

УДК 681.518.9; 621.384.3

DOI 10.24412/2413-7383-2024-2-37-44

С. С. Анцыферов, К. Н. Фазилова, К. Е. Русанов
МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия
119454, Россия, г. Москва, пр. Вернадского, 78

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova, K.E. Rusanov
MIREA – Russian Technological University, c. Moscow, Russia
Russia, 119454, c. Moscow, Vernadsky ave., 78

INTELLIGENT SYSTEMS PROCESS CONTROL

С. С. АНЦИФЕРОВ, К. Н. ФАЗИЛОВА, К. Е. РУСАНОВ
МИРЕА - Російський технологічний університет, м. Москва, Росія
119454, Росія, м. Москва, пр. Вернадського, 78

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

В статье определены принципы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами. Результаты практической апробации предлагаемых принципов указывают на возможность их применения для широкого класса интеллектуальных производств.

Ключевые слова: технологический процесс, технологическая операция, показатель качества, мониторинг.

The article defines the principles of building intelligent process control systems. The results of practical testing of the proposed principles indicate the possibility of their application to a wide class of intellectual industries.

Keywords: technological process, technological operation, quality indicator, monitoring.

У статті визначено принципи побудови інтелектуальних систем управління технологічними процесами. Результати практичної апробації пропонованих принципів вказують на можливість їх застосування для широкого класу інтелектуальних виробництв.

Ключові слова: технологічний процес, технологічна операція, показник якості, моніторинг.

Введение

В настоящее время актуальным является создание интеллектуальных машиностроительных производств (ИМП), функционирующих исключительно под управлением искусственного интеллекта [1-17]. Интеллектуальное машиностроительное производство в своей основе представляет собой совокупность взаимосвязанных технологических процессов (ТП), объединенных в сеть для эффективного функционирования и генерации необходимой для аналитики информации. В соответствии с этим каждый технологический процесс (технологическая операция (ТО)) должен содержать локальную систему знаний, средства накопления и обработки информации, принятия решений, а также интерфейсные средства ввода-вывода и обмена с другими процессами (операциями). В связи с этим представляется актуальной задача управления технологическими процессами.

Цель данной работы – определение принципов построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и их практическая апробация.

Описание систем

Интеллектуальные системы (ИС) включают в себя аппаратную и программную части. Аппаратная часть связана с выполнением ТО и представляет собой цифровые двойники (ЦД), реализуемые в виде нейросетевых структур. Между ЦД осуществляется обмен знаниями и, в результате, происходит пополнение общей базы знаний (БЗ), которая используется для управления ТП на программном уровне (рис. 1).

Практическая реализация систем

Используя накопленную БЗ, в работах [18-20] предложены алгоритмы управления сложными ТП. Один из процессов связан с изготовлением лопаток газотурбинных двигателей, другой – с контролем качества технологического процесса калибровки эталонных мер нанометрии.

Технологический процесс производства лопаток газотурбинных двигателей состоит из ряда технологических операций:

- ТО₁ – проектирование 2D-модели лопатки;
- ТО₂ – проектирование 2D-модели оснастки;
- ТО₃ – изготовление оснастки;
- ТО₄ – контроль геометрических параметров оснастки с помощью шаблонов и измерительного оборудования;
- ТО₅ – слесарная доработка оснастки в случае несоответствия его геометрии установленным требованиям;
- ТО₆ – изготовление лопатки методом высокоскоростной точной штамповки;
- ТО₇ – контроль геометрии лопатки.

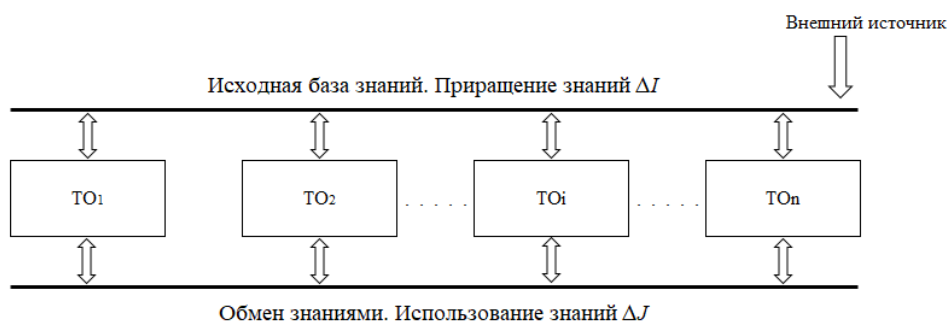


Рисунок 1 – Структурная схема технологического процесса

Основные операции данного технологического процесса связаны с механической обработкой, что приводит к износу оборудования. Это означает, что оно пригодно для изготовления ограниченного числа лопаток, после чего возникает необходимость в изготовлении новой технологической оснастки.

Эффективным способом повышения износостойкости оснастки является ее своевременное (до выхода из строя) обновление. Непрерывный мониторинг уровня качества технологического оборудования позволяет решить данную задачу. Для этого предложена система мониторинга (рис. 2), которая позволяет определять вероятностные показатели точности технологических операций, которые далее поступают на вычислитель и блок принятия решений.

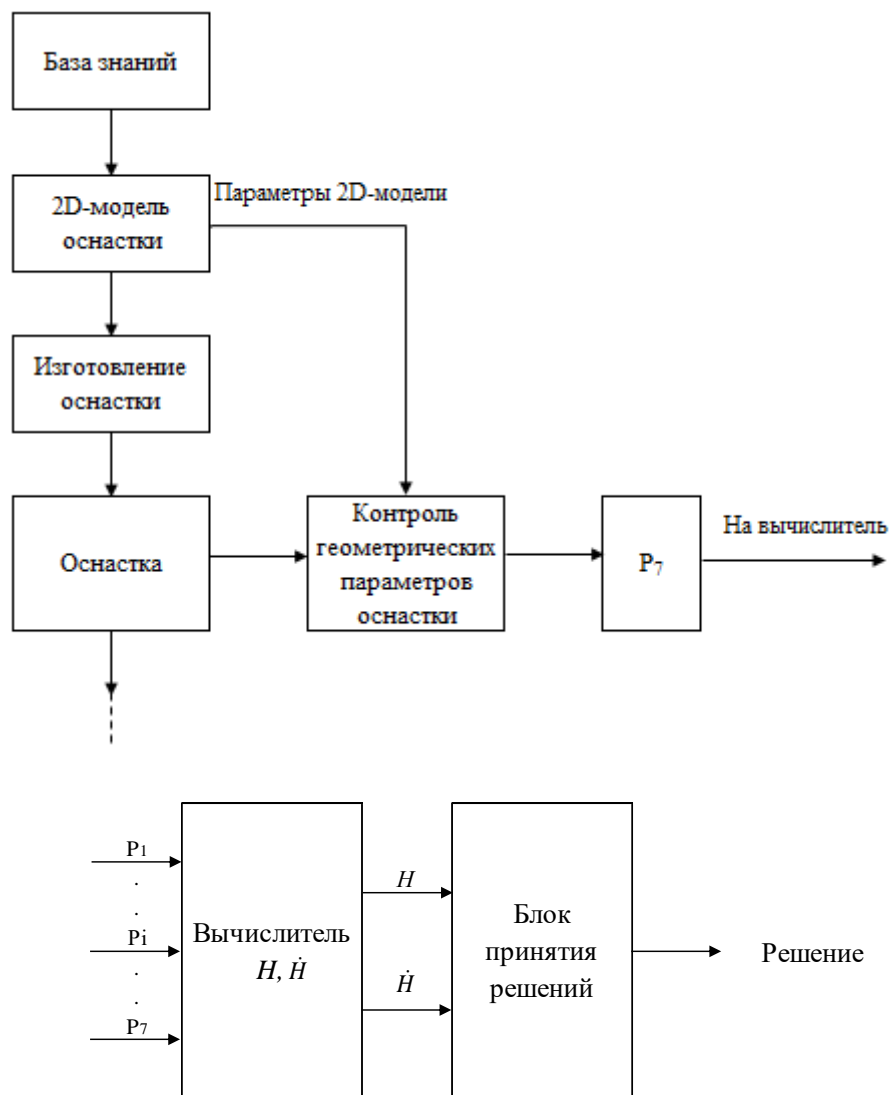


Рисунок 2 – Структурная схема системы мониторинга

По положению показателя качества (точки качества) в пределах установленной области качества технологического процесса (рис. 3) может приниматься, в случае необходимости, решение об обновлении технологической оснастки до выхода ее из строя. Такой контроль позволяет снизить себестоимость изготовления оснастки на 15% за счет увеличения ее срока службы.

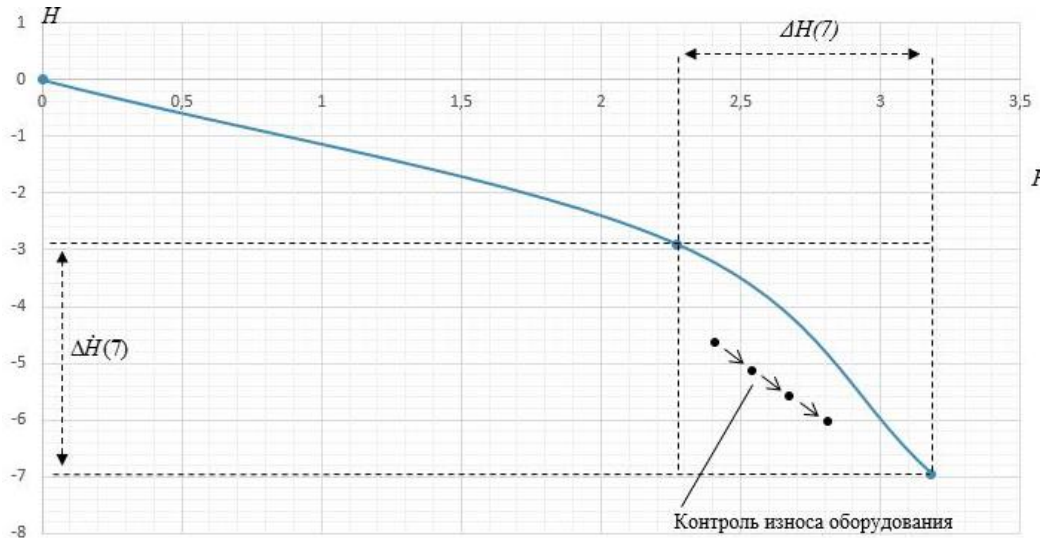


Рисунок 3 – Контроль качества технологического процесса изготовления лопаток

Технологический процесс калибровки эталонных мер нанометрии представляет собой совокупность взаимосвязанных ТО (рис. 4)

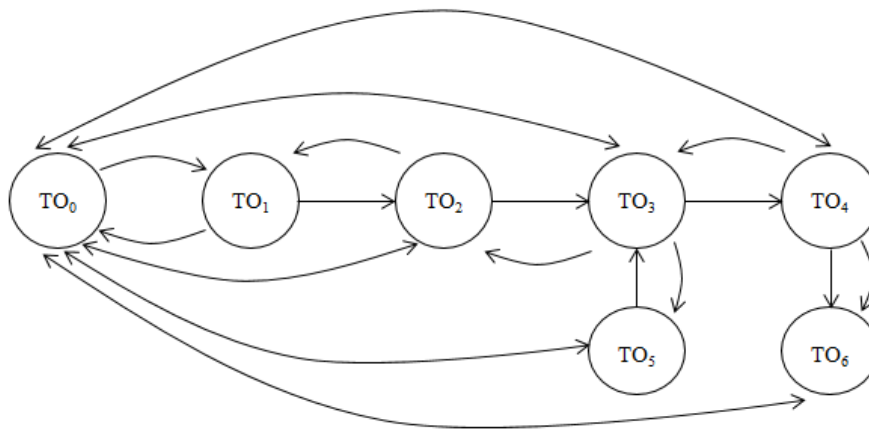


Рисунок 4 – Структурная схема ТП калибровки эталонных мер нанометрии

Функции ТОп:

- ТО₀ – контроль качества функционирования системы управления калибровкой эталонных мер нанометрии.
- ТО₁ – измерение исходной высоты рельефных элементов поверхности меры.
- ТО₂ – измерение высоты эталонных мер путем компарирования с помощью стилусного профилометра Alpha-Step D-600.
- ТО₃ – оценка шероховатости.
- ТО₄ – магнетронное напыление пленок на поверхность меры по всей площади (рис. 5).
- ТО₅ – измерение высоты установленных участков меры после магнетронного напыления.
- ТО₆ – измерение высоты эталонной меры методом трехмерной реконструкции в растровом электронном микроскопе.

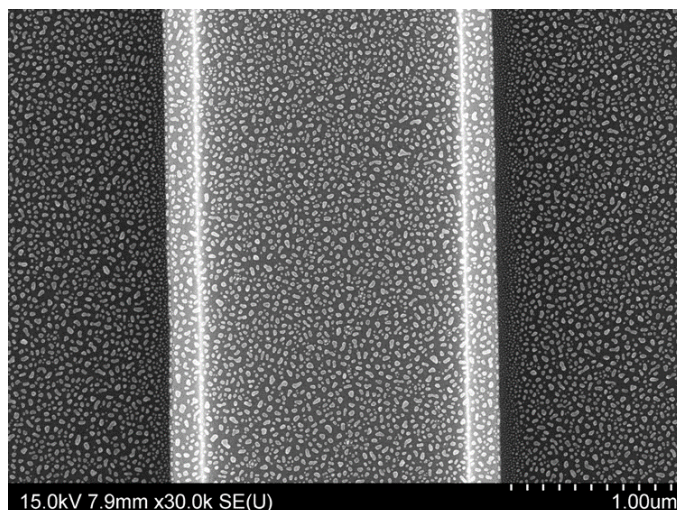


Рисунок 5 – Изображение в растровом электронном микроскопе ступени меры после магнетронного напыления

Согласно разработанной методике, при построении области граничных показателей качества (рис. 6), параметры задавались исходя из достижения точности измерения высоты эталонной меры методами интерферометрии (± 2 нм).

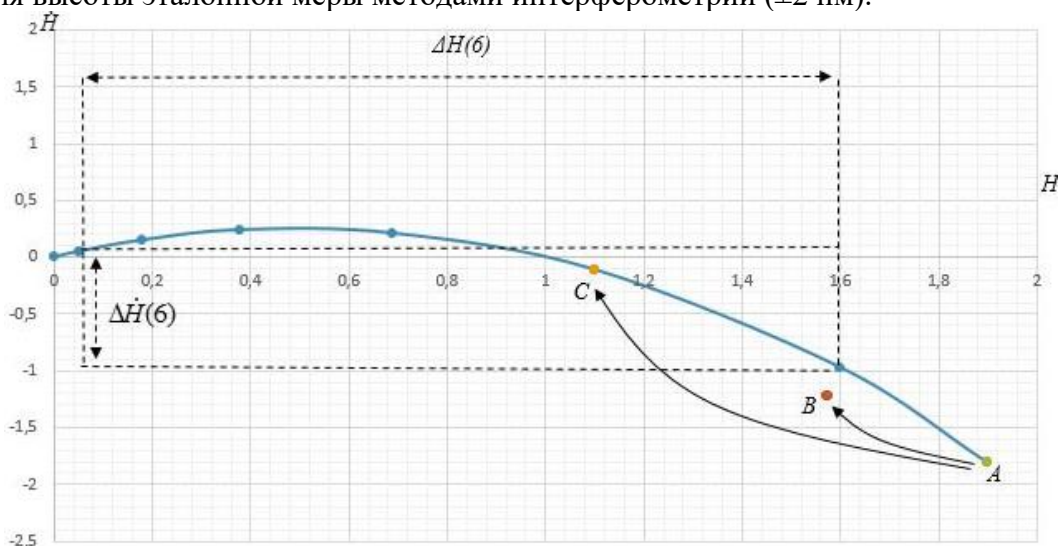


Рисунок 6 – Контроль качества процесса калибровки

На рисунке 6:

* точка А – начальный этап процесса калибровки (точность определения высоты меры равна ± 10 нм);

* точки В и С – результат корректировки технологического процесса путем магнетронного напыления на поверхность меры частиц золота (точка В) и хрома (точка С). Достигнутые при этом точности измерения высоты ± 7 нм и $\pm 3,2$ нм, соответственно.

Выводы

С помощью предлагаемых принципов построения интеллектуальных систем управления сложными технологическими процессами возможно оценивать как текущий уровень качества технологического процесса, так и возможность его прогнозирования.

Список литературы

1. Владимирова, И.Г. Организационная структура управления компаниями / Владимирова И.Г. *Современное управление*. 1999. № 4.
2. Базилевич, Л.А. Модели и методы рационализации и проектирования организационных структур управления / Базилевич Л.А. Л.: ЛФЭИ, 1999. 80 с.
3. Мильнер, Б.З. Японский парадокс. Реальности и противоречия капиталистического управления / Б.З. Мильнер, И.С. Олейник, С.А. Рогинок. М.: Мысль, 1985. 264 с.
4. Варьяс Ю.В. Конструирование организационной структуры управления / Ю.В. Варьяс. М.: Знание, 1999. 64 с.
5. Агафонова М.С. Развитие механизма управления адаптацией промышленного предприятия / М.С. Агафонова. *Успехи современного естествознания*, 2011. С. 71-72.
6. Ланчаков, А.Б. К вопросу оценки эффективности адаптивной организационной структуры управления предприятием. / А.Б. Ланчаков. *Известия тульского государственного университета. Экономические и юридические науки*, 2017. С. 67-71.
7. Зуев, А.А. Адаптивные структуры организации и их типы / А.А. Зуев. *Экономика и управление в XXI веке: тенденции развития*, 2014. С. 212-215.
8. Касацкая, В.Н. Матричная организационная структура как механизм управления / В.Н. Касацкая, Т.В. Епрмян. *Современные дискурсы социологической теории и практики*, 2021. С. 14-18.
9. Гаврилова, Ж.Л. Проектная организационная структура управления / Ж.Л. Гаврилова, Я.А. Цветков. *Молодежный вестник ИРГТУ*, 2015. С. 14.
10. Методические подходы к формированию адаптивных структур управления. Вестник университета / Антонов В.Г., Румянцева И.А., Кротенко Т.Ю., Казеева О.Г., 2019. С. 5-15.
11. Ланчаков, А.Б. Оценка степени изменчивости внешней среды при решении задач превентивной адаптации организационной структуры предприятия / А.Б. Ланчаков. *Вопросы образования и науки. Часть 3. Международная научно-практическая конференция: сборник статей*. Тамбов, 2017. С. 27-28.
12. Бурлаева, Е.И. Сравнение некоторых методов машинного обучения для анализа текстовых документов / Е.И. Бурлаева, С.А. Зори. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2019. № 1 (12). С. 42-51.
13. Пикалёв, Я.С. Обзор архитектур систем интеллектуальной обработки естественно-языковых текстов / Пикалёв Я.С. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2020. № 4 (19). С. 45-68.
14. Timofeev, A. The future of our society and technical thinking systems / Timofeev A. *Problems of Artificial Intelligence*. 2020. № 1 (16). P. 16-22.
15. Андриевская, Н.К. Онтологический подход в системах обработки данных научных и научно-образовательных организаций / Андриевская Н.К. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2020. № 1 (16). С. 23-36.
16. Андриевская, Н.К. Гибридная интеллектуальная мера оценки семантической близости / Андриевская Н.К. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2021. № 1 (20). С. 4-17.
17. Пикалёв, Я.С. Разработка системы нормализации текстовых корпусов / Пикалёв Я.С. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2022. № 2 (25). С. 64-78.
18. Анцыферов, С.С. Проблемы искусственного интеллекта / Анцыферов С.С. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2015. № 0 (1). С. 5-12.
19. Анцыферов, С.С. Технологические основы построения интеллектуальных систем / С.С. Анцыферов, А.С. Сигов. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2016. № 1 (2). С. 34-44.
20. Анцыферов, С.С. Методология развития интеллектуальных систем / С.С. Анцыферов, А.С. Сигов, К.Н. Фазилова. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2022. № 2 (25). С. 42-47.

References

1. Vladimirova I.G. Organizational structure of company management // *Modern management*. 1999. № 4.
2. Bazilevich L.A. Models and methods of rationalization and design of organizational management structures. L.: LFEI, 1999. -80 p.
3. Milner B.Z., Oleinik I.S., Roginok S.A. The Japanese paradox. Realities and contradictions of capitalist management. Moscow: Mysl, 1985. 264 p.
4. Varyas Yu.V. Designing the organizational structure of management. M.: Znanie, 1999. 64 p.
5. Agafonova M.S. Development of the adaptation management mechanism of an industrial enterprise. // *Successes of Modern Natural Science*, 2011. pp. 71-72.
6. A.B. Lanchakov On the issue of assessing the effectiveness of the adaptive organizational structure of enterprise management. // *Proceedings of Tula State University. Economic and Legal Sciences*, 2017. pp. 67-71.

7. Zuev A.A. Adaptive organization structures and their types. // Economics and Management in the XXI century: Development trends, 2014. pp. 212-215.
8. Kasatskaya V.N., Yepremyan T.V. Matrix organizational structure as a management mechanism. // Modern discourses of sociological theory and practice, 2021. pp. 14-18.
9. Gavrilova Zh.L., Tsvetkov Ya.A. Project organizational management structure. // Youth Bulletin of IRSTU, 2015. p. 14.
10. Antonov V.G., Rumyantseva I.A., Krotenko T.Yu., Kazeeva O.G. // Methodological approaches to the formation of adaptive management structures. Bulletin of the University, 2019. pp. 5-15.
11. Lanchakov, A.B. Assessment of the degree of variability of the external environment in solving problems of preventive adaptation of the organizational structure of the enterprise / A.B. Lanchakov // Questions of education and Science. Part 3. International Scientific and Practical Conference: collection of articles. Tambov: -2017. pp. 27-28.
12. Burlaeva E.I., Zori S.A. Sravnenie nekotoryh metodov mashinnogo obucheniya dlya analiza tekstovykh dokumentov // Problemy iskusstvennogo intellekta. 2019. № 1 (12). S. 42-51.
13. Pikalyov YA.S. Obzor arhitektur sistem intellektual'noj obrabotki estestvenno-yazykovykh tekstov // Problemy iskusstvennogo intellekta. 2020. № 4 (19). S. 45-68.
14. Timofeev A. The future of our society and technical thinking systems // Problems of Artificial Intelligence. 2020. № 1 (16). P. 16-22.
15. Andrievskaya N.K. Ontologicheskij podhod v sistemah obrabotki dannyh nauchnyh i nauchno-obrazovatel'nykh organizacij // Problemy iskusstvennogo intellekta. 2020. № 1 (16). S. 23-36.
16. Andrievskaya N.K. Gibridnaya intellektual'naya mera ocenki semanticheskoy blizosti // Problemy iskusstvennogo intellekta. – 2021. № 1 (20). S. 4-17.
17. Pikalyov YA.S. Razrabotka sistemy normalizacii tekstovykh korpusov // Problemy iskusstvennogo intellekta. 2022. № 2 (25). S. 64-78.
18. Antsyferov S.S. Problemy iskusstvennogo intellekta // Problemy iskusstvennogo intellekta. 2015. № 0 (1). S. 5-12.
19. Antsyferov S.S., Sigov A.S. Tekhnologicheskie osnovy postroeniya intellektual'nykh sistem // Problemy iskusstvennogo intellekta. 2016. № 1 (2). S. 34-44.
20. Antsyferov S.S., Sigov A.S., Fazilova K.N. Metodologiya razvitiya intellektual'nykh sistem // Problemy iskusstvennogo intellekta. 2022. № 2 (25). S. 42-47.

RESUME

S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova, K.E. Rusanov
Intelligent Systems Process Control

Currently, the creation of intelligent machine-building industries operating exclusively under the control of artificial intelligence is relevant. Intelligent machine-building production is basically a set of interconnected technological processes connected to a network for effective functioning and generation of information necessary for analytics. In accordance with this, each technological process (technological operation) must contain a local knowledge system, means of accumulating and processing information, decision-making, as well as interface means of input-output and exchange with other processes (operations). In this regard, the task of managing technological processes seems urgent.

Intelligent systems include hardware and software parts. The hardware part is connected with the execution of technological operations and represents digital twins implemented in the form of neural network structures. Knowledge is exchanged between digital counterparts and, as a result, a common knowledge base is replenished, which is used to control the technological process at the software level.

The principles of building intelligent process control systems are defined and their practical approbation is carried out.

With the help of the proposed principles of building intelligent control systems for complex technological processes, it is possible to assess both the current level of quality of the technological process and the possibility of its forecasting.

РЕЗЮМЕ

С.С. Анцыферов, К.Н. Фазилова, К.Е. Русанов

Интеллектуальные системы управления технологическими процессами

В настоящее время актуальным является создание интеллектуальных машиностроительных производств, функционирующих исключительно под управлением искусственного интеллекта. Интеллектуальное машиностроительное производство в своей основе представляет собой совокупность взаимосвязанных технологических процессов, объединенных в сеть для эффективного функционирования и генерации необходимой для аналитики информации. В соответствии с этим каждый технологический процесс (технологическая операция) должен содержать локальную систему знаний, средства накопления и обработки информации, принятия решений, а также интерфейсные средства ввода-вывода и обмена с другими процессами (операциями). В связи с этим представляется актуальной задача управления технологическими процессами.

Интеллектуальные системы включают в себя аппаратную и программную части. Аппаратная часть связана с выполнением технологических операций и представляет собой цифровые двойники, реализуемые в виде нейросетевых структур. Между цифровыми двойниками осуществляется обмен знаниями и, в результате, происходит пополнение общей базы знаний, которая используется для управления технологическим процессом на программном уровне.

Определены принципы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами и проведена их практическая апробация.

С помощью предлагаемых принципов построения интеллектуальных систем управления сложными технологическими процессами возможно оценивать как текущий уровень качества технологического процесса, так и возможность его прогнозирования.

Анцыферов Сергей Сергеевич – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва. *Область научных интересов:* системы искусственного интеллекта, эл. почта antsyferov@mirea.ru, адрес: 119454, г. Москва, проспект Вернадского, дом 78, телефон +7499 600-80-80, доб. 23043

Фазилова Ксения Наильевна – кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва. *Область научных интересов:* системы искусственного интеллекта, эл. почта fazilova@mirea.ru, адрес: 119454, г. Москва, проспект Вернадского, дом 78, телефон +7499 600-80-80, доб. 25092

Русанов Константин Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва. *Область научных интересов:* системы искусственного интеллекта, эл. почта rusanov@mirea.ru, адрес: 119454, г. Москва, проспект Вернадского, дом 78, телефон +7499 600-80-80, доб. 23043

Статья поступила в редакцию 14.02.2024.