

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ КОМПАНИЙ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ПРЕДИКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ И BIG DATA ANALYTICS

DEVELOPMENT OF THE ARCHITECTURE OF AN INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM FOR STATE-OWNED COMPANIES BASED ON THE INTEGRATION OF PREDICTIVE MODELS AND BIG DATA ANALYTICS

**D. Mishin
S. Kurovsky
A. Trunkin**

Summary. This article highlights the relevance of automating data analysis and forecasting in large organizational and technical systems of state-owned companies. It addresses the scientific and technical challenge of designing the architecture of a software and analytical complex—an intelligent decision support system for state-owned companies based on the integration of predictive models and Big Data Analytics. It also examines the systemic integration of machine learning methods and big data processing platforms for automating predictive and analytical functions in state-level organizational and technical systems.

Keywords: intelligent system architecture; government agencies; decision support system; predictive model integration; big data analysis methods; automation of functions; forecasting.

Мишин Денис Александрович

Руководитель редакционно-издательского отдела
ООО «Высшая Школа Образования»
9651530@gmail.com

Куровский Станислав Валерьевич

Руководитель научно-исследовательского
подразделения ООО «Высшая Школа Образования»,
8917564@gmail.com

Трунькин Андрей Николаевич

Аспирант, РАНХиГС
andrei.trunkin@yandex.ru

Аннотация. В данной статье обозначена актуальность проблемы автоматизации анализа данных и прогнозирования в крупных организационно-технических системах государственных компаний, решается научно-техническая задача проектирования архитектуры программно-аналитического комплекса — интеллектуальной системы поддержки принятия решений для государственных компаний на основе интеграции предиктивных моделей и Big Data Analytics. Рассматриваются вопросы системной интеграции методов машинного обучения и платформ обработки больших данных для автоматизации прогнозно-аналитических функций в организационно-технических системах государственного уровня.

Ключевые слова: архитектура интеллектуальной системы, государственные компании, система поддержки принятия решений, интеграция предиктивных моделей, методы анализа больших данных, автоматизация функций, прогнозирование.

Введение

В контексте современной цифровой трансформации актуальность проблемы автоматизации анализа данных и прогнозирования в крупных организационно-технических системах государственных компаний обусловлена комплексом взаимосвязанных факторов технического, экономического и социального характера, а именно:

1. Государственные компании, функционирующие в таких сферах, как энергетика, транспорт, жилищно-коммунальное хозяйство, в процессе своей деятельности формирует значительные массивы структурированных и неструктурированных данных, используя системы телеметрии, SCADA-системы, IoT-устройства, клиентские приложения. При этом ручная обработка таких массивов ин-

формации становится технически и экономически нецелесообразной [5–7].

2. Современные производственные и инфраструктурные комплексы представляют собой сложные киберфизические системы с нелинейной динамикой параметров и значительным количеством концептуальных взаимосвязей между переменными [1]. Оперативное прогнозирование их состояния и предотвращение аварийных ситуаций при осуществлении производственно-технологических процессов предполагает практическое применение предиктивных моделей, основанных на методах машинного обучения и интеллектуального анализа данных.
3. Автоматизированные системы прогнозирования нагрузок, износа оборудования и киберугроз производственно-технологических систем позволяют

перейти от реактивного к проактивному управлению, минимизируя риски масштабных сбоев государственных информационных систем [8], [10].

4. Формализация и алгоритмизация процессов анализа данных обеспечивают объективную базу для долгосрочного планирования развития инфраструктуры и инвестиционных программ, минимизируя воздействие субъективного человеческого фактора [2–4].
5. Разработка и внедрение отечественных программно-аналитических комплексов для государственных компаний соответствует стратегическим задачам импортозамещения и обеспечения национальной безопасности, особенно это обладает крайне высокой значимостью в условиях усиления международного санкционного давления [9].

Научно-техническая задача проектирования архитектуры программно-аналитического комплекса формулируется как проблема синтеза автоматизированной системы управления (АСУ) технологическим процессом принятия решений на основе предиктивной аналитики и Big Data Analytics (BDA).

Пусть организационно-техническая система государственной компании представлена в виде выражения (1):

$$S = \langle X, U, Z, Y, F, G \rangle \quad (1)$$

где $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ — вектор состояния организационно-технической системы, описывающий ключевые технологические и операционные параметры (нагрузки, объемы, показатели оборудования);

$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ — вектор управляющих воздействий (директивы по изменению режимов работы, планы ремонтов, распределение ресурсов);

$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_k\}$ — вектор внешних воздействий на организационно-техническую систему и входных данных из внешней среды (погодные условия, макроэкономические показатели, нормативные акты);

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_i\}$ — вектор выходных наблюдаемых переменных (отчетные показатели эффективности, данные мониторинга организационно-технической системы);

$F : X * U * Z \rightarrow X$ — оператор переходов организационно-технической системы, описывающий ее динамику. В условиях неполной определенности F является стохастическим параметром и подлежит идентификации;

$G : X \rightarrow Y$ — оператор наблюдения.

Таким образом, интегральная научно-техническая задача заключается в создании киберфизической си-

стемы управления с прогнозирующей (предиктивной) моделью, где контур управления замыкается через блок предиктивной аналитики. Целесообразно обеспечить устойчивость, робастность и адаптивность всей государственной организационно-технической системы в условиях нестационарности объекта управления S , неполноты данных, а также существенных транспортных задержек в каналах сбора информации и управления процессами.

Цель работы — разработка архитектурного решения и методики интеграции предиктивных моделей и BDA-платформ в информационный контур государственной компании.

Для достижения поставленной цели в статье необходимо решить следующие задачи:

1. Представить требования к данным и вычислительным ресурсам предиктивных моделей (машинное обучение, анализ временных рядов) в контексте государственных информационных систем.
2. Привести результаты проектирования модульной архитектуры интеллектуальной системы.
3. Отразить аналитические расчёты оценки эффективности предлагаемого программно-инженерного решения.

Материалы и методы

Авторами статьи для рассмотрения требований к данным и вычислительным ресурсам предиктивных моделей (машинное обучение, анализ временных рядов) в контексте государственных информационных систем и осуществления проектирования модульной архитектуры интеллектуальной системы использовались методы индукции, дедукции, анализа статистических временных рядов, сопоставления, систематизации, системный подход, абстрактно-логический метод, метод графической и табличной визуализации данных, математического моделирования технологических процессов, программирования аналитических решений.

Требования к данным и вычислительным ресурсам предиктивных моделей (машинное обучение, анализ временных рядов) в контексте государственных информационных систем

Для предиктивных моделей в государственных информационных системах формируются особые требования к данным, обусловленные спецификой предметной области исследования, а именно:

- обеспечение пропускной способности телекоммуникационных каналов не менее 10–100 Гбит/с для стратегически значимых объектов ИТ-инфраструктуры;
- полнота информационных данных 99% и выше, достоверность 99,9 % и выше, актуальность ин-

формации (задержка данных не более 1–5 секунд в режиме реального времени работы государственных информационных систем);

- информационные ресурсы для обучения предиктивных моделей в контексте государственных информационных систем:

 - 1) память: 64–512 ГБ ОЗУ для обработки векторов размерностью 106–109 элементов;
 - 2) вычислительные мощности: кластеры из 8–256 узлов с производительностью 1–100 TFLOPS;
 - 3) специализированные ускорители: GPU с памятью 16–80 ГБ для глубокого обучения;

- требования к отказоустойчивости интеллектуальной системы государственных компаний: время восстановления после сбоя менее 1 минуты, обеспечение доступности 99,99% для цифровых сервисов, геораспределенность вычислительных ресурсов с репликацией текущего состояния.

Сравнительный анализ технологических стеков (Hadoop, Spark, специализированные СУБД) для построения отказоустойчивых BDA-платформ позволил выявить основу модульной архитектуры интеллектуальной системы поддержки принятия решений для государственных компаний:

- 1) хранилище данных гибридное с использованием HDFS для данных длительного хранения, SAP HANA — для данных кратковременного хранения;
- 2) обработка данных производится при помощи Spark Structured Streaming (для обработки информационных потоков), Spark MLlib (для предиктивного моделирования данных);
- 3) обслуживание организационно-технической системы осуществляется посредством колоночных СУБД, предназначенных для оперативной отчетности и визуализации данных;
- 4) практическое применение Kubernetes с Apache ZooKeeper для управления текущим состоянием

объектов ИТ-инфраструктуры организационно-технической системы.

Проектирование модульной архитектуры интеллектуальной системы

Архитектура модели информационных данных проектируется с учетом многообразия типов информационных источников и функциональных требований к временным характеристикам интеллектуальной платформы. Модель реализует принцип «озера данных» с последующей трансформацией массивов информации в тематические хранилища.

Конвейер обработки данных реализует гибридную ETL/ELT-архитектуру (рисунок 1).

Архитектура аналитического ядра интеллектуальной системы строится на принципах микросервисной организации и контейнеризации данных государственных компаний (рисунок 2).

Алгоритм управления вычислительными ресурсами реализует стратегию динамического масштабирования:

```
class ResourceManager:
    def scale_policy(self, metrics):
        cpu_util = metrics['cpu_utilization']
        memory_util = metrics['memory_utilization']
        inference_latency = metrics['p95_latency']

        if cpu_util > 80 or memory_util > 85:
            self.scale_out() # Увеличить количество реплик
        elif cpu_util < 30 and memory_util < 40:
            self.scale_in() # Уменьшить количество реплик

        if inference_latency > self.sla_threshold:
            self.allocate_gpu_resources() # Переключение на GPU
```

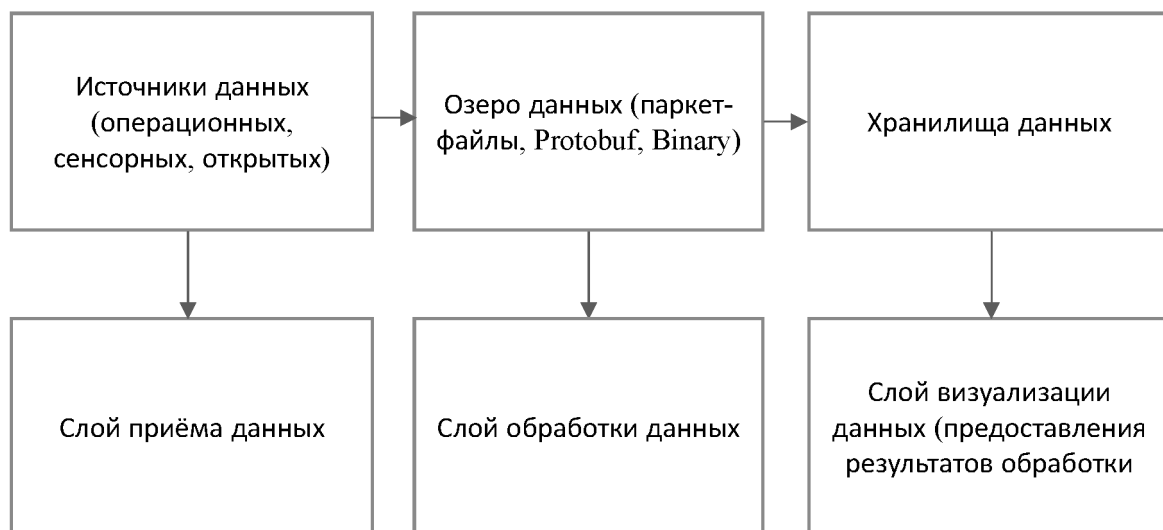


Рис. 1. ETL/ELT-архитектура конвейера обработки данных (источник: разработка авторов)



Рис. 2. Архитектура аналитического ядра интеллектуальной системы для государственных компаний (источник: разработка авторов)

Архитектура подсистемы прогнозной визуализации данных основана на принципе «единого источника истины»:

```
class PredictiveChart {
  renderConfidenceInterval(predictions) {
    const ctx = this.canvas.getContext('2d');

    // Отрисовка доверительного интервала
    ctx.fillStyle = 'rgba(135, 206, 250, 0.3)';
    ctx.fill(this.createConfidencePath(predictions));

    // Отрисовка основной линии прогноза
    ctx.strokeStyle = 'blue';
    ctx.lineWidth = 2;
    ctx.stroke(this.createPredictionPath(predictions));
  }
}
```

Приведенная модульная архитектура интеллектуальной системы поддержки принятия решений в государственных компаниях позволяет обеспечить крайне высокую степень автоматизации управления организационно-технологическими процессами, предоставляя ЛПР инструменты для эффективного анализа и принятия решений на основе инструментов и сервисов предиктивной аналитики.

Оценка эффективности предлагаемого программно-аналитического решения

Эффективность предлагаемого программно-аналитического решения оценивалась на основе тестирования сценария прогнозирования нагрузок на энергетическое оборудование, используемое в городском хозяйстве. Соответственно, исходными параметрами модели выступают:

- 1. Количество потребителей (N) ресурсов энергетического оборудования составляет 1000000 человек.
- 2. Период прогнозирования (T) составляет 24 часа.
- 3. Временной интервал (Δt) достигает 15 минут.

В таблице 1 приведены параметры тестирования нагрузки на энергетическое оборудование по трем сценариям (норма нагрузки, пик нагрузки, критический уровень нагрузки).

Таблица 1. Параметры тестирования нагрузки на энергетическое оборудование

Параметр	Норма нагрузки (сценарий № 1)	Пик нагрузки (сценарий № 2)	Критический уровень нагрузки (сценарий № 3)
Интенсивность запросов	100 RPS	500 RPS	1000 RPS
Размер памяти, ГБ	64	128	256
Количество фич	50	100	200
Длина временного ряда (количество точек)	168	336	672
Размер параллельных потоков	10	50	100

Источник: разработано авторами.

Сравнительный анализ результатов моделей прогнозирования нагрузки на энергетическое оборудование приведен в таблице 2.

Результаты тестирования отказоустойчивости интеллектуальной системы поддержки принятия решений отражены в таблице 3.

Таблица 2.

Сравнительный анализ результатов моделей прогнозирования нагрузки на энергетическое оборудование

Модель прогнозирования	MAPE, %	RMSE, MBt	Время обучения, ч	Время инференса, мс	Потребление памяти, ГБ
LSTM	2,1	15,3	12,5	45	8,2
Prophet	3,8	28,7	2,1	12	2,1
ARIMA	4,5	32,1	1,2	8	1,5
XGBoost	2,8	18,9	0,8	5	3,7
Ensemble	1,9	12,7	15,8	65	12,3

Источник: разработано авторами.

Таблица 3.

Результаты тестирования отказоустойчивости интеллектуальной системы поддержки принятия решений

Компонент интеллектуальной системы	MTBF, часов	Время восстановления, сек	Коэффициент готовности, %	Потери данных при сбое компонента интеллектуальной системы
Spark Cluster	720	45	99,998	0 ГБ памяти
Kafka Brokers	1440	30	99,999	Менее 10 сообщений
ML Serving	480	15	99,997	Отсутствуют
Feature Store	960	60	99,996	Отсутствуют
Monitoring	2160	120	99,994	Отсутствуют

Источник: разработано авторами.

В соответствии с полученными результатами моделирования нагрузок на энергетическое оборудование, используемое в городском хозяйстве, были сделаны следующие выводы:

1. Программно-аналитическое решение поддержки функционирования организационно-технических систем государственных компаний показывает линейное масштабирование производительности до 500 RPS с последующим насыщением параметров.
2. Ансамблевые модели прогнозирования нагрузки на энергетическое оборудование доминируют над остальными предиктивными алгоритмами примерно на 0,2–2,6 % по уровню точности итоговых результатов.

3. Гибридная архитектура интеллектуальной системы поддержки принятия решений для государственных компаний обеспечивает коэффициент готовности более 99,9 % при минимальном времени восстановления (не более 1 минуты).
4. Оптимальное соотношение уровня точности и сложности вычислительных ресурсов демонстрирует LSTM-модель прогнозирования нагрузок на энергетическое оборудование, используемое в городском хозяйстве.

Выводы

В рамках данного исследования были представлены требования к данным и вычислительным ресурсам предиктивных моделей (машинное обучение, анализ временных рядов) в контексте государственных информационных систем, в частности, требования к объёму и скорости формирования информационных данных, семантической целостности в организационно-технической системе, временным характеристикам интеллектуальной платформы, вычислительным ресурсам, отказоустойчивости.

Для государственных компаний предлагается гибридная архитектура программно-аналитического решения, которая обеспечит отказоустойчивость через геораспределённую репликацию данных, горизонтальную масштабируемость принятия решений, а также будет соответствовать нормативным требованиям к объектам системообразующей инфраструктуры.

Приведены результаты проектирования модульной архитектуры интеллектуальной системы.

Отражены аналитические расчёты оценки эффективности предлагаемого программно-инженерного решения.

Полученные результаты аналитических расчётов оценки эффективности интеллектуальной системы поддержки принятия решений в государственных компаниях подтвердили достаточно высокий уровень эффективности гибридной архитектуры программно-аналитического решения для задач автоматизации управления организационно-технологическими процессами по параметрам производительности, надёжности, точности, ресурсоемкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурый А.С., Ловцов Д.А. Архитектура экспертных рекомендательных систем принятия решений в формате умного города // Правовая информатика. — 2023. — № 3. — С. 41–53.
2. Искра Е.А., Панова В.Л. Проектирование интегрированной информационной архитектуры в системе поддержки принятия решений предприятия // Новое в экономической кибернетике. — 2025. — № 1. — С. 98–113.
3. Кетоева Н.Л., Знаменская М.А., Павлов Е.М., Прошкин Н.Е. Моделирование и разработка программы для интеллектуальной системы поддержки принятия кадровых управленческих решений в электроэнергетике // Инженерный вестник Дона. — 2024. — № 5 (113). — С. 58.
4. Косоруков А.А. Перспективные технологические решения в сфере построения нейрорцифрового государственного управления // Социодинамика. — 2021. — № 6. — С. 53–66.
5. Куровский С.В., Козлова О.Л., Дейнеко М.Д. От математической модели к практике: программно-инженерная концепция метода искусственного интеллекта для коммерческой организации // Экономика строительства. — 2025. — № 7. — С. 721–724.
6. Куровский С.В., Мишин Д.А., Халилулин Р.М. Применение методов анализа больших данных в цивилистических науках: алгоритмическое прогнозирование тенденций частного права на основе судебной практики // Закон и власть. — 2025. — № 8. — С. 101–106.
7. Куровский С.В., Мишин Д.А., Павлов Д.Г. Интеграция SCADA-систем в программы профессиональной подготовки операторов магистральных нефтегазовых трубопроводов // Современное профессиональное образование. — 2025. — № 8. — С. 100–105.
8. Никифоров А.А., Гармышев Д.Е., Важенин И.А., Левченко Н.Г. Разработка архитектуры интеллектуальной информационной системы разработки и анализа данных документации с поддержкой принятия решения // Транспортное дело России. — 2021. — № 2. — С. 96–100.
9. Тюкавкин Н.М., Романова А.А. Направления развития информационно-методического обеспечения предприятий промышленного комплекса на базе единой цифровой платформы РФ «Гостех» // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. — 2024. — Т. 12. — № 2. — С. 129–139.
10. Чурсин А.А., Богинский А.И., Должиков Д.С., Назюта С.В. Разработка теоретических и практических аспектов усовершенствования систем поддержки принятия решений для устойчивого развития высокотехнологичных организаций // Креативная экономика. — 2024. — Т. 18. — № 2. — С. 357–372.

© Мишин Денис Александрович (9651530@gmail.com); Куровский Станислав Валерьевич (8917564@gmail.com);

Трунькин Андрей Николаевич (andrei.trunkin@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»