

УДК 621:62–78:331.44

EDN: SORLMT

Денисова Н. А., Подлипенская Л. Е., Козачишен В. А.Донбасский государственный технический университет***E-mail: natdeny@yandex.ru*

ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ НА МНЛЗ С УЧЕТОМ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА

Работа посвящена разработке программного комплекса для мониторинга, прогноза и предупреждения нештатных ситуаций (НС) в процессе эксплуатации машины непрерывной разливки стали (МНЛЗ). Интеллектуальная автоматизированная система позволяет в режиме реального времени идентифицировать и прогнозировать НС, предлагает варианты предотвращения НС и минимизации последствий в результате их наступления.

Ключевые слова: МНЛЗ, человек-оператор, человеческий фактор (ЧФ), психофизиологическое состояние, нештатная ситуация, метод нечеткого логического вывода, компьютерная программа.

Финансирование: исследования выполнены за счет средств федерального бюджета по теме «Экспертная система обеспечения надежности металлургического оборудования с учетом психофизиологического состояния оператора в реальном времени» (код темы: FRRU-2023-0005 в ЕГИСУ НИОКРПР).

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. МНЛЗ — это сложное технологическое оборудование, где нештатные ситуации (НС) могут привести к значительным финансовым потерям, травмам персонала и повреждению оборудования. В исследовании [1] было выделено 6 типичных нештатных ситуаций, которые наиболее часто встречаются при эксплуатации МНЛЗ: S1 — «Прорыв»; S2 — «Прекращение разливки»; S3 — «Некрытие стопора»; S4 — «Перелив металла через кристаллизатор»; S5 — «Выход из строя погружного стакана»; S6 — «Отрыв затравки».

Обеспечение стабильности разливки стали на МНЛЗ является первоочередной задачей управляющего звена производства. Экспертная система, прогнозирующая наступление НС на производстве, является важным барьером на пути возникновения нештатной ситуации и возможного развития ее до аварийной ситуации.

В настоящее время разработаны математические модели для прогноза нештатных ситуаций S1 [1], S3 [2] и S4, в основе которых лежит нечеткий логический вывод в

форме Mamdani. Данные модели реализованы в программной среде Matlab. Ввиду ограниченной мобильности пакета, для использования полученных моделей в реальных условиях необходим программный комплекс локального уровня, адаптированный к работе в автоматизированных системах контроля в режиме реального времени. Внедрение автоматизированного мониторинга позволяет оперативно выявлять отклонения от нормального режима работы и минимизировать риски.

Оператор МНЛЗ играет ключевую роль в управлении процессом, в особенности при угрозе возникновения нештатных ситуаций [3]. Работоспособность оператора зависит от его психофизиологического состояния (усталость, стресс, снижение концентрации внимания и т. д.). Игнорирование этого фактора увеличивает вероятность ошибок. Целый ряд исследований свидетельствует о том, что «фактор непредсказуемости ситуации приводит как к психическому, так и к физическому истощению, которому предшествует хроническое возбуждение. Ситуация, наступлению которой

предшествует какой-либо сигнал, становится предсказуемой и не сопровождается чрезмерным возбуждением» [4]. В этих условиях автоматизированные системы мониторинга (АСМ) текущего состояния эксплуатируемого оборудования являются стабилизирующим фактором в работе оператора.

Однако не все предприятия имеют АСМ, отвечающие современным требованиям, поскольку зачастую их системы контролируют производственные процессы путем простого отображения показателей, не используя современные информационные технологии с развитой предиктивной аналитикой. В 2023 году, по данным Минэкономразвития РФ, 52,6 % корпораций и крупных организаций в России использовали технологии искусственного интеллекта.

По итогам 2024 года Национальным центром развития искусственного интеллекта при Правительстве Российской Федерации проведен мониторинг внедрения решений в сфере искусственного интеллекта в приоритетных отраслях экономики Российской Федерации [5]. В данном отчете представлено 277 кейсов внедрения ИИ в приоритетные отрасли экономики РФ. Наибольшее число внедрений представлено 33 кейсами в промышленности (11,9 % против 5,7 % в 2023 году). Существенно изменился топ разработчиков технологий ИИ:

2023 год: компания «Сбер» (6 %); компания «Яндекс» (5,7 %); группа компаний «Центр речевых технологий» (3,1 %) [6];

2024 год: университеты РФ (34 %); компания «Яндекс» (22 %); компания «Сбер» (19 %) [5]. Отечественные университеты стали более активно участвовать в разработках и внедрениях в производство технологий ИИ.

В черной металлургии наиболее значимые проекты в данной сфере в 2024 году разрабатывались на основе технологий интеллектуальной поддержки принятия решений и компьютерного зрения [5]:

– специалистами «Северстали» разработан проект по инспекции процесса оцинко-

вания проката с помощью нейросетей. Данный проект является частью масштабного проекта компании по цифровизации производства, которая позволяет снизить влияние ЧФ на качество продукции и уменьшить аварийность на производстве. Также на производственных площадках предприятия в 2024 г. были проведены первые испытания робота-собаки Deep Robotics;

– на Новолипецком металлургическом комбинате (Группы НЛМК) внедрена экспертная система поддержки решений на базе ИИ, которая помогает сталевару рассчитывать с высокой точностью оптимальный состав и количество ферросплавов. Ожидаемый экономический эффект составит около 100 млн рублей в год. Также в компании внедряются экспертные системы по определению утечек в трубопроводах с помощью мобильных беспроводных датчиков; по улучшению экологичности коксохимического производства на основе Vmх-видеоаналитики;

– на ЕВРАЗ ЗСМК внедрена интеллектуальная экспертная система с видеоаналитическим блоком, которая в режиме реального времени фиксирует месторасположение работников и контролирует использование ими средств индивидуальной защиты;

– Магнитогорский металлургический комбинат для повышения качества продукции кислородно-конвертерного цеха внедрил проект, который представляет собой комплекс цифровых решений на различных участках цеха: агрегат-ковш, агрегат вакуумирования стали; система детектирования шлака на МНЛЗ. Такая комплексная цифровизация имеет несомненное преимущество перед «лоскутной» цифровизацией производства [7].

Таким образом, разработка и внедрение в производство современных компьютерных технологий являются приоритетным трендом развития металлургической отрасли. Использование ИИ в металлургических производствах позволяет освободить оператора от большей части рутинной ра-

боты, быстрый анализ большого количества статистических данных и сгенерированные на их основе возможные сценарии развития событий, в том числе и негативных, с появлением НС и аварий на производстве, помогает специалисту принять правильное решение. Согласно приказу Ростехнадзора от 20.10.2020 № 420 (ред. от 29.01.2025), предусматривается «возможность применения при проводимой в рамках экспертизы оценке фактического состояния технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах информации, содержащейся в соответствующих автоматизированных системах мониторинга».

АСМ в производственных процессах непрерывной разливки стали разрабатывались Соловьевой О. И., Кожевниковым А. В. [8], Наркевич М. Ю., Логуновой О. С. [9] и др. Выявление небезопасных действий работников металлургического предприятия с помощью нечетких множеств представлено в исследовании Баширова З. А., Кулешова В. В., Фомина А. И. [10]. Система оценки ПФС оператора с помощью нечетких множеств рассмотрена в [11], где данные автоматически поступают в систему мониторинга с носимого оператором устройства [12]. Однако, несмотря на большое количество публикаций в этой области, вопросы разработки автоматизированной системы, выполняющей контроль не только за производственными процессами, но и учитывающей состояние человека, участвующего в управлении сложными техническими системами, недостаточно проработаны.

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью повышения безопасности, надежности и эффективности работы МНЛЗ за счет интеграции технологий мониторинга оборудования и психофизиологического состояния оператора. Внедрение такого программного комплекса позволит снизить аварийность, оптимизировать производственные процессы и соответствовать современным трендам цифровизации промышленности.

Постановка задачи. Исходя из проведенного анализа и результатов работ [1, 2, 11, 13], экспертная система, которая анализирует состояние МНЛЗ и прогнозирует возможность возникновения нештатных ситуаций в процессе непрерывной разливки стали, должна выполнять две взаимосвязанных задачи:

1. Анализ технических и технологических параметров МНЛЗ для оценки возможности появления НС.

2. Оценка психофизиологического состояния оператора.

В связи с этим *целью* данной работы являются исследование и разработка концепции построения программного комплекса мониторинга и предупреждения нештатных ситуаций на МНЛЗ с учетом психофизиологического состояния оператора, обеспечивающего безаварийную разливку стали на МНЛЗ.

Объект исследования — процесс управления оператором разливкой стали на МНЛЗ.

Предмет исследования — улучшение процесса управления оператором разливкой стали на МНЛЗ с помощью программного комплекса по прогнозу нештатных ситуаций.

Материалы и методы исследования. Исследование особенностей разработки программного комплекса, предупреждающего о нештатных ситуациях, было выполнено на примере МНЛЗ, которая эксплуатируется на ООО «Южный горно-металлургический комплекс» (ООО «ЮГМК»). Это двухручьева слябовая машина фирмы VAI, оснащенная системами Level 1&2, Lubri Con, Hydraul Con, Dyna Flex, Dyna Width, Lev Con, Mold Expert, Drive Con, Dyna Gap, DYNACS, Yield Expert, позволяющими осуществлять разливку в автоматическом режиме [9]. Однако нередко случаются ситуации, когда оператору приходится вмешиваться в процесс управления разливкой, особенно при угрозах или возникновении нештатных ситуаций. В этих случаях оператор принимает решение на основе множества показаний датчиков си-

стемы контроля в режиме реального времени, регламента производства и собственного опыта. То есть за короткое время специалист должен проанализировать большой объем информации, идентифицировать текущую ситуацию и сделать прогноз относительно возможности появления неблагоприятного события, которое нарушит стабильный процесс разлива стали. Необходимо разработать дополнительный модуль автоматизации, который, используя показания датчиков уже имеющейся системы, выполнял бы предиктивную аналитику и давал прогноз по комплексным критериям проявления нештатных ситуаций.

Проектируемый программный комплекс выступает в качестве интеллектуальной системы поддержки решения оператора. Для решения поставленной задачи использовались методы системного анализа, математической статистики, теории нечетких множеств, математической логики, экспертные методы, методы математического моделирования и разработки систем искусственного интеллекта.

Изложение материала. Основные этапы разработки программного комплекса для мониторинга, прогноза и предупреждения нештатных ситуаций при эксплуатации металлургического оборудования представлены 10-ю основными частями:

1. Исследование факторов возникновения нештатных ситуаций: основные технические и технологические причины аварий на МНЛЗ; анализ влияния психофизиологического состояния оператора на безопасность процесса.

2. Выбор средств и методов оценки ПФС оператора. Изучение биометрических и нейрофизиологических показателей (ЭЭГ, ЭКГ, трекинг глаз, уровень стресса). Определение ключевых параметров, влияющих на работоспособность оператора

3. Разработка математических моделей прогноза нештатных ситуаций по блокам «Оборудование» и «Человек-оператор»; разработка интегральной модели на основе этих двух блоков.

4. Разработка модуля решений по предотвращению НС и модуля способов

ликвидации негативных последствий при наступлении НС.

5. Создание концепции программного комплекса. Разработка архитектуры системы, включая модули мониторинга оборудования и оператора. Выбор алгоритмов обработки данных и прогнозирования нештатных ситуаций.

6. Исследование возможностей технологий интеллектуальной поддержки принятия решений и компьютерного зрения для использования их в системе управления безаварийной эксплуатации МНЛЗ на всех этапах разлива стали в привязке к конкретным условиям эксплуатации оборудования. Разработка модели оценки рисков с учетом состояния оператора.

7. Интеграция экспертной системы с существующими АСУ ТП. Выбор способов взаимодействия с промышленными системами управления МНЛЗ. Разработка протоколов обмена данными в реальном времени.

8. Моделирование и тестирование системы. Подготовка базы данных для осуществления имитационного моделирования работы программного комплекса в условиях, близких к реальным. Оценка эффективности предложенных решений в сфере промышленной безопасности предприятия.

9. Оценка экономической эффективности и безопасности программного комплекса. Анализ затрат на внедрение системы и определение ожидаемого экономического эффекта от снижения аварийности на производстве.

10. Разработка рекомендаций по внедрению. Подготовка предложений по промышленной апробации системы. Разработка требований к обучению операторов и персонала.

Основная идея разрабатываемого программного комплекса заключается в создании интеллектуальной системы мониторинга и предупреждения нештатных ситуаций на МНЛЗ на основе информации, получаемой в режиме реального времени от имеющейся на предприятии автоматизированной системы контроля безаварийной

МАШИНОСТРОЕНИЕ

разливки стали. Такой подход достаточно экономичный, ибо не требует дополнительных технических устройств (кроме приборов для измерения ПФС оператора), основан на современных компьютерных технологиях, и в то же время систематизирует и преобразует разрозненную информацию в обоснованный логический вывод о возможности возникновения нештатной ситуации.

Основные составляющие концепции программного комплекса представлены в таблице 1.

Структура комплекса, построенная на основе онтологической модели, созданной при помощи редактора онтологий Protégé и плагина OntoGraph, показана на рисунке 1.

Диаграмма последовательности показывает временную цепочку событий (рис. 2).

Таблица 1

Основные составляющие концепции программного комплекса мониторинга и предупреждения нештатных ситуаций на МНЛЗ с учетом психофизиологического состояния оператора

Составляющие концепции	Описание
Назначение программного комплекса	Обеспечивает: – автоматический анализ текущего положения по распознаванию НС; – прогноз возникновения НС; – рекомендации по предотвращению НС; – мониторинг ПФС оператора для минимизации влияния человеческого фактора; – разделение функций между автоматикой, оператором и диспетчером.
Структура системы	
Технологический процесс	Кристаллизатор с системой охлаждения; промковш; зона вторичного охлаждения; механизм вытягивания слитка; система обжарки заготовки.
Контролируемые параметры	<i>Кристаллизатор:</i> средний износ плит кристаллизатора, в % от регламентного пробега; количество неработающих термодов; конусность узких плит; разница между теплоотводами плит.
	<i>Металлургические параметры:</i> уровень металла в кристаллизаторе; уровень металла в промежуточном ковше; колебание уровня металла в кристаллизаторе; вязкость шлакообразующей смеси; температура стали в промковше.
	<i>Процесс разливки:</i> скорость разливки; суммарное усилие приводов; колебание усилий (циклическое).
Аналитический блок	<i>Модель А (оценка состояния объекта по распознаванию НС)</i> Входные данные: данные датчиков системы автоматического контроля. Выход: информация на пульт оператора + копия диспетчеру. Классификация статусов: А — Стабильные условия разливки; В — Затруднение контроля потока; С — Вынужденная остановка ручья; D — Неплановое прекращение разливки; Е — Неконтролируемое истечение стали, повреждение оборудования, остановка заготовки в ручье.
	<i>Модель Б (ПФС оператора)</i> Входные данные: данные показаний носимого устройства. Выход: информация на пульт диспетчера. Классификация статусов: А — Оптимальное рабочее состояние; В — Эмоциональная напряженность, возможны ошибочные действия; С — Переутомление, велика вероятность ошибок; D — Нерабочее состояние, соответствующее заболеванию.
Принципы работы	Автоматическое управление: основной режим работы; ПИД-регуляторы, поддерживают параметры в заданных пределах; система самостоятельно корректирует: скорость разливки; обжарка заготовки; уровень стали в кристаллизаторе; уровень стали в промковше; расход воды для охлаждения; положение механизмов.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Продолжение таблицы 1

Составляющие концепции	Описание
	<p>Роль оператора: подготовка агрегата, запуск, плановое (неплановое) прекращение разливки; контроль процесса разливки через графический интерфейс и фиксация основных технологических параметров; внесение корректировок в параметры МНЛЗ в случае изменения химического состава и температуры стали; ручное вмешательство при статусах В–Е по модели А, отказе автоматики.</p> <p>Функции диспетчера: <i>мониторинг состояния оператора</i>; анализ данных состояния оператора: показатели работоспособности, усталости, ошибаемости, стресса, показатели ПФС; организационные функции: координация смен, обмен данными по технологическим параметрам и производительности смежных агрегатов; ведение журнала событий, замена операторов при статусе D ПФС оператора.</p>
Интерфейсы системы	<p>Пульт оператора:</p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>графики параметров</i>: отражение в реальном времени и классификация их текущего состояния (красная/желтая/зеленая зоны); – <i>цветовая индикация</i>: кнопка статуса процесса (А–Е); – <i>рекомендации</i>: пошаговые инструкции для каждого статуса; протоколы действий при авариях; – <i>ручное управление</i>: слайдеры для ключевых параметров; кнопки экстренного останова. <p>Рабочее место диспетчера:</p> <ul style="list-style-type: none"> – мониторинг операторов (параметры текущего состояния ПФС; динамика изменений (графики); – система оповещений; – журнал событий: маркировка ручных вмешательств.
Алгоритмы распознавания статусов	
Модель А	Алгоритмы для обработки ситуации неопределенности.
Модель В	Алгоритмы на основе метода эталонов и функции обобщенного сходства.
Алгоритмы принятия решений	
Модель А	<p>Статус А: автоматическое поддержание параметров; визуальное подтверждение нормы.</p> <p>Статус В: звуковое подтверждение; подсветка проблемных параметров; рекомендации по корректировке.</p> <p>Статус С: автоматическое снижение скорости разливки на 15 %; запрос подтверждения действий от оператора; уведомление диспетчеру.</p> <p>Статус D/E: автоматический переход на аварийные протоколы; пошаговая инструкция на экране; принудительный останов при отсутствии реакции.</p>
Модель В	<p>ПФС А/В: визуальная индикация состояния.</p> <p>ПФС С: предложение сделать перерыв; уведомление диспетчеру.</p> <p>ПФС D: автоматический вызов замены; блокировка управления; оповещение медицинской службы.</p>
Технические детали программного комплекса	
Среда разработки	IDE (Integrated Development Environment — интегрированная среда разработки) — специальная программа, которая объединяет все необходимые инструменты для кодирования в одном месте. C, C++, Python.
IT-технологии	Библиотеки нечеткого логического вывода в форме Mamdani (scikit-fuzzy, Fuzzy Logic Control (FLC), FuzzyLite).
Графические элементы	GUI (Graphical User Interface) — графический пользовательский интерфейс, который позволяет взаимодействовать с устройствами через визуальные элементы (кнопки, иконки, окна).

МАШИНОСТРОЕНИЕ

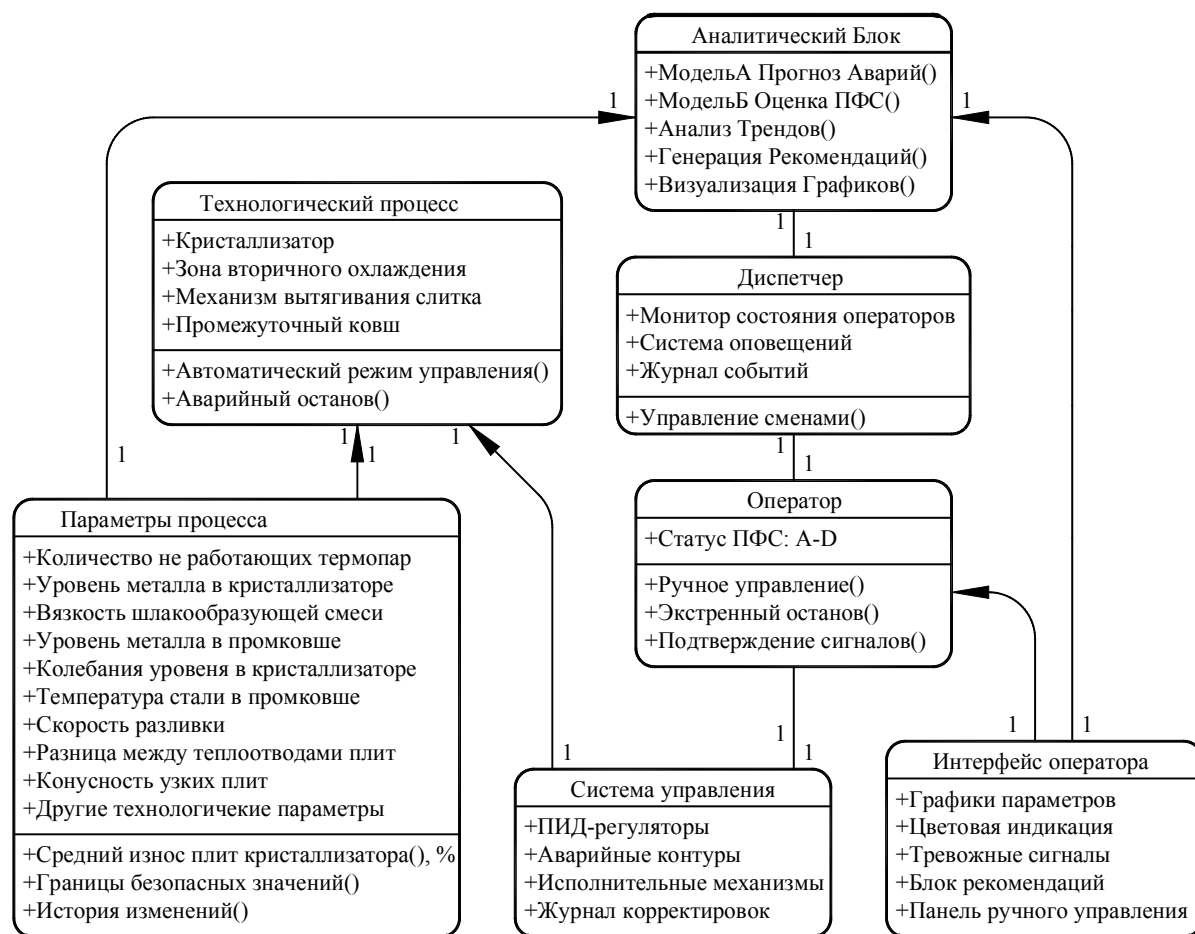


Рисунок 1 — Диаграмма полной онтологической модели системы

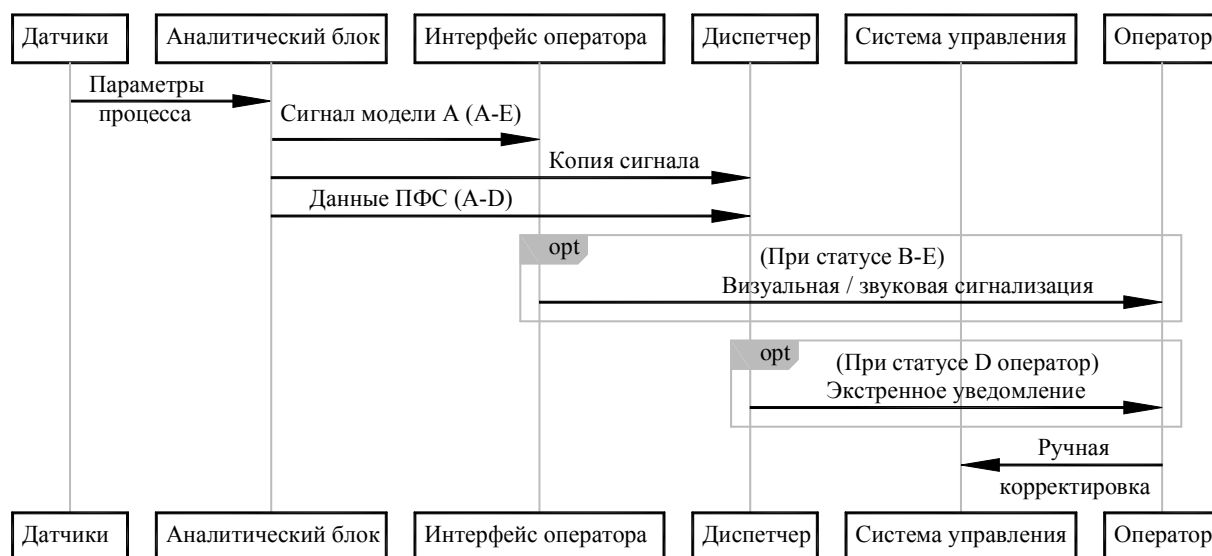


Рисунок 2 — Диаграмма последовательности

Данная концепция позволяет создать упреждающую систему управления, снижающую риск, повышающую эффективность производства с безопасными условиями труда. Предлагаемая система обеспечивает безопасный процесс разлива стали на МНЛЗ через автоматический мониторинг и прогноз нештатных ситуаций; потоки данных в реальном времени; четкое разделение ролей оператор/диспетчер; поэтапное предупреждение угроз; механизмы ручной корректировки процесса при появлении некоторых предвестников НС.

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, представленное исследование направлено на создание интеллектуальной системы поддержки принятия решений для оператора МНЛЗ. Ключевым моментом является комплексный подход, учитывающий не только тех-

нологические параметры процесса, но и психофизиологическое состояние самого оператора. Программный комплекс должен решать две взаимосвязанные задачи: технологический мониторинг и прогноз; психофизиологический мониторинг оператора. Разрабатываемый комплекс не заменит оператора, но будет являться «интеллектуальным помощником», предоставляя заблаговременные предупреждения и рекомендации.

Предлагаемый подход является комплексным и перспективным, так как решает фундаментальную проблему промышленной безопасности: взаимодействие человека и сложной автоматизированной системы в критических условиях. Разработка такого программного комплекса имеет прямой потенциал для снижения аварийности и повышения эффективности производства.

Список источников

1. Разработка экспертной системы диагностики нештатных ситуаций машины непрерывного литья заготовок на основе нечеткой логики / Д. А. Вишневский, Н. А. Денисова, Т. Р. Козлов [и др.] // Вестник Череповецкого государственного университета. 2025. № 1 (124). С. 7–23. DOI: 10.23859/1994-0637-2025-1-124-1 EDN BADPRF
2. Автоматическая система контроля некрытия стопора промежуточного ковша МНЛЗ на основе нечеткой логики / Д. А. Вишневский, Н. А. Денисова, Т. Р. Козлов [и др.] // Черные металлы. 2025. № 3. С. 61–69. DOI: 10.17580/chm.2025.03.10 EDN WSELUF
3. Бабилов В. М., Панасенко И. М. Учет человеческого фактора при обеспечении надежности человеко-машинных систем // Человеческий фактор в управлении / под ред. Н. А. Абрамовой, К. С. Гинсберга, Д. А. Новикова. М.: КомКнига, 2006. С. 135–150. EDN PFGWAV
4. Бодров В. А., Орлов В. Я. Психология и надежность: человек в системах управления техникой. М.: Институт психологии РАН, 1998. 288 с. EDN SGBFNL
5. Информационно-аналитическая справка по результатам мониторинга внедрения решений в сфере искусственного интеллекта в приоритетных отраслях экономики Российской Федерации, 2024 год [Электронный ресурс] // Национальный портал в сфере искусственного интеллекта : [сайт]. [2025]. URL: https://ai.gov.ru/knowledgebase/komponenty/informacionno-analiticheskaya_spravka_po_rezulytatam_monitoringa_vnedreniya_resheniy_v_sfere_iskusstvennogo_intellekta_v_prioritetnyh_otraslyah_ekonomiki_rossiyskoy_federacii_2024_god_ncrrii/.
6. Информационно-аналитическая справка по результатам мониторинга внедрения решений в сфере искусственного интеллекта в приоритетных отраслях экономики Российской Федерации по итогам 2023 года [Электронный ресурс] // Национальный портал в сфере искусственного интеллекта : [сайт]. [2025]. URL: https://ai.gov.ru/knowledgebase/vnedrenie-ii/2023_informacionno-analiticheskaya_spravka_po_rezulytatam_monitoringa_vnedreniya_resheniy_v_sfere_iskusstvennogo_intellekta_v_prioritetnyh_otraslyah_ekonomiki_rossiyskoy_federacii_po_itogam_2023_goda_ncrrii/?ysclid=mdvxxkuk943828122.
7. Компания Datana внедряет на ММК искусственный интеллект для повышения качества продукции [Электронный ресурс] // Магнитогорский металлургический комбинат : [сайт].

[2025]. URL: <https://mmk.ru/ru/press-center/news/kompaniya-datana-vnedryaet-na-mmk-iskusstvennyy-intellekt-dlya-povysheniya-kachestva-produktsii/>.

8. Соловьева О. И., Кожевников А. В. Математическая модель прогнозирования уровня безопасности сталеразливочного оборудования // Вестник Череповецкого государственного университета. 2012. Т. 2. № 3 (41). С. 25–31. EDN PCEDUP

9. Наркевич М. Ю., Логунова О. С. Гармонизация базовых и цифровых показателей принадлежности опасных производственных объектов заданному техническому состоянию // Вестник Череповецкого государственного университета. 2023. № 3 (114). С. 31–46. DOI: 10.23859/1994-0637-2023-3-114-3 EDN EUCCMC

10. Баширов З. А., Кулешов В. В., Фомин А. И. Контроль и управление небезопасными действиями работников на основе нечетких показателей // Безопасность труда в промышленности. 2024. № 5. С. 7–12. DOI: 10.24000/0409-2961-2024-5-7-12 EDN FOKPYA

11. Денисова Н. А., Подлипенская Л. Е., Козачишен В. А. Классификация психофизиологического состояния человека-оператора в режиме реального времени на базе данных, поступающих с датчиков индивидуального устройства // Наукоемкие технологии и оборудование в промышленности и строительстве. 2024. № 6 (80). С. 72–84. EDN AYQAPF.

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019616921 Рос. Федерация. Система мониторинга психофизиологического состояния оператора металлургической отрасли программными средствами / Д. А. Вишневский, А. П. Жильцов, В. А. Козачишен, Б. А. Сахаров. № 2019615644 ; заявл. 20.05.2019 ; опубли. 30.05.2019, Бюл. № 6. EDN VCDXJV

13. Денисова Н. А., Подлипенская Л. Е., Козлов Т. Р. Подход к прогнозу нештатных ситуаций в процессе эксплуатации металлургического оборудования с помощью нечетких множеств // Машиностроение и техносфера XXI века : сборник трудов XXXI международной научно-технической конференции (Севастополь, 16–22 сентября 2024 года). Донецк : ДонНТУ, 2024. С. 69–74. EDN CDJUFJ

© Денисова Н. А., Подлипенская Л. Е., Козачишен В. А., 2025

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. МОЗЧМ ДонНТУ Сотниковым А. Л.,
к.э.н., доц., зав. каф. ТОМП ДонГТУ Зинченко А. М.**

Статья поступила в редакцию 29.09.2025.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Денисова Наталья Анатольевна, канд. техн. наук, доцент, зав. каф. машин металлургического комплекса

Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия, e-mail: natdeny@yandex.ru

Подлипенская Лидия Евгеньевна, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник управления перспективных научных исследований

Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия

Козачишен Виталий Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, доцент каф. машин металлургического комплекса

Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия

*Denisova N. A., Podlipenskaya L. E., Kozachishen V. A. (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, *e-mail: natdeny@yandex.ru)

APPROACHES TO CREATING AN INTELLIGENT AUTOMATED SYSTEM FOR WARNING ABOUT ABNORMAL SITUATION ON THE CCM CONSIDERING THE PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATE OF THE OPERATOR

The work is dedicated to the development of a software system for monitoring, predicting, and warning about abnormal situations (AS) during the operation of a continuous steel-casting unit (CSCU). The intelligent automated system allows in real-time to identify and predict the abnormal situations, offer options to prevent abnormal situations and minimize the consequences of their occurrence.

Key words: CCM, human-operator, human factor (HF), psychophysiological state, abnormal situation, fuzzy logic method, computer software.

Funding: the research is funded from the federal budget on the theme "Expert system for ensuring the reliability of metallurgical equipment considering the psychophysiological state of the operator in real time" (theme code: FRRU-2023-0005 in the Unified state information system for accounting the research, experimental and technical works).

References

1. Vishnevskiy D. A., Denisova N. A. Kozlov T. R. [et al.]. Development of expert system for diagnosis of emergency situations of continuous casting machine based on fuzzy logic [Razrabotka ekspertnoj sistemy diagnostiki neshtatnyh situacij mashiny nepreryvnogo lit'ya zagotovok na osnove nechetkoj logiki]. Cherepovets state university bulletin. 2025. No. 1 (124). Pp. 7–23. DOI: 10.23859/1994-0637-2025-1-124-1 EDN BADPRF
2. Vishnevskiy D. A., Denisova N. A. Kozlov T. R. [et al.]. Automatic control system for the failure of the cover of the intermediate ladle of CCM based on fuzzy logic [Avtomaticheskaya sistema kontrolya nekrytiya stopora promezhutochnogo kovsha MNLZ na osnove nechetkoj logiki]. Chernye Metally. 2025. No. 3. Pp. 61–69. DOI: 10.17580/chm.2025.03.10 EDN WSELUF
3. Babikov V. M., Panasenko I. M. Human factor integration to ensure reliability of man-machine system [Uchet chelovecheskogo faktora pri obespechenii nadezhnosti cheloveko-mashinnyh sistem]. Chelovecheskij faktor v upravlenii; pod red. Abramovoi N. A., Ginsberga K. S., Novikova D. A. M. : KomKniga. 2006. Pp. 135–150. EDN PFGWAV
4. Bodrov V. A., Orlov V. Ya. Psychology and reliability: man in machine control systems [Psihologiya i nadezhnost': chelovek v sistemah upravleniya tekhniko]. M. : Institut psihologii RAN. 1998. 288 p. EDN SGBFNL
5. Information and analytical reference on the results of monitoring the implementation of solutions in the field of artificial intelligence in priority sectors of the Russian Federation economy, 2024 [Informacionno-analiticheskaya spravka po rezul'tatam monitoringa vnedreniya reshenij v sfere iskusstvennogo intellekta v prioritetnyh otraslyah ekonomiki Rossijskoj Federacii, 2024 god]. National portal in the field of artificial intelligence. 2025. URL: https://ai.gov.ru/knowledgebase/komponenty/informacionno-analiticheskaya_spravka_po_rezulytatam_monitoringa_vnedreniya_reshenij_v_sfere_iskusstvennogo_intellekta_v_prioritetnyh_otraslyah_ekonomiki_rossiyskoj_federacii_2024_god_ncrri/.
6. Information and analytical reference on the results of monitoring the implementation of solutions in the field of artificial intelligence in priority sectors of the Russian Federation economy at the end of 2023 [Informacionno-analiticheskaya spravka po rezul'tatam monitoringa vnedreniya reshenij v sfere iskusstvennogo intellekta v prioritetnyh otraslyah ekonomiki Rossijskoj Federacii po itogam 2023 goda]. National portal in the field of artificial intelligence. 2025. URL: https://ai.gov.ru/knowledgebase/vnedrenie-ii/2023_informacionno-analiticheskaya_spravka_po_rezulytatam_monitoringa_vnedreniya_reshenij_v_sfere_iskusstvennogo_intellekta_v_prioritetnyh_otraslyah_ekonomiki_rossiyskoj_federacii_po_itogam_2023_goda_ncrri/?ysclid=mdvxxkuk943828122.
7. Datana introduces artificial intelligence to MMC to improve the quality of products [Kompaniya Datana vnedryaet na MMK iskusstvennyj intellekt dlya povysheniya kachestva produkcii.]. Magnitogorsk Iron & Steel Works. 2025 URL: <https://mmk.ru/ru/press-center/news/kompaniya-datana-vnedryaet-na-mmk-iskusstvennyj-intellekt-dlya-povysheniya-kachestva-produkcii/>.

8. Solov'eva O. I., Kozhevnikov A. V. Mathematical model for predicting the safety level of steel making equipment [Matematicheskaya model' prognozirovaniya urovnya bezopasnosti stalerazlivnochnogo oborudovaniya]. Cherepovets state university bulletin. 2012. Vol. 2. No. 3 (41). Pp. 25–31. EDN PCEDUP

9. Narkevich M. Yu., Logunova O. S. Harmonization of basic and numerical indicators of hazardous production facilities belonging to a given technical state [Garmonizaciya bazovyh i cifrovyyh pokazatelej prinadlezhnosti opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov zadannomu tekhnicheskomu sostoyaniyu]. Cherepovets state university bulletin. 2023. No. 3 (114). Pp. 31–46. DOI: 10.23859/1994-0637-2023-3-114-3 EDN EUCCMC

10. Bashirov Z. A., Kuleshov V. V., Fomin A. I. Control and management of unsafe workers based on unclear indicators [Kontrol' i upravlenie nebezopasnymi dejstviyami rabotnikov na osnove nechetkih pokazatelej]. Occupational safety in industry. 2024. No. 5. Pp. 7–12. DOI: 10.24000/0409-2961-2024-5-7-12 EDN FOKPYA

11. Denisova N. A., Podlipenskaya L. E., Kozachishen V. A. Classification of psychophysiological state of a human-operator in real-time mode based on the data coming from sensors of the individual device [Klassifikaciya psihofiziologicheskogo sostoyaniya cheloveka-operatora v rezhime real'nogo vremeni na baze dannyh, postupayushchih s datchikov individual'nogo ustrojstva]. Knowledge-intensive technologies and equipment in industry and building. 2024. No. 6 (80). Pp. 72–84. EDN AYQAPF

12. Vishnevskiy D. A., Zhiltsov A. P., Kozachishen V. A., Sakharov B. A. Certificate of state registration of computer program no. 2019616921 RF. System of monitoring the psychophysiological state of metallurgical industry operator by software means. No. 2019615644 ; submitted 20.05.2019 ; published 30.05.2019. Bulletin No.6. EDN VCDXJV

13. Denisova N. A., Podlipenskaya L. E., Kozlov T. R. Approach to the prediction of emergency situations during the operation of metallurgical equipment using fuzzy sets [Podhod k prognozu neshtatnyh situacij v processe ekspluatatsii metallurgicheskogo oborudovaniya s pomoshch'yu nechetkih mnozhestv]. Mashinostroyeniye i tekhnosfera XXI veka : sbornik trudov XXXI Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii (Sevastopol', 16–22 sentyabrya 2024 goda). Donetsk : DonNTU. 2024. Pp. 69–74. EDN CDJUFJ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Denisova Nataliia Anatoliievna, PhD in Engineering, Assistant Professor, Head of the Department of Metallurgical Complex Machines
Donbas State Technical University,
Alchevsk, Russia, e-mail: natdeny@yandex.ru

Podlipenskaya Lidiia Evgenievna, Leading Researcher of the Advanced Scientific Research Department
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia

Kozachishen Vitaliy Anatoliyevich, PhD in Engineering, Associate Professor, Assistant Professor of the Department of Metallurgical Complex Machines
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia