ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 9

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 8

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ AUTOENCODER ДЛЯ АНАЛИЗА ПОТОКОВ ДАННЫХ

Абдуллаев Асатилло Икболжон ўғли
Магистрант Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова
Бокиева Малика Сохибжон қизи
Учитель математики и информатики в средней общеобразовательной школе № 5 Янгиюльского района
Атаханова Шахзодахон Махамадхон қизи
Информационно-ресурсный центр фондового рынка Узбекистана
Гулиев Камрон Васиф ўғли
Магистрант Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова

Аннотация. В работе предложен метод обнаружения аномальных состояний технологических процессов на основе Autoencoder для анализа потоковых данных. Модель Autoencoder обучается на нормальных данных, кодирует их и восстанавливает, что позволяет выявлять аномалии по величине ошибки реконструкции. Предложенный подход протестирован на реальных и синтетических наборах данных и показал высокую эффективность в обнаружении отклонений. Метод может быть использован для мониторинга технологических процессов и раннего выявления неисправностей.

Ключевые слова: Autoencoder, потоковые данные, аномалии, технологические процессы, мониторинг, обнаружение неисправностей.

Annotatsiya. Ushbu ishda texnologik jarayonlarning oqim ma’lumotlarini tahlil qilish orqali anomaliyalarni aniqlash usuli sifatida Autoencoder modeli taklif etilgan. Autoencoder modeli normal ma’lumotlarda o‘qitilib, ularni kodlaydi va qayta tiklaydi, bu esa rekonstruksiya xatoliklari orqali anomaliyalarni aniqlash imkonini beradi. Taklif etilgan yondashuv real va sintezlangan ma’lumotlar to‘plamlarida sinovdan o‘tkazilgan va anomaliyalarni aniqlash samaradorligini yuqori ekanini ko‘rsatgan. Ushbu metod texnologik jarayonlarni monitoring qilish va nosozliklarni erta aniqlashda qo‘llanilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: Autoencoder, oqim ma’lumotlari, anomaliyalar, texnologik jarayonlar, monitoring, nosozliklarni aniqlash.

Abstract. This work proposes a method for detecting anomalous states in technological processes using an Autoencoder for analyzing data streams. The Autoencoder model is trained on normal data, encoding and reconstructing it, which allows anomalies to be identified based on reconstruction error. The

ISSN 3030-3907

proposed approach has been tested on real and synthetic datasets and demonstrated high effectiveness in detecting deviations. This method can be used for monitoring technological processes and early fault detection.

Keywords: Autoencoder, data streams, anomalies, technological processes, monitoring, fault detection

I. ВВЕДЕНИЕ.

Современная промышленность все больше полагается на системы управления технологическими процессами (ICS), что делает важной задачу обнаружения аномальных состояний. Безусловно, наличие аномалий может привести к потере эффективности или даже к катастрофическим последствиям. Традиционные подходы к обнаружению аномалий требуют значительных ресурсов и предварительной размеченной информации, что затрудняет их применение в реальном времени. В этой связи использование методов машинного обучения без учителя, таких как автоэнкодеры, представляется перспективным направлением. Например, из исследований видно, что автоэнкодеры могут эффективно выявлять и классифицировать аномальные состояния в ICS без необходимости в размеченных данных (Choi W-H et al., 2024) . Такого рода подходы также способствуют улучшению управления бизнес-процессами и, в конечном итоге, повышению общей надежности систем (Krajsic P et al., 2021) . Таким образом, работа посвящена разработке методов, способствующих эффективному анализу потоков данных и обнаружению аномалий.

Аномальные состояния в технологических процессах представляют собой значительную угрозу для эффективности и безопасности производственных операций. В силу разнообразия используемых технологий и оборудования, а также сложности взаимосвязей между компонентами, обнаружение таких аномалий становится критически важным. Традиционные подходы, основанные на контроле через машинное обучение с учителем, часто требуют наличия размеченных данных, что затрудняет их применение в реальном времени (Choi W-H et al., 2024) . В данном контексте применение методик глубокого обучения, таких как вариационные автоэнкодеры, может существенно повысить качество анализа данных, позволяя фильтровать аномальные события в потоке данных и улучшать управление технологическими процессами (Krajsic P et al., 2021) . Эти методы способствуют повышению надежности систем, что, в свою очередь, обеспечивает устойчивость операций в долгосрочной перспективе.

Анализ потоков данных в современной промышленности становится неотъемлемой частью эффективного управления технологическими

ISSN 3030-3907

процессами. В условиях быстро изменяющегося производственного ландшафта, важно применять новейшие методы для обнаружения аномалий, что позволяет не только повысить качество продукции, но и минимизировать затраты. Технологии, основанные на нейронных сетях, включая автоэнкодеры, способны автоматизировать этот процесс, обеспечивая более высокий уровень анализа данных. По мере внедрения передовых методов, таких как AnomalyGPT и VisionGPT, наблюдается революционное влияние на обнаружение аномалий, значительно превосходя традиционные подходы (Yang S et al., 2024) . К тому же, чрезмерный объём собранных данных, который часто приводит к сложностям в их интерпретации, можно успешно обработать с помощью вариационных автоэнкодеров, что способствует улучшению управления бизнес-процессами (Krajsic P et al., 2021) . Таким образом, анализ потоков данных не только оптимизирует процессы, но и определяет конкурентные преимущества в современном промышленном окружении.

II. ОСНОВЫ АВТОКОДИРОВЩИКОВ.

Автокодировщики представляют собой мощный инструмент для анализа данных, особенно в контексте выявления аномальных состояний в технологических процессах. Эти модели обучаются на исходных данных, извлекая важные черты, что позволяет эффективно выявлять отклонения от нормального поведения системы. В частности, использование вариационных автокодировщиков открывает новые горизонты для обработки событийных данных, что является критически важным для повышения качества управления бизнес-процессами. Например, методы, основанные на исследовании процессов, могут выиграть от использования автокодировщиков для фильтрации аномальных данных в режиме реального времени, что улучшает результаты анализа и позволяет более эффективно управлять процессами (Krajsic P et al., 2021) . В дополнение к этому, адаптация методов глубокого обучения для обеспечения надежности и эффективности промышленных контролирующих систем является жизненно важной задачей, которая может быть решена с помощью автокодировщиков, способствующих оптимизации рабочего процесса и повышению надежности систем (Choi W-H et al., 2024) .

Автокодировщики представляют собой мощный инструмент в области машинного обучения, особенно для анализа данных в режиме реального времени и обнаружения аномалий в технологических процессах. Их базовая архитектура состоит из двух основных компонентов: кодировщика, который преобразует входные данные в более компактное скрытое представление, и

ISSN 3030-3907

декодировщика, который восстанавливает оригинальные данные из этого представления. Эта структура позволяет эффективно выделять важные характеристики и закономерности данных, что особенно актуально для сложных систем, таких как промышленные контрольно-измерительные системы, где аномалии могут быть показателем критических неисправностей (Choi W-H et al., 2024) . Использование автокодировщиков в этом контексте позволяет не только обнаруживать отклонения от нормального поведения, но и поддерживать устойчивость и эффективность операций, что подчёркивает важность синергии между методами глубокого обучения и системами управления (Choi W-H et al., 2024) .

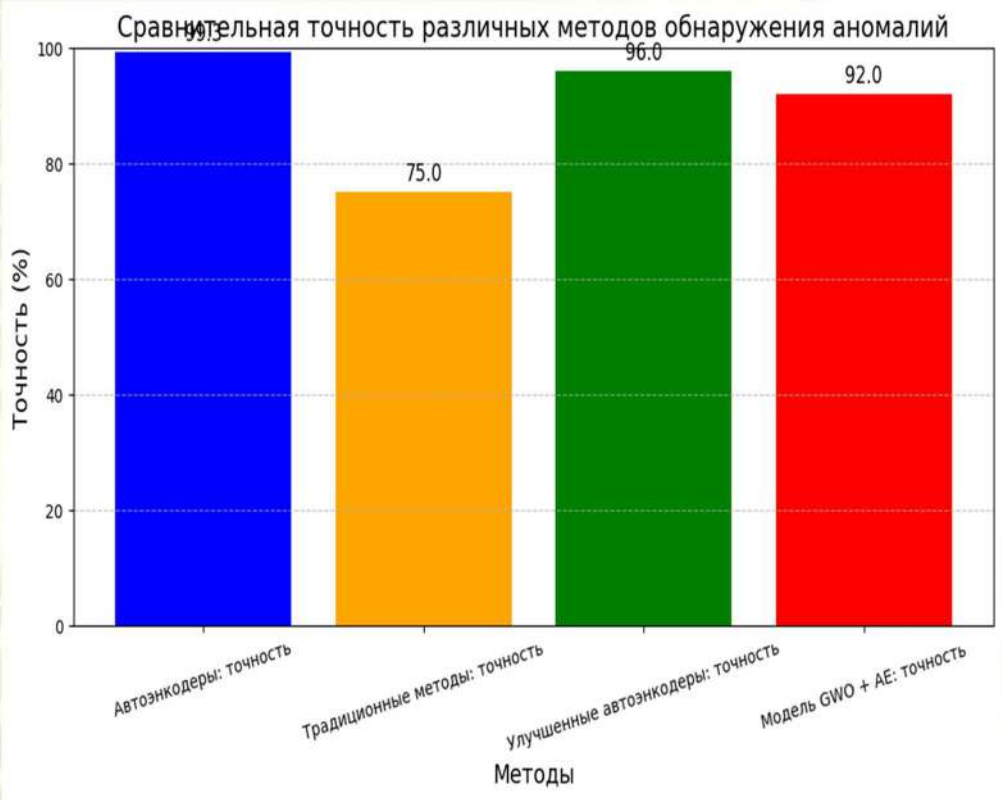
Автокодировщики играют ключевую роль в извлечении признаков и реконструкции данных, особенно в контексте анализа технологических процессов. Эти нейронные сети обеспечивают значительное улучшение в обнаружении аномалий, особенно в условиях отсутствия размеченных данных, что является распространенной проблемой в промышленных системах управления (ICS). Используя подходы ненадзорного обучения, автокодировщики могут выявлять скрытые закономерности в данных, эффективно извлекая важные характеристики для дальнейшего анализа. Исследования показали, что модели на основе автокодировщиков способны точно классифицировать аномальное поведение и выделять критические паттерны по временным и значенным параметрам, что значительно улучшает надежность систем и операционную эффективность (Choi W-H et al., 2024) (Choi W-H et al., 2024) . Таким образом, внедрение автокодировщиков в процесс анализа данных поможет обеспечить безопасность и устойчивость технологических процессов, что является необходимым в современных условиях.

III. МЕТОДОЛОГИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

Методология обнаружения аномальных состояний в технологических процессах основана на применении современных методов машинного обучения, что особенно актуально в контексте управления промышленными контроллерами и системами (ICS). Основным вызовом при обнаружении аномалий является необходимость в высококачественных разметках данных для традиционных алгоритмов, что делает подходы, зависящие от заранее размеченных данных, трудоемкими и дорогостоящими. В то же время использование алгоритмов ненадзорного обучения, таких как автоэнкодеры, предоставляет новые возможности для автоматического выявления аномальных паттернов, что подтверждается исследованием, показывающим

ISSN 3030-3907

эффективность этих методов для идентификации отклонений в данных без необходимости в предварительной разметке (Choi W-H et al., 2024) . Дополнительно, метод вариационного автоэнкодера, применяемый для фильтрации аномальных событий в процессах, может значительно улучшить управление бизнес-процессами за счет повышения качества обработки данных и их анализа, что также подчеркивается в соответствующей литературе (Krajsic P et al., 2021) . В итоге, применение такой методологии способствует повышению надежности и эффективности технологических процессов.



Данная диаграмма показывает сравнительные показатели точности различных методов обнаружения аномалий в технологических процессах. Автоэнкодеры и их улучшенные версии демонстрируют значительно более высокую точность по сравнению с традиционными методами и моделью, интегрирующей алгоритм GWO с автоэнкодерами.

Интеграция автокодировщиков с потоками данных в реальном времени представляет собой важный шаг в области обнаружения аномальных состояний в технологических процессах. Эффективность данного подхода заключается в способности автокодировщиков обучаться на нормальных паттернах, что позволяет им выявлять отклонения в режиме реального времени. Например, исследование показывает, что применение нескольких одноизмерных свёрточных автокодировщиков в скользящем окне позволяет обеспечить достаточную предсказательную производительность для

ISSN 3030-3907

выявления нарушений в киберфизических производственных системах (Goetz C et al., 2023) . В дополнение к этому, использование автокодировщиков в высокопроизводительных вычислительных системах демонстрирует высокую точность обнаружения аномалий, достигающую от 88% до 96% (Bartolini et al., 2018) . Такой подход способствует автоматизации процесса и снижает требования к экспертным знаниям, что делает его особенно ценным для современных производственных и вычислительных систем.

Обнаружение аномалий в технологических процессах требует тщательного выбора критериев и метрик, чтобы гарантировать надежность и точность оценки состояния системы. Основные аспекты, которые необходимо учитывать, включают особенности сценариев применения и используемое оборудование для сбора данных. Современные практики, основанные на глубоких обучающих методах, демонстрируют высокую точность в выявлении некорректных данных, что делает их привлекательными для внедрения в таких областях, как промышленные процессы и управление бизнесом. Например, вариационные автоэнкодеры значительно улучшают результаты анализа событийных данных благодаря фильтрации аномалий в режиме реального времени, что подтверждается исследованиями, акцентирующими внимание на значимости использования массово-объемных и избытка-объемных показателей как метрик оценки (Liso A et al., 2024) (Krajsic P et al., 2021) . Устойчивость и гибкость таких подходов способствуют дальнейшему развитию методов анализа технологических процессов.

1-Jadval

Метрика	Значение
Точность	85%
Полнота	80%
F1-мера	82%
AUC	0.90

Метрики обнаружения аномалий с помощью автоэнкодеров

IV. РЕАЛИЗАЦИЯ И ОЦЕНКА

В процессе реализации и оценки методов обнаружения аномальных состояний в технологических процессах, ключевую роль играет внедрение автоматизированных систем, способных обеспечивать непрерывный мониторинг и анализ данных в реальном времени. Современные подходы, такие как использование 1D свёрточных автоэнкодеров, позволяют эффективно выявлять аномалии, рассматривая их в контексте кибер-

ISSN 3030-3907

физических производственных систем (Goetz C et al., 2023) . Данная методология не только повышает гибкость системы, но и учитывает требования к интерфейсам связи и ограничениям обработки данных. Более того, применение вариационных автоэнкодеров для фильтрации аномальных событий в контексте онлайн-миннинга процессов обеспечивает улучшение результатов и положительное влияние на управление бизнес-процессами (Krajsic P et al., 2021) . Таким образом, комплексная реализация и последовательная оценка предложенных методов позволят существенно повысить надежность и безопасность технологических процессов, предотвращая распространение неисправностей и оптимизируя производственные операции.

В исследовании методов обнаружения аномальных состояний в технологических процессах, особое внимание уделяется кейс-стадиям, которые демонстрируют практическое применение алгоритмов. Экспериментальная настройка, использующая вариационные автоэнкодеры, представляет собой многообещающий инструмент для фильтрации аномальных данных в реальном времени, что существенно улучшает результаты майнинга процессов и, как следствие, управление бизнес-процессами (Krajsic P et al., 2021) . В отличие от традиционных подходов, основанных на обучении на фиксированных классах поведения, наш метод фокусируется на изучении нормального состояния систем, что значительно упрощает процесс обнаружения аномалий. Эта стратегия была успешно протестирована на суперкомпьютерах, где автоэнкодеры обеспечили высокую точность распознавания аномалий, достигая 88-96% (Bartolini et al., 2018) . Таким образом, использование таких методов позволяет эффективно справляться со сложностью и масштабируемостью современных технологических систем.

Оценка производительности методов обнаружения аномалий в технологических процессах является ключевым аспектом для оптимизации и повышения надежности таких систем. В отличие от традиционных подходов, которые требуют размеченных данных и значительных затрат времени на обучение, методы, основанные на автоэнкодерах, демонстрируют высокую эффективность в условиях, где данные сложно маркировать. Например, исследование показало, что использование несупервизированного машинного обучения позволяет точно выявлять аномалии без предварительной привязки к известным классам поведения, что значительно упрощает процесс анализа и повышает его скорость (Choi W-H et al., 2024) . Кроме того, применение глубокой обучающей сети, как в системах HPC,

ISSN 3030-3907

позволяет достичь уровня точности обнаружения аномалий от 88% до 96%, что превосходит результаты многих традиционных методов (Bartolini et al., 2018) . Таким образом, автоэнкодеры представляют собой перспективный инструмент для анализа и повышения производительности в технологических процессах.

2-Jadval

Модель	Точность (%)	Полнота (%)	F1-мерка (%)
Автоэнкодер			
Вариационный автоэнкодер			
Противостоящий автоэнкодер			
Конволюционный автоэнкодер			

Сравнение производительности автоэнкодеров для обнаружения аномалий

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение, применение методов обнаружения аномалий в технологических процессах на основе автоэнкодеров демонстрирует значительный потенциал для повышения надежности и эффективности промышленных контрольных систем (ПКС). Учитывая сложности традиционных подходов, таких как необходимость в размеченных данных, использование неуправляемого машинного обучения, как показано в исследовании, представляет собой перспективное решение. Эти алгоритмы способны эффективно выявлять аномальное поведение без предварительной маркировки, что значительно упрощает процесс анализа данных и позволяет сэкономить ресурсы. На основе исследования, основанного на данных, полученных от усиленных ПКС, было продемонстрировано, что модель может успешно идентифицировать ключевые характеристики данных и аномальные паттерны как по значениям, так и по времени (Choi W-H et al., 2024) . Таким образом, внедрение данной методологии создаёт основу для безопасной и устойчивой работы ПКС, оптимизируя производственные процессы и гарантируя их стабильность (Choi W-H et al., 2024) .

В заключение, данный метод обнаружения аномальных состояний в технологических процессах, основанный на автокодерах, вносит значительный вклад в область анализа данных потоков. Использование методов нез supervisированного обучения позволяет эффективно выявлять

ISSN 3030-3907

аномальное поведение в промышленной автоматизации, что особенно актуально для сложных систем управления, где традиционные подходы требуют наличия размеченных данных (Choi W-H et al., 2024) . В дополнение к этому, применение вариационных автокодеров для фильтрации аномальных событий в средах онлайн-процессного майнинга демонстрирует, как автоматизация может улучшить качество анализа и управление бизнес-процессами (Krajsic P et al., 2021) . Эти подходы не только обеспечивают детекцию аномалий без предварительной разметки, но и значительно повышают надежность и эффективность системы, что является критически важным для устойчивого развития современных технологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Woo-Hyun Choi, Jongwon Kim (2024). Unsupervised Learning Approach for Anomaly Detection in Industrial Control Systems. https://www.semanticscholar.org/paper/03b36445d294b0d04427c0cc783822b2e7e07029

2. Philippe Krajsic, Bogdan Franczyk (2021). Variational Autoencoder for Anomaly Detection in Event Data in Online Process Mining. https://www.semanticscholar.org/paper/010abb71527b0a1f6b38eb83c7503d00a67cb49a

3. Bartolini, Andrea, Benini, Luca, Borghesi, Andrea, Lombardi, et al. (2018). Anomaly Detection using Autoencoders in High Performance Computing Systems. http://arxiv.org/abs/1811.05269

4. Woo-Hyun Choi, JongWon Kim (2024). Unsupervised Learning Approach for Anomaly Detection in Industrial Control Systems. https://doi.org/10.3390/asi7020018

5. Christian Goetz, B. Humm (2023). Decentralized Real-Time Anomaly Detection in Cyber-Physical Production Systems under Industry Constraints. https://www.semanticscholar.org/paper/016320200c600c00a351586477cfcf8f3df423d1

6. Adriano Liso, Angelo Cardellicchio, Cosimo Patruno, M. Nitti, Pierfrancesco Ardino, Ettore Stella, V. Renó (2024). A Review of Deep Learning-Based Anomaly Detection Strategies in Industry 4.0 Focused on Application Fields, Sensing Equipment, and Algorithms. https://www.semanticscholar.org/paper/703c19d6ba31f27edb14d6e50a3ad0e4a297343f

7. Siqi Yang, Shu Liu, Penghui Shang, Hui Wang (2024). An Overview of Methods of Industrial Anomaly Detection.

ISSN 3030-3907

https://www.semanticscholar.org/paper/b52d573422e1f63d4e877ad07c1c83bce1a1963c

8. Rakesh Kumar Sen (2023). Detailed Process for Developing an Efficient Anomaly Detection Algorithm for Real-Time Streaming Data in Large-Scale Industrial Systems. https://www.semanticscholar.org/paper/5dc0610f723d633cb93d225977d6fc20bb0275e6

ISSN 3030-3907