

# Обзор решений на основе искусственного интеллекта в сфере SCADA-систем

В. В. Самарский, Е.М. Евсина

*Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Россия*

**Аннотация** - в статье рассмотрены современные тенденции развития SCADA-систем в условиях роста объема данных и усложнения промышленных процессов. Изучены причины и оценены результаты перехода от реактивного к предиктивному управлению за счет интеграции искусственного интеллекта (ИИ) в системы мониторинга и контроля. На примере отечественных и международных компаний было рассмотрено разнообразие решаемых задач с помощью ИИ в сфере диспетчерского управления и как именно эти алгоритмы позволяют прогнозировать аварии, сокращать время восстановления и оптимизировать издержки на обслуживание.

**Ключевые слова** – искусственный интеллект, предиктивное управление, промышленная автоматизация, диспетчерское управление.

## I. ВВЕДЕНИЕ

В современном мире стремительное развитие технологий оказывает значительное влияние на все сферы деятельности, включая управление и мониторинг объектов, в частности SCADA-системы (англ. Supervisory Control and Data Acquisition — системы диспетчерского управления и сбора данных). Мировой рынок SCADA-систем в 2022 оценивался в 13,56 млрд долларов США, и, как ожидается, достигнет 20,85 млрд долларов США к 2029 году (с ежегодным темпом прироста в 6,4 %) [1].

В последние годы российский рынок SCADA-систем характеризовался высокой динамикой роста, в особенности в годы после пандемии. Согласно оценке [2] рынок SCADA в России развивается опережающими темпами – на 17,4 % в год в рублях и на 4,4 % в год в натуральном выражении. Всего за период 2019-2024 года стоимостный объем российского рынка систем управления вырос на 53,3 % в долларовом выражении, что связывают с быстрорастущими темпами информатизации технологических производств и возникающей потребностью населения в автоматизации процессов, критичных к влиянию человеческого фактора. Таким образом, SCADA-системы необходимы для организации сбора данных в реальном времени, мониторинга и автоматизации процессов в промышленности.

Российский рынок формируется в основном за счет отечественных поставок программного обеспечения. Отечественные производители поставляют почти полную стоимость объема систем, при этом доминирование отечественного ПО над зарубежным наблюдалось еще в 2019 году (Рис. 1).

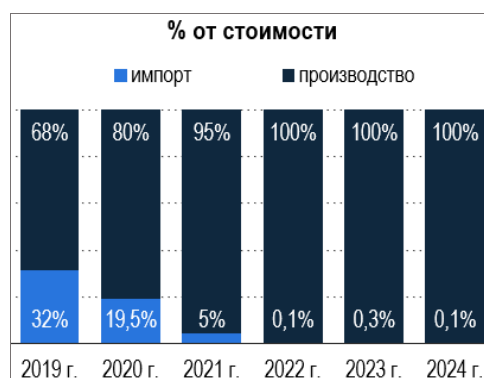


Рис. 1. Статистика закупки отечественного ПО (2019-2024 г.)

Основываясь на структуре рынка SCADA-систем в разрезе сравнения импорта и производства, основной объем используемых в стране систем производится в Германии (Рис 2).

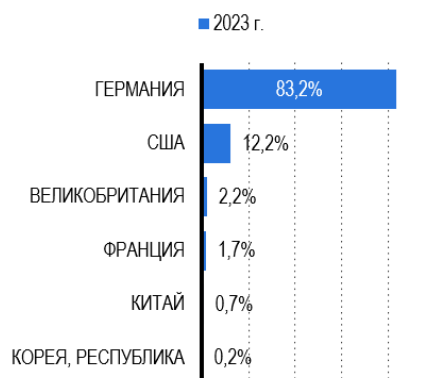


Рис. 2. Сравнение импорта SCADA-систем (2023 г.)

Российскому рынку немецкими производителями в наибольшей степени поставлялись SCADA-системы компании «Siemens», среди американских производителей – компания «Iconics», французских – «Schneider Electric».

По состоянию на конец 2023 года Фондом содействия инновациям и Министерством цифрового развития РФ

выданы 839 грантов на развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) в SCADA-системах [3, 4]. Также существуют региональные программы, учрежденные крупными городами нашей страны по внедрению ИИ-алгоритмов для анализа данных датчиков в различных сферах.

## II. ОБЗОР РЕШЕНИЙ

Исследуемый тип систем традиционно используется для мониторинга и управления технологическими процессами в различных сферах: электроэнергетики, транспортных системах, в системах водоснабжения, промышленности и сельском хозяйстве. Однако ежегодный прирост объема данных, требований к бесперебойному предоставлению услуг и нарастающей технологической сложности оборудования требует перехода от реактивного к предиктивному управлению (от устранения аварийных ситуаций до их предотвращения). Внедрение искусственного интеллекта в программное обеспечение систем управления и контроля позволит: автоматизировать работу с Bigdata в режиме реального времени и, что важнее, прогнозировать аварии до их возникновения. Уже сегодня повсеместно внедряются умные системы анализа и диагностики оборудования, цель которых – повысить надежность и снизить время простоя. Ниже будут рассмотрены несколько примеров успешного опыта внедрения искусственного интеллекта в системы SCADA.

### *А. Электросетевой сектор*

Примером является опыт одного из электросетевых холдингов АО «Янтарьэнерго» по решению проблемы прогнозирования перегрузок в электросетях с помощью ИИ [5].

АО «Янтарьэнерго» является одним из крупнейших операторов электросетей по всей России, и холдинг столкнулся со следующими проблемами: аварийное отключение оборудования из-за перегрузок подстанций (чаще всего в пиковые часы), ручной анализ полученных данных (операторы попросту не успевали обрабатывать информацию в реальном времени), постоянный рост энергопотребления.

Оператор прибегнул к искусственному интеллекту для решения своих проблем, а именно: графовые нейросети анализируют топологию сети и делают прогноз загрузки линий на некоторое время вперед), ансамбль моделей (для обработки исторических данных и временных рядов), интеграция с отечественной SCADA-системой СК-11 (сбор данных с датчиков).

Таким образом, среднее время восстановления электроснабжения потребителей снизилось с пяти с половиной часов до одного часа, потери электроэнергии в три раза, снизилось и число обесточенных подстанций. Также, благодаря

автоматическим переключениям, время локализации проблемы сократилось с полутора часов до одной минуты.

### *В. Нефтегазовый сектор*

Другим примером является реализация системы обнаружения утечек в трубопроводах с помощью ИИ компанией «Транснефть».

Нефтекомпания, управляющая одной из крупнейших в мире сетей нефтепроводов (более 70 тыс. км), ежедневно сталкивается с рисками:

- утечки нефтепродуктов из-за коррозии, механических повреждений или ошибок эксплуатации;
- ложных срабатываний систем (например, акустических датчиков);
- задержек в обнаружении аварий (традиционные методы выявляют утечку/поломку в течение 2-6 часов, что ведет к экологическим и финансовым потерям для компании).

Для решения вышеописанных проблем, оператор обратился к программному комплексу «Сириус-СППР», разработанному российской компанией ООО «НПА Вира Реалтайм» [6]. Расчетный модуль осуществляет обнаружение утечки по технологическим параметрам подкачки (например, давление или температура перекачиваемого продукта) в режиме реального времени и использует четыре пассивных метода постоянного контроля:

- метод анализа профиля давления;
- метод материального баланса;
- метод расход-давление;
- метод волны давления.

Рассчитанные результаты места и факта утечки выводятся на рабочем месте оператора и (опционально) передаются в другие сторонние/внешние системы.

Таким образом, программный продукт допускает порог обнаружения утечки 0,1 % с точностью до 300 метров (в стационарном режиме), порог – от 5 % с точностью до 1000 метров (в нестационарном режиме).

ПАО «НК Роснефть» осуществила внедрение ИИ в SCADA-системы на Ванкорском месторождении [7,8].

Как известно, Ванкорское месторождение (Красноярский край) является одним из крупнейших в России с добычей от 25 млн тонн нефти в год. Инженеры, работающие там, ежедневно сталкиваются с рядом проблем: высокий процент незапланированных простоев работы из-за отказов насосного оборудования, ложные срабатывания систем мониторинга, высокие затраты на ремонт.

Компания выделила для себя перечень угроз в области устойчивого развития и внедрила систему управления рисками и внутреннего контроля (СУРиБК), включающая в себя SCADA-систему для сбора данных с датчиков и ИИ-модели (прогноз отказов, анализ аномалий и оптимизация работы).

Таким образом, результатом внедрения на 2023 год является снижение затрат на ремонт насосного оборудования, увеличение межремонтного интервала, увеличение точности прогноза отказов, сокращение ложных срабатываний системы, дополнительно – уменьшение аварийных ситуаций (например, разливов нефти).

### С. Промышленный сектор

Существует примеры международного опыта по эффективному внедрению искусственного интеллекта в системы прогнозирования: компания «Siemens» успешно использует систему собственной разработки «Senseye Predictive Maintenance» для эффективного прогнозирования отказов промышленного оборудования на базе SCADA-систем.

«Siemens Digital Industries» столкнулась с растущими затратами на обслуживание промышленного оборудования из-за частых незапланированных простоев. Так, например, дочерняя компания «Siemens Gamesa» ежедневно сталкивается с проблемой планирования обслуживания для ветрогенераторов. Связано это с особенностями износа оборудования, которое является динамическим и зависит от множества внешних факторов [9,10]. Лопасти и генераторы изнашиваются неравномерно с течением времени из-за погодных условий, что осложняет обслуживание подобных систем.

Традиционные SCADA-системы фиксировали параметры работы машин (температура, вибрация, энергопотребление), но не могли прогнозировать отказы. Операторы тратили часы на ручной анализ данных, а ложные срабатывания датчиков усложняли планирование ремонтов.

Необходимость перехода от реактивного подхода («ремонт после поломки») к предиктивному управлению. Рост объема данных с датчиков (до 1 ТБ в сутки на крупном предприятии) сделал ручной анализ неэффективным. Кроме того, ужесточение экологических норм и требований к безопасности требовало минимизировать риски аварий, связанных с внезапным выходом оборудования из строя.

Компания «Siemens» интегрировала платформу «Senseye Predictive Maintenance» с SCADA-системами. Принцип её работы заключается в следующем: ИИ-алгоритмы анализируют данные в реальном времени, выявляя аномалии в работе узлов (например, рост вибрации подшипников) и прогнозируют остаточный ресурс компонентов. Это позволило сократить незапланированные простои на 30–40 %, увеличить срок службы оборудования на 20 % и снизить общие затраты на ремонт [11].

## III. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переход к предиктивному управлению стал ключевым трендом в развитии SCADA-систем.

Интеграция искусственного интеллекта позволяет не только фиксировать аномалии в режиме реального времени, но и прогнозировать аварии за счет анализа больших данных. Результаты внедрения ИИ-алгоритмов в компаниях «Янтарьэнерго», «Транснефть» и «Siemens» подтверждают снижение незапланированных простоев на 30–40 %, а также сокращение времени восстановления систем до 1 часа.

Экономическая эффективность решений на базе SCADA с ИИ проявляется в оптимизации затрат на обслуживание. Например, в нефтегазовом секторе точность обнаружения утечек повысилась до 0,1 %, что минимизирует экологические и финансовые риски. В энергетике снижение потерь электроэнергии в 3 раза демонстрирует потенциал технологий для устойчивого развития отраслей. В отдельных случаях [12] снижение времени, затрачиваемого на обслуживание, достигает 75 % благодаря внедрению предиктивного обслуживания, а автоматизация достигает 90 %.

Внедрение искусственного интеллекта в SCADA-системы сталкивается с рядом своих проблем [13]. Возрастают требования к программно-аппаратным средствам, связанными с хранением и обработкой данных. Должны быть разработаны эффективные способы хранения и обработки большого набора данных. К тому же, многие компании всё еще используют устаревшее оборудование, интеграция которых может стоить значительных затрат. Всё это накладывает ряд ограничений и замедляет темпы роста интеграций ИИ решений в системы SCADA.

Однако успешные примеры внедрения систем предиктивной аналитики на базе ИИ в международных и отечественных компаниях демонстрируют значительный потенциал в оптимизации автоматизированных процессов и сокращении издержек. Подобные системы трансформируют подходы к управлению технологическими процессами, делая их более устойчивыми и экономически эффективными. Дальнейшее развитие этого направления и усиление сотрудничества между государством, бизнесом и научным сообществом позволит российским решениям не только укреплять позиции внутри страны, но и успешно конкурировать на международном рынке.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Maximize Market Research. Global SCADA Market Report 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-scada-market/27135/> (дата обращения: 28.04.2025).
- [2] Исследование рынка SCADA-систем [Электронный ресурс]: <https://research-center.ru/issledovanie-rynka-scada-sistem/> (дата обращения: 14.04.2025).
- [3] Отчет о состоянии ИИ за 2023 год / State of AI. Global. 2023 recap [Электронный ресурс]. URL: [https://ai.gov.ru/knowledgebase/obrazovanie-i-kadry/2024\\_otchet\\_o\\_sostoyanii\\_ii\\_za\\_2023\\_god\\_state\\_of\\_ai\\_global\\_2023\\_recap\\_cb\\_insights/](https://ai.gov.ru/knowledgebase/obrazovanie-i-kadry/2024_otchet_o_sostoyanii_ii_za_2023_god_state_of_ai_global_2023_recap_cb_insights/) (дата обращения: 29.04.2025).

- [4] Искусственный интеллект (рынок России) [Электронный ресурс]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный\\_интеллект\\_\(рынок\\_России\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_(рынок_России)) (дата обращения: 10.11.2024).
- [5] Внедрение SCADA в энергетике [Электронный ресурс] // Россети Янтарь. – URL: <https://rosseti-yantar.ru/press/22889/> (дата обращения: 09.05.2025).
- [6] Контроль утечек из магистральных трубопроводов / Программный комплекс «Сириус-СППР» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cta.ru/articles/cta/obzory/tehnologii/181469/> (дата обращения: 02.04.2025).
- [7] Отчет об устойчивом развитии «Роснефть» 2023 [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rosneft.ru/upload/site1/document\\_file/Rosneft\\_CSR\\_2023\\_RUS.pdf](https://www.rosneft.ru/upload/site1/document_file/Rosneft_CSR_2023_RUS.pdf) (дата обращения: 08.03.2025).
- [8] Технические стандарты «Роснефть» [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rosneft.ru/upload/site1/document\\_file/P4-05\\_P-01.pdf](https://www.rosneft.ru/upload/site1/document_file/P4-05_P-01.pdf) (дата обращения: 08.03.2025).
- [9] Siemens Gamesa Renewable Energy: AI and Cloud Solutions [Электронный ресурс] // Microsoft News. URL: <https://news.microsoft.com/source/features/digital-transformation/siemens-gamesa-renewable-energy-wind-power-ai-cloud/> (дата обращения: 16.05.2025).
- [10] Siemens Gamesa Scales New Heights in Predictive Maintenance for Blades [Электронный ресурс] // Windpower Monthly. URL: <https://www.windpowermonthly.com/article/1717300/siemens-gamesa-scales-new-heights-predictive-maintenance-blades> (дата обращения: 16.06.2026).
- [11] Senseye Predictive Maintenance Cloud Application [Электронный ресурс] // Siemens. URL: <https://www.siemens.com/global/en/products/services/digital-enterprise-services/analytics-artificial-intelligence-services/senseye-predictive-maintenance/senseye-cloud-application.html> (дата обращения: 17.05.2025).
- [12] Критический обзор SCADA и PLC в интеллектуальных зданиях и энергетическом секторе [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484724004670> (дата обращения 10.05.2025)
- [13] Faraj J. Leveraging SCADA for Predictive Maintenance in Industrial Automation [Электронный ресурс] // LinkedIn. – URL: <https://www.linkedin.com/pulse/leveraging-scada-predictive-maintenance-industrial-automation-faraj-jhouf/> (дата обращения: 17.05.2025).

#### Информация об авторах

Евсина Елена Михайловна, к.т.н., доцент, кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» Астраханского государственного технического университета, г. Астрахань, Россия, [alena.evsina@yandex.ru](mailto:alena.evsina@yandex.ru)

Самарский Владислав Валерьевич, магистрант кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» Астраханского государственного технического университета, г. Астрахань, Россия, [v.samarsky97@gmail.com](mailto:v.samarsky97@gmail.com)

## Integration of Artificial Intelligence into SCADA Systems: Transition from Reactive to Predictive Control

Vladislav Samarskiy, Elena Evsina

*Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia*

**Abstract** – the article examines current trends in SCADA system development amid increasing data volumes and growing complexity of industrial processes. It investigates the rationale for and evaluates the outcomes of transitioning from reactive to predictive control through the integration of artificial intelligence (AI) into monitoring and control systems. Using case studies from both domestic and international companies, the study explores the diverse range of applications for AI in supervisory control systems, demonstrating how these algorithms enable failure prediction, reduce recovery time, and optimize maintenance costs.

**Keywords** – artificial intelligence, predictive maintenance, industrial automation, supervisory control.

#### References

- [1] Maximize Market Research. Global SCADA Market Report 2023 [Online]. URL: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-scada-market/27135/> (accessed: 28.04.2025).
- [2] SCADA Systems Market Research [Online]: <https://research-center.ru/issledovanie-rynka-scada-sistem/> (accessed: 14.04.2025).
- [3] 2023 State of AI Report / State of AI. Global. 2023 Recap [Online]. URL: [https://ai.gov.ru/knowledgebase/obrazovanie-i-kadry/2024\\_otchet\\_o\\_sostoyanii\\_ii\\_za\\_2023\\_god\\_state\\_of\\_ai\\_global\\_2023\\_recap\\_cb\\_insights/](https://ai.gov.ru/knowledgebase/obrazovanie-i-kadry/2024_otchet_o_sostoyanii_ii_za_2023_god_state_of_ai_global_2023_recap_cb_insights/) (accessed: 29.04.2025).
- [4] Artificial Intelligence (Russian Market) [Online]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный\\_интеллект\\_\(рынок\\_России\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Искусственный_интеллект_(рынок_России)) (accessed: 10.11.2024).
- [5] SCADA Implementation in Energy Sector [Online] // RossetiYantar. – URL: <https://rosseti-yantar.ru/press/22889/> (accessed: 09.05.2025).
- [6] Pipeline Leak Detection / "Sirius-SPPR" Software System [Online]. URL: <https://www.cta.ru/articles/cta/obzory/tehnologii/181469/> (accessed: 02.04.2025).
- [7] Rosneft Sustainability Report 2023 [Online]. URL: [https://www.rosneft.ru/upload/site1/document\\_file/Rosneft\\_CSR\\_2023\\_RUS.pdf](https://www.rosneft.ru/upload/site1/document_file/Rosneft_CSR_2023_RUS.pdf) (accessed: 08.03.2025).
- [8] Rosneft Technical Standards [Online]. URL: [https://www.rosneft.ru/upload/site1/document\\_file/P4-05\\_P-01.pdf](https://www.rosneft.ru/upload/site1/document_file/P4-05_P-01.pdf) (accessed: 08.03.2025).
- [9] Siemens Gamesa Renewable Energy: AI and Cloud Solutions [Online] // Microsoft News. URL: <https://news.microsoft.com/source/features/digital-transformation/siemens-gamesa-renewable-energy-wind-power-ai-cloud/> (accessed: 16.05.2025).
- [10] Siemens Gamesa Scales New Heights in Predictive Maintenance for Blades [Online] // Windpower Monthly. URL: <https://www.windpowermonthly.com/article/1717300/siemens-gamesa-scales-new-heights-predictive-maintenance-blades> (accessed: 16.06.2026).
- [11] Senseye Predictive Maintenance Cloud Application [Online] // Siemens. URL: <https://www.siemens.com/global/en/products/services/digital-enterprise-services/analytics-artificial-intelligence-services/senseye-predictive-maintenance/senseye-cloud-application.html> (accessed: 17.05.2025).
- [12] Critical review Of SCADA And PLC in smart buildings and energy sector [Online]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484724004670> (accessed 10.05.2025)
- [13] Faraj J. Leveraging SCADA for Predictive Maintenance in Industrial Automation [Online] // LinkedIn. – URL: <https://www.linkedin.com/pulse/leveraging-scada-predictive-maintenance-industrial-automation-faraj-jhouf/> (accessed: 17.05.2025).