

Дьяконов Н.А.^{1,2}, Логунова О.С.²¹ ИТЦ «Аусферр», г. Магнитогорск² Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ НА ОСНОВЕ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Целью исследования является повышение качества управления технологическими процессами и производствами в металлургической промышленности за счет синтеза модулей предиктивной аналитики для систем управления технологическими процессами с использованием консолидированных данных по технологическим цепочкам. В ходе исследования выполнен анализ теоретических и практических разработок в области проектирования, которые показали необходимость в проектировании и разработке модулей предиктивной аналитики в системах управления технологическими процессами для промышленных предприятий, включая металлургическое производство, а также приведены результаты синтеза проектных решений по структуре интеграции модулей предиктивной аналитики в действующие подсистемы АСУ ТП и АСУ П на примере ПАО «ММК». В ходе проектирования построена схема функциональной структуры системы, описаны ее подсистемы и блоки, их назначение, а также выполнено описание управляющих взаимосвязей между объектами системы. Реализация функционала позволяет повысить качество готовой продукции, уменьшив временные и трудовые затраты, а также снижение доли продукции пониженного качества и брака по описанным технологическим маршрутам.

Ключевые слова: автоматизация, технологический процесс, интеллектуальная система, система управления, предиктивная аналитика, система управления технологическим процессом.

ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие промышленных предприятий в информационной среде определяет вызов к проектированию и разработке методов эффективной организации информационного, математического и программного обеспечения системы автоматизированного управления технологическими процессами и производствами [1-3].

В настоящее время система управления технологическим процессом (АСУ ТП) – это комплекс технических и программных средств, предназначенных для автоматизации управления технологическим оборудованием на предприятиях. Целостное решение АСУ ТП обеспечивает автоматизацию основных операций технологического процесса на производстве для выпуска продукции [4-7]. Современные промышленные технологии позволяют управлять технологическими процессами на производстве, но, как правило, не включают функции прогнозирования качества готовой продукции и возможность вносить коррекцию для параметров, которые влияют на формирование качества. Для эффективного управления технологическими процессами в настоящее время разработаны и успешно функционируют подсистемы для сбора и консолидации массивов технологических данных по маршрутам, предоставляющие инструменты для последующего анализа собранных данных и передачи результатов в АСУ ТП и АСУ П в целях повышения качества готовой продукции [8-10].

Результаты анализа теоретических и практических разработок в области проектирования показал, что:

1) построенные системы АСУ ТП, как правило, носят локальный характер и охватывают отдельные подсистемы промышленных агрегатов [10-19];

2) большое количество исследований направлено

на проектирование интеллектуальных систем во многих сферах, но малая часть посвящена интеграции интеллектуальных систем с системами управления технологическим процессом [20-24];

3) отсутствие систем управления технологическими процессами на основе предиктивной аналитики [25-28].

Анализ результатов разработок показал необходимость в проектировании и разработке модулей предиктивной аналитики в системах управления технологическими процессами для промышленных предприятий, включая металлургическое производство.

Цель исследования – повышение качества управления технологическими процессами и производствами в металлургической промышленности за счет синтеза модулей предиктивной аналитики для систем управления технологическими процессами с использованием консолидированных данных по технологическим цепочкам.

Система управления технологическим процессом на основе предиктивной аналитики предназначена для сбора и консолидации массива технологических данных по технологическим маршрутам, предоставления инструментов для последующей предиктивной аналитики собранных данных в целях повышения качества готовой продукции.

Задачи, решаемые для достижения цели:

1) теоретико-информационный анализ систем управления технологическими процессами с возможностями интеллектуальной поддержки принятия решений и предиктивной аналитикой;

2) синтез критериев эффективности функционирования систем управления технологическими процессами при наличии модулей предиктивной аналитики;

3) построение специального математического обеспечения для модулей предиктивной аналитики в системе управления технологическими процессами;

4) синтез проектных решений для программного обеспечения для модулей предиктивной аналитики в системе управления технологическими процессами;

5) анализ результатов опытной эксплуатации системы для системы управления технологическими процессами на основе предиктивной аналитики.

Объектом исследования являются системы управления технологическими процессами на технологическом маршруте производства металлургической продукции. В качестве предмета исследования выбраны: информационное, математическое и программное обеспечение для сопровождения технологических процессов по технологическим маршрутам ККЦ-ЛПЦ-9 (стан 5000) и ККЦ-ЛПЦ-10-ЛПЦ-11 ПАО «ММК», где ККЦ – кислородно-конвертерный цех; ЛПЦ – листопрокатный цех. Основная доля доводки металла в условиях кислородно-конвертерного цеха производится именно на агрегатах внепечной обработки стали: АДС – агрегат доводки стали; УПК – установка пещковш; УУПС – установка усреднительной подготовки стали; УВС – установка вакуумирования стали.

Разливка стали в ККЦ происходит на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), в результате ко-

торой получают слябы. Далее слябы переходят либо в ЛПЦ-9, в котором происходит прокатка сляба и резка толстых листов с возможной термообработкой, либо в ЛПЦ-10 на стан горячей прокатки, после которого продукцию отгружают в ЛПЦ-11 на стан холодной прокатки и на конечные агрегаты: АНГЦ (агрегат непрерывного горячего цинкования) или АНО-ГЦ (агрегат непрерывного отжига/горячего цинкования).

В рамках проведенного исследования приведены результаты синтеза проектных решений по структуре интеграции модулей предиктивной аналитики в действующие подсистемы АСУ ТП и АСУ П на примере ПАО «ММК».

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В составе технологических маршрутов при производстве толстого листа, отожженных и оцинкованных рулонов в условиях ПАО «ММК» функционируют цепочки агрегатов, структура которых отображена на рис. 1 и 2.

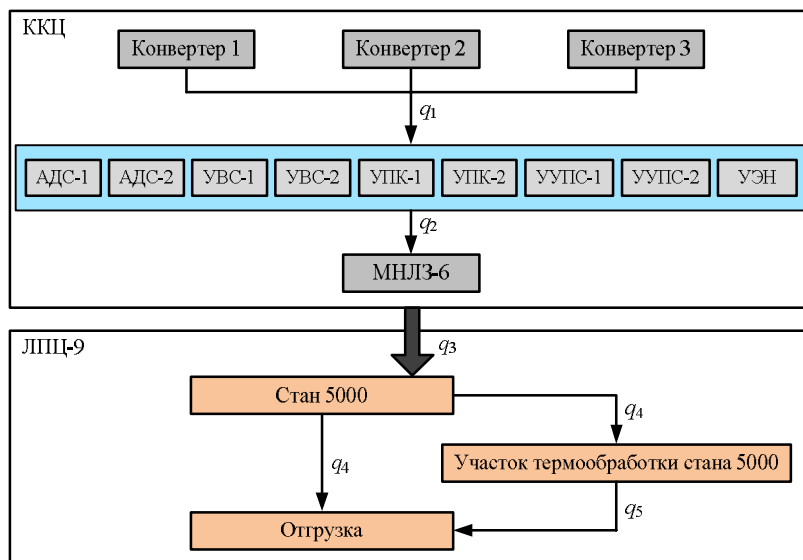


Рис. 1. Структура технологического маршрута ККЦ-ЛПЦ-9 (стан 5000) для производства толстого листа

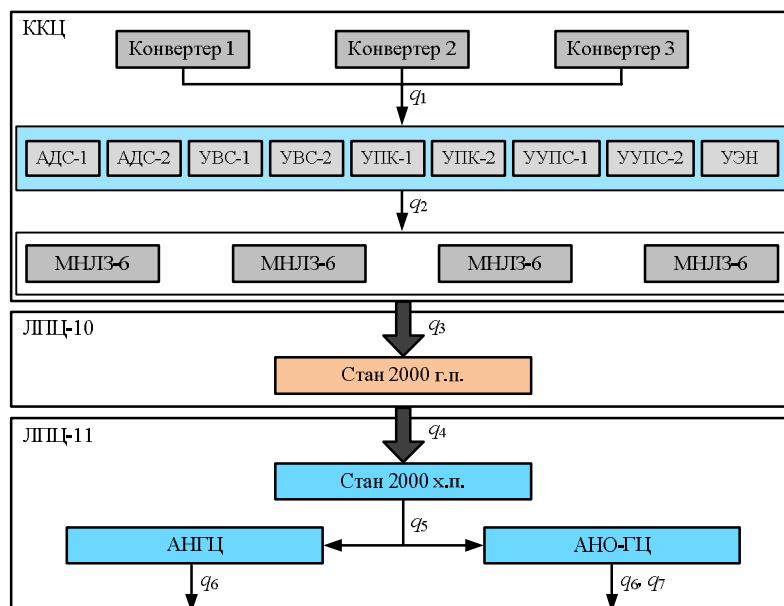


Рис. 2. Технологический маршрут ККЦ-ЛПЦ-10-ЛПЦ-11 для производства отожженного/оцинкованного рулонов

Маршрут ККЦ-ЛПЦ-9 (стан 5000) содержит материальные потоки: q_1 – жидкая сталь; q_2 – жидкая сталь после дополнительной обработки; q_3 – межцеховая отгрузка сляба на стан горячей прокатки; q_4 – толстый лист; q_5 – толстый лист после термообработки.

Маршрут ККЦ-ЛПЦ-10-ЛПЦ-11 содержит материальные потоки: q_1 – жидкая сталь; q_2 – жидкая сталь, после дополнительной обработки; q_3 – межцеховая отгрузка сляба на стан горячей прокатки; q_4 – межцеховая отгрузка горячекатаного рулона; q_5 – холоднокатаный рулон; q_6 – оцинкованный рулон; q_7 – отожжённый рулон.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В соответствии с целями и требованиями создания система функционирует как платформа для:

- 1) сбора и консолидации имеющихся данных с учетом генеалогии продукции, связей с параметрами заказов (требованиями), режимами работы оборудования, наработки сменного инструмента на всем протяжении технологических маршрутов;
- 2) применения универсальных настраиваемых инструментов, позволяющих осуществлять обработку и адаптацию разрозненных массивов данных, просмотр и анализ полученных результатов;
- 3) формирования (в рамках выбранных пилотных маршрутов) моделей для прогнозирования искомых характеристик;
- 4) контроля версий рабочих моделей;
- 5) просмотра и анализа результатов прогнозирования, а также использования результатов прогнозирования в смежных информационных системах.

Построение системы основано на создании единого информационно-технологического и управляющего пространства, предоставляющего субъектам управления эффективное информационное окружение для принятия своевременных и качественных решений по сбору данных, их обработке, просмотру и анализу данных, визуализации и анализу результатов программирования.

В рамках проекта разрабатываются интеграционные решения для извлечения данных из смежных систем автоматизации. При этом поддерживается наследование информации с учетом трансформации единиц продукции при ее движении по технологической цепочке (укрупнение, разукрупнение, разделение единиц учета), связь с параметрами производственных и коммерческих заказов, партионный или поштучный характер отдельных стадий контроля и другие особенности наследования данных.

Источник данных, изображенный на рис. 3, включает действующие производственные исполнительные системы, все данные из которых собираются в хранилище технологических данных [29].

Из хранилища выбираются данные с описанных ранее технологических маршрутов. Спроектирована схема функциональной структуры системы, показанная на рис. 4.

Система предиктивной аналитики содержит следующие подсистемы:

1. Подсистема консолидации данных в рамках объединенного корпоративного хранилища: обеспечение полной, актуальной, достаточной информацией о параметрах, характеристиках и событиях, сопровождающих процесс производства металлопродукции в технологических потоках, и свойствах производимой металлопродукции.
2. Подсистема обработки и извлечения необходимых массивов данных: обработка разнородной информации, извлеченной подсистемой консолидации данных, а также для настройки и оценки влияния собранных данных на конечный результат анализа.
3. Подсистема формирования и настройки прогнозных моделей (рис. 5): оптимизация процессов разработки технологии за счет моделирования, анализа технологических параметров и построения моделей прогнозирования; формирование и настройка моделей для прогнозирования на этапах ее жизненного цикла; многофакторный анализ данных (без создания моделей) статистическими методами: корреляционный анализ, анализ нелинейных взаимосвязей.

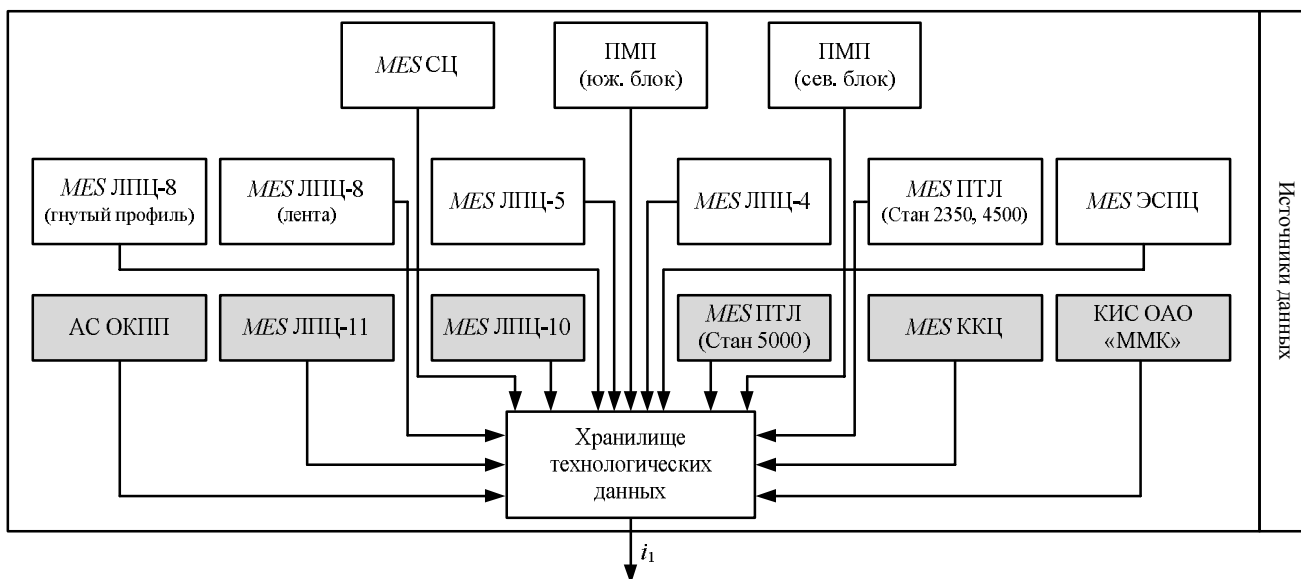


Рис. 3. Источник данных

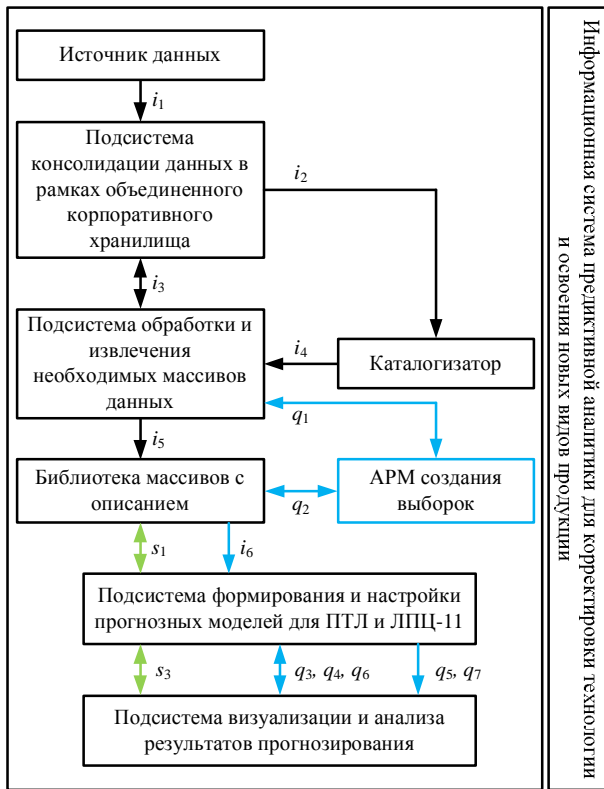


Рис. 4. Схема функциональной структуры системы

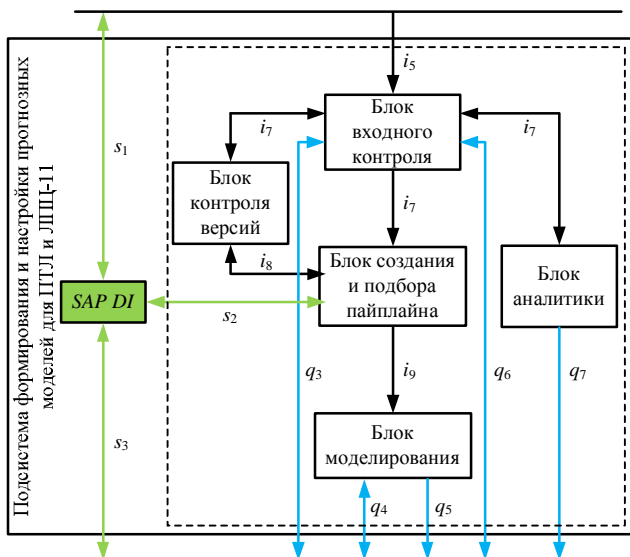


Рис. 5. Подсистема формирования и настройки прогнозных моделей для ПТЛ и ЛПЦ-11

3.1. Блок входного контроля данных: входная проверка и мониторинг данных, а также задание дальнейшего сценария работы подсистемы.

3.2. Блок аналитики: выполнение расчетов по поиску устойчивых тенденций и статистическому анализу без использования процесса обучения с учителем.

3.3. Блок создания и подбора пайплайна (цепочка процессов преобразования сценария): обеспечивает управление и поддержку работоспособности моделей машинного обучения.

3.4. Блок моделирования: применение пайплайнов к данным для расчета заданных сценарием показателей.

3.5. Блок контроля версий: учет изменений, производимых в подсистеме.

4. Подсистема визуализации и анализа результатов

прогнозирования (рис. 6): обеспечивает работу графического пользовательского интерфейса (ГПИ), направленного на взаимодействие между конечным пользователем и подсистемой формирования и настройки прогнозных моделей.

5. SAP Data Intelligence – платформа для работы с данными, которая предоставляет инструменты для создания и работы с моделями данных, их наполнения, обучения, переобучения, прогнозирования и дальнейшей промышленной эксплуатации. Решение может интегрироваться с SAP-системами и с любым другим ПО предприятия.

Система состоит из потоков (таблица), в которых:

- пользователь принимает непосредственное участие (q_1 - q_9);
- проходящие без участия пользователя потоков (i_1 - i_9);
- потоки SAP DI управления данными и моделями (s_1 - s_3).

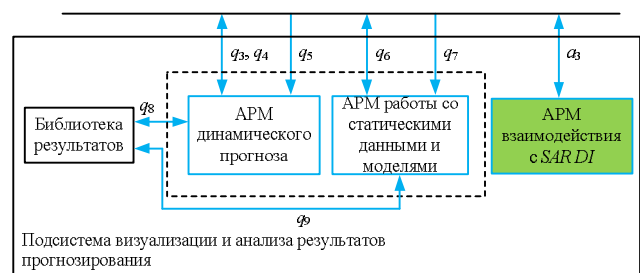


Рис. 6. Подсистема формирования и настройки прогнозных моделей для ПТЛ и ЛПЦ-11

Описание управляющих взаимосвязей между объектами системы

Обозначение	Описание
q_1	Запрос и получение данных из библиотеки массивов
q_2	Запрос и получение данных из подсистемы обработки и извлечения необходимых массивов данных
q_3	Управление блоком входного контроля для получения результатов с помощью машинного обучения
q_4	Управление блоком моделирования
q_5	Прогнозные и статистические данные
q_6	Управление блоком входного контроля для получения данных статистическими методами
q_7	Статистические данные
q_8	Сохранение или запрос статистических данных
q_9	Сохранение или запрос прогнозных и статистических данных
i_1	Технологические данные из хранилища
i_2	Объединенные данные
i_3	Взаимодействие подсистемы обработки и извлечения необходимых массивов данных и консолидации данных
i_4	Данные из каталога
i_5	Обработанные данные
i_6	Массив данных из библиотеки
i_7	Обработанные и проверенные данные
i_8	Получение или сохранение пайплайна
i_9	Подобранный сценарий работы
s_1	Управление входными данными
s_2	Управление моделями обучения
s_3	Взаимодействие с SAP DI

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы:

1. Определена цель исследования и решаемые задачи, технологические маршруты, материальные потоки для выходной продукции после агрегата или цепочки агрегатов, по которым функционирует модуль предикативной аналитики.

2. Определены источники данных, дающие представление об источниках поступления технологических данных в хранилище и их консолидацию.

3. В ходе проектирования построена схема функциональной структуры системы, описаны ее подсистемы и блоки, их назначение, а также выполнено описание управляющих взаимосвязей между объектами системы.

4. Реализация функционала позволяет повысить качество готовой продукции, уменьшив временные и трудовые затраты, а также снижение доли продукции пониженного качества и брака по описанным технологическим маршрутам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев В.А., Черный С.П. Искусственный интеллект в задачах управления. Интеллектуальные системы управления технологическими процессами: учеб. пособие. Комсомольск-на-Амуре: КНАГТУ, 2006. 74 с.
2. Янусов А.С., Курганов В.В. Применение WEB-технологий в сфере автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) // Молодежь и современные информационные технологии: сб. тр. XVI междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. Томск: ТПУ, 2019. С. 325-326.
3. Логунова О.С., Мацко И.И., Посохов И.А. Система интеллектуальной поддержки процессов управления производством непрерывнолитой заготовки. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. 175 с.
4. Кузнецов Л.А., Ведищев В.В. Математическое моделирование сложных технологических процессов (на примере системы управления качеством проката) // Датчики и системы. 2001. №9. С. 10-13.
5. Пулин И.С. Применение автоматизированных систем управления в производстве: возможности для роста производительности труда // Управление производительностью: опыт и проблемы нижегородских предприятий: сб. науч. тр. Нижний Новгород: Нижегородский гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2020. С. 207-212.
6. Качала Н.М., Прохоренков А.М. Обеспечение заданных характеристик систем управления технологическими процессами с использованием методов прогнозирования // Наука – производству: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Мурманск: Мурманский гос. техн. ун-т, 2016. С. 68-73.
7. Дементьев А.В. Анализ существующих автоматизированных систем управления технологическим процессом // Студенческий. 2020. №21-1(107). С. 30-60.
8. Бабешко В.Н. Информационные системы управления технологическими процессами // Новая наука: теоретический и практический взгляд. 2016. №2-2(63). С. 123-125.
9. Антипин А.Ф. К вопросу о разработке систем управления технологическими процессами // Качество в производственных и социально-экономических системах: сб. науч. тр. 4-й Междунар. науч.-техн. конф. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2016. С. 31-34.
10. Парсункин Б.Н., Бондарева А.Р., Полухина Е.И. Система визуализации при создании адаптивного комплекса локального уровня управления в АСУ ТП промышленного производства // Электротехнические системы и комплек-

- сы. 2015. № 2(27). С. 44-47.
11. Андреев С.М. Парсункин Б.Н., Логунова О.С. Практика применения нейросетевых алгоритмов регулирования в локальных контурах управления технологическими параметрами // Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике: сб. ст. 30-й Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: Санкт-Петербургский политех. ун-т Петра Великого, 2012. С. 263-265.
12. Парсункин Б.Н., Артамонов Ю.С., Андреев С.М. Оптимизация параметров настройки локальных контуров управления астатическими объектами по методу симметричного оптимума. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2005. 99 с.
13. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Логунова О.С. Локальные стабилизирующие контуры автоматического управления в АСУ ТП. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова, 2012. 406 с.
14. Димов Ю.В., Подашев Д.Б. Система управления качеством кромки при финишной обработке эластичными полимерно-абразивными инструментами и ее анализ. Часть 1 // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. №5(154). С. 977-992. doi: 10.21285/1814-3520-2020-5-977-992.
15. Marsuverskiy B.A. The Comprehensive Computer-Aided Control System for the Blast Furnace Process. // Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information. 2017. №7. С. 41-46.
16. Денисов М.С. Автоматизированная система программного управления процессом наложения давления на жидкий и кристаллизующийся металл // Автоматизация. Современные технологии. 2020. Т.74. №5. С. 234-240.
17. Силаева Е.Ю., Чебинёв А.В. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом термообработки труб в роликовой печи // Наукосфера. 2020. №5. С. 108-113.
18. Свеженцев М.Ю. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом подогрева и выравнивания температуры труб в печи с шагающими балками // Дневник науки. 2020. №5(41). С. 33.
19. Самохвал Ф.Н. Автоматизация в системах управления технологическими процессами в производстве титана губчатого // Молодежная наука в развитии регионов. 2019. Т.1. С. 154-156.
20. Akhavei F., Bleicher F. Predictive modeling to increase the reliability of production planning in single-item production // Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. 2016. Vol. 2. Pp. 806-811.
21. Machine learning algorithms for the prediction of the strength of steel rods: an example of data-driven manufacturing in steelmaking / E. Ruiz, D. Ferreño, M. Cuartas, A. Lopez, V. Arroyo, F. Gutiérrez-Solana // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2020. Vol. 33(9). Pp. 1-12. doi: 10.1080/0951192X.2020.1803505.
22. Шилкина С.В., Гусарова А.А. Интеллектуальные информационные технологии в автоматизированных системах управления технологическими процессами // Современная наука и инновации. 2018. №1(21). С. 34-39.
23. Горбач К.В. «Умный» цветной металл // Control Engineering Россия. 2019. №3(81). С. 70-73.
24. Разработка и моделирование системы управления на основе предикативной математической модели для промышленного процесса изомеризации пентан-гексановой фракции / Ю.В. Шариков, Н.В. Снегирев, И.В. Ткачев, П.А. Петров // Cloud of science. 2020. Т.7. №2. С. 273-284.
25. Shmueli G., Koppius O.R. Predictive analytics in information systems research // MIS Quarterly: Management Information Systems. 2011. Vol. 35(3), Pp. 553-572. doi: 10.2307/23042796.
26. Integrated Predictive Diagnostics: An Expanded View /

- R.J. Hansen, D.L. Hall, G.W. Nickerson, S. Phoba // Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air. 1996. 10 p. doi: 10.1115/96-GT-034.
27. Сидоренко Н.С., Мяловский В.А. Совершенствование управления металлургическим производством на основе полного весового контроля материальных потоков // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2019. Т.7. №2. С. 35-37. doi: 10.18503/2306-2053-2019-7-2-35-37.
28. Сидоренко Н.С., Логунова О.С. Предпосылки модернизации корпоративной системы управления технологией и качеством на металлургическом предприятии // Компьютерная интеграция производства и ИПИИ-технологии: материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. 2017. С. 661-664.
29. Информационные хранилища предприятий металлургической промышленности: трансформация структуры / Н.С. Сидоренко, О.С. Логунова, Л.Ю. Тяжелникова, Н.В. Аркулис // Электротехнические системы и комплексы. 2019. №4 (45). С. 52-57. doi: 10.18503/2311-8318-2019-4(45)-52-57.

Поступила в редакцию 11 января 2021 г.

INFORMATION IN ENGLISH

PROCESS CONTROL SYSTEMS BASED ON PREDICTIVE ANALYTICS: DESIGN

Nikita A. Dyakonov

Postgraduate Student, the Department of Computer Engineering and Software Engineering, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University; Software Engineer, Department of Technical Support and Development of MES-system, RTC Ausferr, Magnitogorsk, Russia. E-mail: diedrakon@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0667-3789>

Oksana S. Logunova

D.Sc. (Engineering), Professor, Director of the Institute, Civil Engineering, Architecture and Arts Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7006-8639>.

The aim of the study is to improve the quality of control of technological processes and production in the metallurgical industry through the synthesis of predictive analytics modules for control systems of technological processes using consolidated data on technological chains. In the course of the research, the analysis of theoretical and practical developments in the field of design was carried out, which showed the need for the design and development of predictive analytics modules in process control systems for industrial enterprises, including metallurgical production, and also the results of the synthesis of design solutions on the structure of integration of predictive analytics modules into operating subsystems of process control system and automatic control system on the example of the PJSC "MMK". During the design, a diagram of the functional structure of the system was built, its subsystems and blocks, their purposes were described, and the description of the control relationships between the objects of the system was made. The implementation of the functionality allows you to improve the quality of finished products, reducing time and labor costs, as well as reducing the share of products of low quality and scrap along the described technological routes.

Keywords: automation, technological process, intelligent system, control system, predictive analytics, process control system.

REFERENCES

- Solov'ev V.A., Chernyy S.P. *Iskustvennyi intellekt v zadachakh upravleniya. Intellektualnye sistemy upravleniya tekhnologicheskimi protsessami: ucheb.posobie* [Artificial intelligence in control problems. Intellectual systems of control of technological processes]. Komsomolsk-on-Amur, KnASTU Publ., 2006, 74 p. (In Russian)
- Yanusov A.S., Kurganov V.V. Application of web technologies in the field of automated control systems for technological processes (APCS). *Sbornik trudov XVI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh "Molodezh' i sovremennye informatsionnye tekhnologii"* [Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists "Youth and Modern Information Technologies"]. Tomsk, TPU Publ., 2019, pp. 325-326. (In Russian)
- Logunova O.S., Matsko I.I., Posokhov I.A. *Sistema intellektualnoy podderzhki protsessov upravleniya proizvodstvom nepreryvnoy zagotovki* [System of intellectual support of processes of production management of continuous cast billets]. Magnitogorsk, NMSTU Publ., 2013, 175 p. (In Russian)
- Kuznetsov L.A., Vedishchev V.V. Mathematical modeling of complex technological processes (on the example of a quality management system for rolled products). *Datchiki i sistemy* [Sensors & Systems], 2001, no. 9, pp. 10-13. (In Russian)
- Pulin I.S. Application of automated control systems in production: opportunities for labor productivity growth. *Sbornik nauchnykh trudov "Upravlenie proizvoditel'nost'yu: opyt i problemy nizhegorodskikh predpriyatiy"* [Collection of scientific papers "Productivity Management: Experience and Problems of Nizhny Novgorod Enterprises"]. Nizhny Novgorod, NNSTU Publ., 2020, pp. 207-212. (In Russian)
- Kachala N.M., Prokhorenkov A.M. Ensuring the specified characteristics of technological process control systems using forecasting methods. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Nauka – proizvodstvu"* [Materials of the International Scientific and Practical Conference "Science for Production"]. Murmansk, MSTU Publ., 2016, pp. 68-73. (In Russian)
- Dementiev A.V. Analysis of existing automated process control systems. *Studencheskiy* [Student], 2020, no. 21-1(107), pp. 30-60. (In Russian)
- Babeshko V.N. Information systems for managing technological processes. *Novaya nauka: teoreticheskiy i prakticheskiy vzglyad*. [Modern science: theoretical and practical approaches], 2016, no. 2-2(63), pp. 123-125. (In Russian)
- Antipin A.F. On the issue of developing control systems for technological processes. *Sbornik nauchnykh trudov 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Kachestvo v proizvodstvennykh i sotsial'no-ekonomicheskikh sistemakh"* [Collection of scientific papers of the 4th International Scientific and Technical Conference "Quality in production and socio-economic systems"]. Kursk, CJSC «University book» Publ., 2016, pp. 31-34. (In Russian)
- Parsunkin B.N., Bondareva A.R., Polukhina E.I. Visualization system for the creation of an adaptive complex of local

- level control in the automated process control system of industrial production. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes], 2015, no. 2(27), pp. 44-47. (In Russian)
11. Andreev S.M., Barankin B.N., Logunova O.S. Application of neural network control algorithms in local control loops of process parameters. *Sbornik statey 30-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya, razrabotka i primeneniye vysokikh tekhnologiy v promyshlennosti i ekonomike"* [Collection of articles of the 30th International Scientific and Practical Conference "Fundamental and Applied Research, Development and Application of High Technologies in Industry and Economics"]. St. Petersburg, SPbPU Publ., 2012, pp. 263-265. (In Russian)
 12. Parsunkin B.N., Artamonov Yu.S., Andreev S.M. *Optimizatsiya parametrov nastroyki lokalnykh konturov upravleniya astaticheskimi obyektami po metodu simmetrichnogo optimuma* [Optimization of settings for local control circuits of astatic objects by the method of symmetric optimum]. Magnitogorsk, NMSTU Publ., 2005, 99 p. (In Russian)
 13. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Logunova O.S. *Lokalnye stabiliziruyushchie kontura avtomaticheskogo upravleniya v ASU TP* [Local stabilizing circuits of automatic control in automated process control systems]. Magnitogorsk, NMSTU Publ., 2012, 406 p. (In Russian)
 14. Dimov Yu.V., Podashev D.B. Edge quality management system for finishing with elastic polymer-abrasive tools and its analysis. Part 1. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2020, vol. 24, no. 5(154), pp. 977-992. (in Russian) doi: 10.21285/1814-3520-2020-5-977-992
 15. Marsuverskiy B.A. The Comprehensive Computer-Aided Control System for the Blast Furnace Process. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2017. No. 7. pp. 41-46.
 16. Denisov M.S. Automated system of program control of the process of applying pressure on liquid and crystallizing metal. *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii* [Automation. Modern technologies], 2020, vol. 74, no. 5, pp. 234-240. (In Russian)
 17. Silaeva E.Yu., Chebinev A.V. Development of an automated system for controlling the technological process of heat treatment of pipes in a roller furnace. *Naukosfera* [Sciencesphere], 2020, no. 5, pp. 108-113. (in Russian)
 18. Svezhentsev M.Yu. Development of an automated control system for the technological process of heating and equalizing the temperature of pipes in a furnace with walking beams. *Dnevnik nauki* [Diary of science], 2020, no. 5(41), pp. 33. (In Russian)
 19. Samokhval F.N. Automation in control systems of technological processes in the production of titanium sponge. *Molodezhnaya nauka v razvitiy regionov* [Youth science in the development of regions], 2019, vol. 1, pp. 154-156. (In Russian)
 20. Akhabei F. Predictive modeling to increase the reliability of production planning in single-item production / F. Akhabei, F. Bleicher. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*. 2016. pp. 806-811.
 21. Ruiz E., Ferreño D., Cuartas M., Lopez A., Arroyo V., Gutiérrez-Solana F. Machine learning algorithms for the prediction of the strength of steel rods: an example of data-driven manufacturing in steelmaking. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2020. Vol. 33(9). pp. 1-12. doi: 10.1080/0951192X.2020.1803505.
 22. Shilkina S.V., Gusarova A.A. Intelligent information technologies in automated process control systems. *Sovremennaya nauka i innovatsii* [Modern science and innovation], 2018, no. 1(21), pp. 34-39. (In Russian)
 23. Gorbach K.V. "Smart" non-ferrous metal. *Control Engineering Rossiya* [Control Engineering Russia], 2019, no. 3(81), pp. 70-73. (in Russian)
 24. Sharikov Yu.V., Snegirev N.In., Tkachev I.V., Petrov P.A. Development and simulation of control system based on predictive mathematical model for the industrial process of isomerization of pentane-hexane fraction / Cloud of Science, 2020, vol. 7, no. 2, pp. 273-284. (In Russian)
 25. Shmueli G., Koppius O.R. Predictive analytics in information systems research. *MIS Quarterly: Management Information Systems*. 2011. Vol. 35(3). pp. 553-572. doi: 10.2307/23042796.
 26. Hansen, RJ, Hall, DL, Nickerson, GW, & Phoha, S. "Integrated Predictive Diagnostics: An Expanded View. *Proceedings of the ASME 1996 International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exhibition*. Vol. 5: Manufacturing Materials and Metallurgy; Ceramics; Structures and Dynamics; Controls, Diagnostics and Instrumentation; Education; General. Birmingham, UK. June 10-13, 1996. V005T15A006. ASME. doi: 10.1115/96-GT-034
 27. Sidorenko N.S., Myalovsky V.A. Improvement of management of metallurgical production on the basis of full weight control of material flows. *Matematicheskoe i programnoe obespechenie v promyshlennoy i sotsialnoy sferakh* [Mathematical and software systems in industrial and social spheres], 2019, vol. 7, no. 2, pp. 35-37. doi: 10.18503/2306-2053-2019-7-2-35-37. (In Russian)
 28. Sidorenko N.S., Logunova O.S. Prerequisites for modernization of the corporate technology and quality management system at a metallurgical enterprise. *Materialy VIII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Komp'yuternaya integratsiya proizvodstva i IPI-tekhnologii"* [Materials of the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference "Computer Integration of Production and CALS-Technology"]. Orenburg, OSU Publ., 2017, pp. 661-664. (In Russian)
 29. Sidorenko N.S., Logunova O.S., Tyazhelnikova L.Y., Arkulis N.V. Information Storage of Metallurgical Enterprises: Transformation of the Structure. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2019, no. 4(45), pp. 52-57. (In Russian). doi: 10.18503/2311-8318-2019-4(45)-52-5.

Дьяконов Н.А., Логунова О.С. Системы управления технологическим процессом на основе предиктивной аналитики: проектирование // *Электротехнические системы и комплексы*. 2021. № 1(50). С. 58-64. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-1\(50\)-58-64](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-1(50)-58-64)

Dyakonov N.A., Logunova O.S. Process Control Systems Based on Predictive Analytics: Design. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2021, no. 1(50), pp. 58-64. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-1\(50\)-58-64](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2021-1(50)-58-64)