентификации и верификации движений оператора в системе «оператор-оборудование-процесс». Данный подход обеспечивает повышенную достоверность данных и адаптивность при анализе производственных процессов, что составляет ключевое отличие от классических подходов. Интеграция с методами машинного зрения усиливает эффективность методики, обеспечивая автоматизированный мониторинг действий оператора в реальном времени и снижение влияния человеческого фактора на точность измерений, что составляет оригинальность разработанного подхода при обеспечении точности за счет учета вероятностных характеристик и снижения временных и ресурсных затрат. Внедрение предложенной методики позволяет осуществить переход к цифровой трансформации производственных систем, основанный на адаптивном подходе с высоким уровнем вариативности, позволяя не только диагностировать текущее состояние оператора, но и прогнозировать потенциальные риски, связанные с усталостью и снижением производительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисова, Н.А. Классификация психофизиологического состояния человека-оператора в режиме реального времени на базе данных, поступающих с датчиков индивидуального устройства / Н.А. Денисова, Л.Е. Подлипская, В.А. Козаишен // Научные технологии и оборудование в промышленности и строительстве. – 2024. – № 80. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-psihofiziologicheskogo-sostoyaniya-cheloveka-operatora-v-rezhime-realnogo-vremeni-na-baze-dannyh-postupayuschih-s> (дата обращения: 07.02.2025).


```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 # Определяем нечеткие множества для каждой категории
5 def fuzzy_set(data):
6     return [(pt[0], pt[1]) for pt in data]
7
8 # Данные для категории времени работы (X1)
9 X1 = [
10     fuzzy_set([(0, 0), (0.125, 1), (0.30, 1), (0.45, 0)]), # Уровень 1
11     fuzzy_set([(0.30, 0), (0.40, 1), (0.60, 1), (0.75, 0)]), # Уровень 2
12     fuzzy_set([(0.7, 0), (0.8, 1), (1.0, 1)]) # Уровень 3
13 ]
14
15 # Данные для выполнения тех. операции (X2)
16 X2 = [
17     fuzzy_set([(0, 0), (0.2, 1), (0.3, 1), (0.4, 0)]), # Уровень 1
18     fuzzy_set([(0.35, 0), (0.45, 1), (0.65, 1), (0.8, 0)]), # Уровень 2
19     fuzzy_set([(0.75, 0), (0.9, 1), (1.0, 1)]) # Уровень 3
20 ]
21
22 # Данные для сложности тех. операции (X3)
23 X3 = [
24     fuzzy_set([(0, 0), (0.225, 1), (0.275, 1), (0.35, 0)]), # Уровень 1
25     fuzzy_set([(0.3, 0), (0.425, 1), (0.675, 1), (0.8, 0)]), # Уровень 2
26     fuzzy_set([(0.75, 0), (0.875, 1), (1.0, 1)]) # Уровень 3
27 ]
28
29 # Данные для усталости (X4)
30 X4 = [
31     fuzzy_set([(0, 0), (0.2, 1), (0.3, 1), (0.4, 0)]), # Уровень 1
32     fuzzy_set([(0.375, 0), (0.45, 1), (0.65, 1), (0.775, 0)]), # Уровень 2
33     fuzzy_set([(0.7, 0), (0.825, 1), (1.0, 1)]) # Уровень 3
34 ]
35
36 # Функция для построения графика
37 def plot_fuzzy_sets(fuzzy_list, category_label):
38     for i, fuzzy in enumerate(fuzzy_list):
39         x = [pt[0] for pt in fuzzy]
40         y = [pt[1] for pt in fuzzy]
41         plt.fill_between(x, y, alpha=0.5)
42         plt.plot(x, y, marker='o', label=f'{category_label} Уровень {i + 1}')
43
44 # Функция для определения уровня принадлежности
45 def get_membership_level(value, fuzzy_set):
46     for i, (x, y) in enumerate(fuzzy_set):
47         if value <= x:
48             return i # Возвращаем уровень, к которому принадлежит значение
49     return len(fuzzy_set) - 1
50
51 # Функция для анализа уровней и принятия решений
52 def analyze_levels(x1_level, x2_level, x3_level):
53     if x1_level == 1 and x2_level == 2 and x3_level == 1:
54         print("Необходимы корректирующие действия: X1 на уровне 1, X2 на уровне 2, X3 на уровне 1.")
55     else:
56         print("Корректирующие действия не требуются.")
57

```

Рис. 3. Фрагмент кода на языке программирования Python

- Вишневский, Д.А. Методика определения параметров математической модели динамики психофизиологического состояния оператора металлургического оборудования / Д.А. Вишневский, Л.Е. Подлипенская, Н.А. Денисова, Н.А. Бондарь // Безопасность техногенных и природных систем. – 2024. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-opredeleniya-parametrov-matematicheskoy-modeli-dinamiki-psihofiziologicheskogo-sostoyaniya-operatora-metallurgicheskogo> (дата обращения: 07.02.2025).
- Сергеев, А.И. Алгоритмы параметрического синтеза, применяемые при проектировании гибких производственных систем на основе компьютерного моделирования / А.И. Сергеев, С.Е. Крылова, С.Ю. Шамаев, Т. Р. Мамуков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2021. – Т. 23. – № 2(100). – С. 106-114. – DOI 10.37313/1990-5378-2021-23-2-106-114. – EDN BRHHWB.
- Голодков, Ю.Э. Влияние факторов неопределенности на качество работы систем автоматического управления / Ю.Э. Голодков, А.В. Голодкова, М.Б. Руденко // Наука и бизнес: пути развития. – 2024. – № 2(152). – С. 12-16. – EDN BSTZSB.
- Nazarevich, S. A. Models of fuzzy logic in the processes of verification of the required level of automation of technological processes research and production complexes / S.A. Nazarevich, A.V. Vinnichenko // Journal of Physics: Conference Series : II International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021), St.Petersburg, 03–06 марта 2021 года. Vol. 1889. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 42071. – DOI 10.1088/1742-6596/1889/4/042071. – EDN KTWVSM.
- Черепашков, А. А. Методика оценки эффективности комплексных решений промышленной автоматизации / А.А. Черепашков, П.А. Самойлов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2021. – Т. 23. – № 3(101). – С. 13-17. – DOI 10.37313/1990-5378-2021-23-3-13-17. – EDN IAQESB.
- Иващенко, А.В. Цифровизация организационной структуры управления производственным предприятием / А.В. Иващенко, Т. В. Никифорова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2021. – Т. 23. – № 2(100). – С. 46-50. – DOI 10.37313/1990-5378-2021-23-2-46-50. – EDN OOVJGP.
- Назаревич, С.А. Методика повышения качества процесса анализа уровня зрелости развернутых процессов на основе моделей нечеткой логики / С.А. Назаревич, А.В. Винниченко // Системный анализ и логистика. – 2021. – № 1(27). – С. 3-9. – DOI 10.31799/2077-5687-2021-1-3-9. – EDN GUYTLK.
- Винниченко, А.В. Верификация автоматизации технологических процессов научно-производственных комплексов методом нечеткой логики / А.В. Винниченко // Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве: Тезисы докладов I Международного форума, – Санкт-Петербург: СПб ГУАП, 2021. – С. 221-222. – EDN HBSLWS.

10. Антохина, Ю.А. Модель оценки качества тренда методом нечеткой логики / Ю. А. Антохина, С. А. Назаревич, Д. С. Щукина // Компетентность. – 2024. – № 6. – С. 28-32. – DOI 10.24412/1993-8780-2024-6-28-32. – EDN IVSAZN.
11. Vinnichenko, A. V. Development of a digital model to identify the movements of the process operator / A. V. Vinnichenko // Theory and Practice of Modern Science: the View of Youth, 24 ноября 2022 года. – Высшая школа технологии и энергетики ФГБОУ ВО «СПб ГУПТИД», 2023. – Р. 242-246. – EDN QPLQRZ.

THE STUDY OF ADAPTABILITY OF THE ORGANIZATION OF PRODUCTION IN THE WORKPLACE AND THE QUALITY OF WORK IN THE PRODUCTION SYSTEM

© 2025 A.V. Vinnichenko

Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (GUAP), Saint Petersburg, Russia

The article is devoted to the development of a methodology for assessing the operator's condition in the operator-equipment-process (OOP) production system using fuzzy logic and trapezoidal membership functions. In the context of increasing demands on productivity and safety of production processes, the relevance of the study is due to the need to introduce adaptive control systems that can consider the uncertainty and variability of operator health indicators. The proposed methodology includes the classification of operator status levels, interpretation of data through trapezoidal membership functions, and integration with machine learning methods to automate the assessment process and select recommendations for improving the progress of the process. The results of the study demonstrate the ability to quickly identify critical conditions of the operator, predict risks and develop corrective actions, which contributes to improving the organizational and technological efficiency of production systems.

Keywords: adaptive control systems, machine learning, fuzzy logic, operator-equipment-process production system, organizational and technological efficiency, trapezoidal membership functions.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-2-81-87

EDN: GEVLUCU

REFERENCES

1. Denisova, N.A. Klassifikatsiya psihofiziologicheskogo sostoyaniya cheloveka-operatora v rezhime real'nogo vremeni na baze dannyh, postupayushchih s datchikov individual'nogo ustrojstva / N.A. Denisova, L.E. Podlipenskaya, V.A. Kozachishen // Naukoemkie tekhnologii i oborudovanie v promyshlennosti i stroitel'stve. – 2024. – № 80. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-psihofiziologicheskogo-sostoyaniya-cheloveka-operatora-v-rezhime-realnogo-vremeni-na-baze-dannyh-postupayushchih-s> (data obrashcheniya: 07.02.2025).
2. Vishnevskij, D.A. Metodika opredeleniya parametrov matematicheskoy modeli dinamiki psihofiziologicheskogo sostoyaniya operatora metallurgicheskogo oborudovaniya / D.A. Vishnevskij, L.E. Podlipenskaya, N.A. Denisova, N.A. Bondar // Bezopasnost' tekhnogennyh i prirodnyh sistem. – 2024. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-opredeleniya-parametrov-matematicheskoy-modeli-dinamiki-psihofiziologicheskogo-sostoyaniya-operatora-metallurgicheskogo> (data obrashcheniya: 07.02.2025).
3. Sergeev, A.I. Algoritmy parametricheskogo sinteza, primenyaemye pri proektirovanii gibkikh proizvodstvennyh sistem na osnove komp'yuternogo modelirovaniya / A.I. Sergeev, S.E. Krylova, S.Yu. Shamaev, T. R. Mamukov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2021. – T. 23. – № 2(100). – S. 106-114. – DOI 10.37313/1990-5378-2021-23-2-106-114. – EDN BRHHWB.
4. Golodkov, Yu.E. Vliyaniye faktorov neopredelennosti na kachestvo raboty sistem avtomaticheskogo upravleniya / Yu.E. Golodkov, A.V. Golodkova, M.B. Rudenko // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2024. – № 2(152). – S. 12-16. – EDN BSTZSB.
5. Nazarevich, S. A. Models of fuzzy logic in the processes of verification of the required level of automation of technological processes research and production complexes / S.A. Nazarevich, A.V. Vinnichenko // Journal of Physics: Conference Series : II International Scientific Conference on Metrological Support of Innovative Technologies (ICMSIT II-2021), St.Petersburg, 03–06 marta 2021 goda. Vol. 1889. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 42071. – DOI 10.1088/1742-6596/1889/4/042071. – EDN KTWVSM.
6. Cherepashkov, A. A. Metodika ocenki effektivnosti kompleksnyh reshenij promyshlennoj avtomatizatsii / A.A. Cherepashkov, P.A. Samojlov // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2021. – T. 23. – № 3(101). – S. 13-17. – DOI 10.37313/1990-5378-2021-23-3-13-17. – EDN IAQESB.
7. Ivashchenko, A.V. Cifrovizatsiya organizatsionnoj struktury upravleniya proizvodstvennym predpriyatiem / A.V. Ivashchenko, T. V. Nikiforova // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2021. – T. 23. – № 2(100). – S. 46-50. – DOI 10.37313/1990-5378-2021-23-2-46-50. – EDN OOVJGP.
8. Nazarevich, S.A. Metodika povysheniya kachestva processa analiza urovnya zrelosti razvernutyh processov na osnove modelej nechetkoj logiki / S.A. Nazarevich, A.V. Vinnichenko // Sistemnyj analiz i logistika. – 2021. – № 1(27). – S. 3-9. – DOI 10.31799/2077-5687-2021-1-3-9. – EDN GUYTLK.
9. Vinnichenko, A.V. Verifikatsiya avtomatizatsii tekhnologicheskikh processov nauchno-proizvodstvennyh kompleksov metodom nechetkoj logiki / A.V. Vinnichenko // Matematicheskie metody i modeli v vysokotekhnologichnom proizvodstve: Tezisy dokladov I Mezhdunarodnogo foruma, – Sankt-Peterburg: Spb GUAP, 2021. – S. 221-222. – EDN HBSLWS.
10. Antohina, Yu.A. Model' ocenki kachestva trennda metodom nechetkoj logiki / Yu. A. Antohina, S. A. Nazarevich, D. S. Shchukina // Kompetentnost'. – 2024. – № 6. – S. 28-32. – DOI 10.24412/1993-8780-2024-6-28-32. – EDN IVSAZN.
11. Vinnichenko, A. V. Development of a digital model to identify the movements of the process operator / A. V. Vinnichenko // Theory and Practice of Modern Science: the View of Youth, 24 noyabrya 2022 goda. – Vysshaya shkola tekhnologii i energetiki FGBOU VO «SPb GUPTID», 2023. – P. 242-246. – EDN QPLQRZ.

Alexandra Vinnichenko, Applicant, Senior Lecturer at the Department of Innovation and Integrated Quality Systems.
E-mail: alex23rain@gmail.com