

ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА В ПРЕДУПРЕЖДЕНИИ АВАРИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Калугина В.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Ильясова М.С. – магистр, ассистент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Статья посвящена применению предиктивной аналитики для предотвращения аварий на промышленных предприятиях. Рассматриваются технологические основы подхода, включая IoT-датчики, Big Data и машинное обучение, а также роль цифровых двойников на примерах в металлургии, авиации, газоснабжении и машиностроении.

Ключевые слова: предиктивная аналитика, промышленная безопасность, машинное обучение, IoT, цифровые двойники, мониторинг оборудования

Введение. Понятие «Промышленная авария» подразумевает возникновение чрезвычайной ситуации на предприятии, ставшей причиной остановки или выхода из строя производственного оборудования [1]. Подобные техногенные происшествия не только ведут к разрушению инфраструктуры предприятия, но и негативно сказываются на здоровье и жизни людей. Из-за внезапных поломок и простоев оборудования могут останавливаться целые производственные линии, что приводит к значительным убыткам для компаний. Классическая система планово-предупредительного ремонта (ППР), привязанная к определенному графику, всё чаще демонстрирует свою низкую эффективность. Она не учитывает реальное техническое состояние оборудования, что приводит либо к «переремонту» (меняются еще исправные детали, появляются неоправданные траты), либо к большому количеству незапланированных работ. Предиктивная аналитика способна исправить упомянутую выше ситуацию, позволяя перейти от обслуживания по графику к обслуживанию по фактическому состоянию оборудования.

Основная часть. Предиктивная аналитика (Predictive Analytics) – это процесс анализа данных и использования статистических алгоритмов и машинного обучения для прогнозирования будущих событий или результатов [2]. Система собирает потоковые данные, которые достигают сотни параметров в секунду, с контроллеров и датчиков и прогнозирует отказы оборудования на основе полученной информации.

Технологически предиктивная аналитика основывается на трёх ключевых компонентах:

- IoT-датчиках, непрерывно собирающих данные о вибрации, температуре, давлении, токе и других параметрах работы оборудования;
- инфраструктуре Big Data, способной обрабатывать миллиарды записей;
- модели машинного обучения, выявляющей неочевидные для человека закономерности и аномалии.

Значимое место занимают цифровые двойники – виртуальные копии оборудования, получающие данные с объектов в режиме реального времени. На таких моделях можно тестировать сценарии «что, если» без риска для производства, а также обучать персонал действиям в аварийных ситуациях.

Работа цифрового двойника строится на последовательном взаимодействии нескольких компонентов. Сначала датчики на оборудовании фиксируют такие параметры его работы, как температуру, вибрацию, давление, нагрузку. Эти данные передаются в систему сбора и обработки (IoT-платформу), где очищаются и агрегируются. Затем анализируются ML-модулем, который прогнозирует возможные отклонения, и используются цифровым двойником для формирования отчётов и предупреждений, которые инженер получает в виде

панели мониторинга или уведомления о потенциальной неисправности. На рисунке 1 представлено описанное взаимодействие компонентов.



Рисунок 1 – Схема взаимодействия компонентов предиктивной аналитики

Результативность такого подхода подтверждается успешным внедрением предиктивной аналитики в промышленности по всему миру. На металлургическом заводе – ведущем производителе сплавов – система DataMind AI от Razor Labs в марте 2025 года зафиксировала повышенную осевую вибрацию на мощном агло-вентиляторе. Традиционные средства виброконтроля отклонений не выявили, однако алгоритмы машинного обучения продолжили повышать уровень критичности агрегата. Принудительная остановка обнаружила два скрытых дефекта: несоосность муфты и дисбаланс рабочего колеса. Причинами стали незакрытый кожух всасывания после ремонта и повреждение лопаток от удара посторонним предметом. Благодаря ранней диагностике на основе ИИ ремонтная бригада вмешалась до наступления отказа, что позволило избежать разрушения узла. Предотвращённый ущерб оценивается в 336 тысяч долларов [3].

Ещё одним ярким примером служит опыт корпорации General Electric – одного из пионеров внедрения цифровых двойников. В авиации и энергетике GE создаёт виртуальные копии двигателей и турбин, которые получают данные с сотен датчиков в реальном времени. Это позволяет не только прогнозировать износ и предотвращать отказы, но и тестировать новые конструкторские решения без риска для реального оборудования. Сквозное применение цифровых двойников помогло клиентам GE сэкономить 1,6 млрд долларов, сократить производственные отходы на 75% и снизить эксплуатационные затраты на 30% [4]. Данный случай показывает, что предиктивная аналитика способна работать не только как система раннего оповещения об авариях, но и как комплексный инструмент оптимизации производства.

Технологии предиктивной аналитики активно развиваются и в Беларуси. Одним из наиболее масштабных проектов стало создание цифрового двойника газораспределительной системы страны, реализованное ГПО «Белтопгаз» совместно с Полоцким государственным университетом имени Евфросинии Полоцкой. Разработка представляет собой комплекс программных средств, интегрированных с реальными технологическими процессами газоснабжающих организаций. На базе университета развернута специализированная лаборатория, где технологические процессы воспроизведены в условиях, идентичных реальным [5]. Это позволяет не только моделировать состояние газопроводов и оборудования в режиме реального времени, но и формировать научно-методическую базу для прогнозирования аварийности на объектах газоснабжения.

В машиностроительной отрасли предприятие ОАО «БЕЛАЗ» разработало и внедрило собственную интеллектуальную систему мониторинга (IMS – Intelligent Monitoring System), которая устанавливается на самосвалы особо большой грузоподъемности еще на сборочном конвейере. Система позволяет полностью отслеживать и контролировать техническое состояние парка самосвалов, оценивать эффективность работы техники, основываясь на

данных телеметрии и GPS-позиционирования, обнаруживать нарушения эксплуатации и прогнозировать выход из строя указанных узлов в привязке к местоположению и режимам эксплуатации, изучать историю работы самосвала, а также строить графики полученных величин [6]. Ключевая особенность IMS заключается в способности к самообучению. По мере накопления данных система прогнозирует отказ конкретных узлов с учетом индивидуальных условий эксплуатации каждой машины: климатического региона, профиля трассы, загруженности и стиля вождения оператора. Это позволяет сервисным службам горнодобывающих предприятий своевременно проводить обслуживание, предотвращая внезапные остановки техники в карьере. Хотя стоимость внедрения подобных систем мониторинга варьируется в зависимости от масштаба парка техники, мировой опыт свидетельствует о быстрой окупаемости таких инвестиций. По данным аналитических отчетов в сфере промышленного интернета вещей (IIoT), внедрение предиктивной аналитики позволяет снизить затраты на техническое обслуживание на 20-30% и увеличить время безотказной работы оборудования до 45%. Для таких горнодобывающих предприятий, эксплуатирующих технику, как БЕЛАЗ, это означает, что инвестиции в IMS окупаются менее чем за год за счет предотвращения простоев, стоимость которых может достигать десятков тысяч долларов в час.

Заключение. Предиктивная аналитика сегодня перестала быть экспериментальной технологией и превратилась в действенный инструмент повышения промышленной безопасности и экономической эффективности. Рассмотренные примеры демонстрируют, что внедрение систем на базе искусственного интеллекта и цифровых двойников позволяет снизить риск аварий, предотвратить многомиллионные убытки от простоев и оптимизировать затраты на ремонты.

Список литературы

1. Промышленные происшествия: трагические инциденты и их последствия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://metallcheckiy-portal.ru/articles/bezopasnost/promishlennnie_proisshestvia_tragicheskie_incidenti_i_ix_posledstvia. – Дата доступа: 24.02.2026.
2. Предиктивная аналитика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sochisirius.ru/news/7349>. – Дата доступа: 25.02.2026.
3. Фрагмент тематического исследования: Объединение данных с датчиков позволяет выявить механическую деградацию вентилятора спекательного оборудования до его выхода из строя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.razor-labs.com/sensor-fusion-identifies-mechanical-degradation-in-sinter-fan-before-failure/>. – Дата доступа: 25.02.2026.
4. 4 типа цифровых двойников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://digitaldirections.com/4-types-of-digital-twins-basic-overview-with-examples/#ge-aviation>. – Дата доступа: 25.02.2026
5. Открытие инновационной лаборатории цифровых двойников [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.psu.by/ru/novosti/sobytiya/otkrytie-innovatsionnoj-laboratorii-tsifrovyykh-dvojnikov>. – Дата доступа: 26.02.2026
6. IMS: интеллектуальная система мониторинга и прогнозной аналитики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://btlogistic.ru/stati/ims-intellektualnaya-sistema-monitoringa-i-prognoznnoj-analitiki>. – Дата доступа: 26.02.2026.

UDC 004.774:331.45

PREDICTIVE ANALYTICS IN PREVENTING ACCIDENTS AT ENTERPRISES

Kalugina V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Ilyasova M.S. – Master of Sci., assistant of the Department of EPE

Annotation. The article focuses on the application of predictive analytics to prevent accidents in industrial enterprises. It explores the technological foundations of this approach, including IIoT sensors, Big Data, and machine learning, as well as the role of digital twins in industries such as metallurgy, aviation, gas supply, and mechanical engineering.

Keywords: predictive analytics, industrial safety, machine learning, IIoT, digital twins, equipment monitoring