

**УДК 656.25**

Нурлыева М.Х., преподаватель

Государственный энергетический институт Туркменистана.

Nurlyyeva M.H., Lecturer

The State Energy Institute of Turkmenistan

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ (DIGITAL TWINS)  
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ  
ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ****APPLICATION OF DIGITAL TWINS FOR MODELING AND  
OPTIMIZATION OF INDUSTRIAL SAFETY SYSTEMS**

Промышленная безопасность остается критически важным элементом устойчивого развития предприятий в промышленно развитых регионах. Традиционные системы управления ПБ, основанные на периодических проверках, планово-предупредительных ремонтах (ППР) и статистическом анализе произошедших инцидентов, обладают существенным недостатком: они являются реактивными. Это означает, что меры принимаются после того, как риск реализовался, что не соответствует современным требованиям к безопасному взаимодействию человека со средой обитания.

Цель исследования – обосновать методологию применения технологии Цифрового Двойника (ЦД) для создания проактивной и динамической системы управления промышленной безопасностью, способной прогнозировать и предотвращать аварии на ОПО. Цифровой двойник определяется как виртуальная модель, которая, в отличие от обычной симуляции, синхронизирована в реальном времени с физическим объектом или процессом. Эта синхронизация достигается за счет Больших Данных, собираемых через сеть датчиков Интернета вещей (IoT) и обрабатываемых с помощью алгоритмов машинного обучения (ИИ). Наше исследование базируется на методе динамического риск-менеджмента, где ЦД используется для непрерывного пересчета индекса риска объекта. Методология включает:

Создание виртуальной реплики: Разработка трехмерной модели ОПО, интегрированной с инженерными данными (BIM).

Сбор и агрегация данных: Непрерывный поток данных с датчиков (температура, вибрация, давление) через IoT.

Предиктивный анализ: Применение ИИ для выявления скрытых корреляций и аномалий, которые предшествуют отказам оборудования.

Сценарное моделирование: Проведение виртуальных испытаний катастрофических событий для проверки устойчивости системы.

Результаты и обсуждение

### 1. Предиктивное управление техническим состоянием (PPR vs PdM)

Внедрение ЦД позволяет перейти от затратного Планово-предупредительного ремонта (ППР) к Предиктивному обслуживанию (PdM). ЦД анализирует фактическую нагрузку и степень износа, а не усредненные межремонтные интервалы. Пример: На основании данных вибрации и теплового режима ЦД прогнозирует, что подшипник компрессора достигнет критического уровня износа через 45 дней. Система автоматически генерирует предписание на ремонт, тогда как по графику ППР он должен был быть проведен только через 90 дней. Это снижает вероятность аварии до нуля и оптимизирует эксплуатационные расходы за счет исключения ненужных ремонтов.

### 2. Моделирование и оптимизация защитных систем

ЦД является незаменимым инструментом для идентификации опасностей техносферы и проверки эффективности мер защиты. В виртуальной среде можно смоделировать развитие пожара или взрыва, учитывая факторы вентиляции, температуры и наличие горючих материалов. Это позволяет инженерам оптимизировать расположение пожарных извещателей, автоматических систем тушения и определить наиболее безопасные пути эвакуации, которые могут быть не очевидны на статических чертежах.

### 3. Повышение профессиональной компетентности

Внедрение ЦД в учебный процесс имеет решающее значение для развития молодежи и формирования активной гражданской позиции. Использование ЦД в качестве виртуального тренажера позволяет персоналу:

Отрабатывать действия в ЧС в условиях, максимально приближенных к реальным (виртуальный аналог).

Изучать последствия ошибок без угрозы для жизни и оборудования.

Это напрямую способствует повышению компетентности работников в сфере безопасности труда и помогает выполнять цели по практическому участию в решении вопросов охраны труда.

Технология Цифровых Двойников представляет собой научно-обоснованный и практически применимый метод для достижения комплексной и непрерывной промышленной безопасности. Внедрение ЦД обеспечивает переход к проактивной модели управления рисками, что критически важно для комплексного освоения новых месторождений природных ресурсов и модернизации существующих промышленных комплексов. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на стандартизации требований к безопасности самих виртуальных двойников и их интеграции с общекорпоративными системами управления.

### **Список литературы**

1. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. White Paper, Florida Institute of Technology. 2014.
2. Цифровой двойник в промышленной безопасности / Краевский В. Ю., Раптунович О. М. // Электронные системы и технологии: сборник материалов 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 17–21 апреля 2023 г. – Минск: БГУИР, 2023.
3. Haliem S. et al. Human-Focused Digital Twin Applications for Occupational Safety and Health in Workplaces: A Brief Survey and Research Directions // Appl. Sci. 2023.
4. Towards Human Digital Twins to enhance workers' safety and production system resilience / M. Negri et al. // IFAC-PapersOnLine. 2023.