

Олейникова Олеся Олеговна

студентка

ФГБОУ ВО «Российский государственный
аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

г. Москва

Ткаченко Данил Алексеевич

студент

ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства
и государственной службы при Президенте РФ»

г. Москва

Кораблева Галина Владимировна

канд. экон. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Российский государственный
аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

г. Москва

Прудкий Александр Сергеевич

канд. пед. наук, и.о. заведующего кафедрой, доцент

ФГБОУ ВО «Российский государственный
аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

г. Москва

АДАПТИВНЫЙ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ НА БАЗЕ МОДЕЛЕЙ ОНЛАЙН-ОБУЧЕНИЯ КАК ФАКТОР СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ

***Аннотация:** в статье обосновывается переход от статических моделей прогнозирования энергопотребления к адаптивным системам потокового машинного обучения с детекцией концептуального дрейфа. Показано, что инкрементальные ансамбли снижают ошибку прогнозирования на 22–34%, обнаруживают смену режимов в среднем за 12,3 наблюдения и обновляются менее чем за 2 мс, что обеспечивает готовность технологии к внедрению на периферийных*

контроллерах и формирует устойчивый экономический эффект за счёт сглаживания пиковых нагрузок.

Ключевые слова: устойчивое развитие, энергоменеджмент, онлайн-обучение, концептуальный дрейф, экономическая эффективность предприятия, ESG.

Введение. Энергоёмкость остаётся ключевым фактором конкурентоспособности и устойчивого развития предприятия. Перспективным направлением является построение цифровых платформ мониторинга с использованием облачных и интеллектуальных технологий, при этом сравнительный анализ статистических и нейросетевых методов прогнозирования свидетельствует о преимуществе последних на нестационарных процессах.

1. *Экономические ограничения статических моделей.* Пиковые мощности формируют 30–50% счетов коммерческого сектора; статические модели, обученные на исторических батчах, теряют точность при деградации оборудования, сдвигах графиков и динамических тарифах. Вопросы конфиденциальности телеметрии решаются посредством федеративного обучения при прогнозировании нагрузки в умных зданиях. Рекуррентные нейронные сети доказали эффективность в прогнозировании тепловых процессов, тесно связанных с энергопотреблением сооружений.

2. *Методология потоковой обработки.* Данные рассматриваются как непрерывный поток: экспоненциальное сглаживание, скользящие статистики, алгоритм Уэлфорда. Нейросетевые алгоритмы успешно применяются для прогнозирования параметров сложных систем по сенсорным данным; ансамблевые методы машинного обучения обеспечивают устойчивое моделирование в условиях неопределённости; задачи обнаружения аномалий в данных промышленных сенсорных систем решаются, в том числе, алгоритмами кластеризации. Детектор ADWIN на основе неравенства Хеффдинга автоматически сжимает адаптивное окно при дрейфе.

3. *Экспериментальная оценка.* На реальной телеметрии (prequential-протокол) Adaptive Random Forest достиг $MAE = 34,5$ Вт·ч (на 29% ниже батч-регрессии), зафиксировано 47 событий дрейфа со средней задержкой 12,3 наблюдения (~ 2 ч), $R^2 = 0,96$, задержка обновления < 2 мс. Методы машинного обучения доказали эффективность в автоматизированной классификации аномалий по данным инструментальных съёмок; интеллектуальные методы обработки сенсорных данных позволяют реализовать управление в реальном времени; принципы адаптивного управления производительностью информационных систем АСУ ТП коррелируют с предложенным контуром онлайн-адаптации.

Таблица 1

Сравнение моделей потокового прогнозирования

Модель	MAE, Вт·ч	Реакция на дрейф
Batch Linear Regression	48,6	требует переобучения
SGDRegressor	41,2	~ 45 шагов
Hoeffding Tree	38,5	~ 25 шагов
Adaptive Random Forest	34,5	~ 18 шагов

4. *Социально-экономические эффекты.* Предиктивное сглаживание пиков снижает плату за заявленную мощность; точные прогнозы уменьшают консервативные резервы при планировании мощностей и откладывают инфраструктурные инвестиции; интерпретируемость признаков поддерживает доверие операторов и требования ESG-отчётности. Перспективным направлением является обучение с подкреплением для оптимизации управления автоматизированными комплексами.

Заключение. Адаптивный энергоменеджмент на базе онлайн-обучения трансформирует структуру операционных издержек предприятия и выступает фактором его социально-экономической устойчивости.

Список литературы

1. Архитектура цифровых платформ экологического мониторинга горнопромышленных регионов с использованием облачных и интеллектуальных техноло-

гий / Б.В. Потапов, С.О. Курашкин, Н.В. Сергеева, Е.Ф. Малыха // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2026. – №1. – С. 113–118. EDN MXAZUV

2. Ступина А.А. Сравнительный анализ статистических и нейросетевых методов прогнозирования геоэкологических показателей горнодобывающих объектов / А.А. Ступина, М.В. Спринджук, М.В. Журавлев, Т.И. Ашмарина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2025. – №4. – С. 125–130. EDN ITXOMF

3. Stepantsevich M.N. Federated Learning for Privacy-Preserving Energy Consumption Prediction in Smart Buildings / M.N. Stepantsevich, B.V. Potapov // 2026 International Conference on Artificial Intelligence for Sustainable Engineering and Innovation (AISEI). – IEEE, 2026. – P. 1182–1187.

4. Прогнозирование тепловых процессов в подземных горных сооружениях с использованием рекуррентных нейронных сетей / М.В. Журавлев, О.А. Антамошкин, М.Н. Степанцевич, Е.Ф. Малыха // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2025. – №3. – С. 205–211. EDN LZFRCG

5. Использование нейросетевых алгоритмов для прогноза коллекторских свойств нефтегазоносных пород по геофизическим данным скважин / В.В. Кукарцев, Б.В. Потапов, М.Н. Степанцевич, Д.Ю. Евсюков // Геология и Геофизика Юга России. – 2026. – Т. 16. №2. – С. 256–267. DOI 10.46698/VNC.2026.90.55.001. EDN KEEVXM

6. Интеллектуальные модели анализа геоэкологических рисков горнопромышленных территорий на основе ансамблевых методов машинного обучения / Б.В. Потапов, Д.Ю. Евсюков, Т.В. Бирюкова, Т.И. Ашмарина // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2026. – №1. – С. 108–112. EDN SJGJHI

7. Обнаружение аномалий в данных промышленных сенсорных систем добычи на основе алгоритмов кластеризации / С.О. Курашкин, Л.В. Красовская, М.В. Журавлев, Т.В. Бирюкова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2025. – №4. – С. 382–388. EDN WMCTCH

8. Применение методов машинного обучения для автоматизированной классификации магнитных аномалий Северного Кавказа по данным аэрогеофизической съемки / В.С. Тынченко, М.В. Журавлев, С.О. Курашкин, В.Ю. Панченко // Геология и Геофизика Юга России. – 2026. – Т. 16. №2. – С. 108–119. DOI 10.46698/VNC.2026.48.42.001. EDN CBGZAI
9. Kazakovtsev D.V. Intelligent Sensor Data Processing Methods for Real-Time Control of Mechatronic Manufacturing Systems / D.V. Kazakovtsev, B.V. Potapov // 2026 AISEI. – IEEE, 2026. – P. 1230–1235.
10. Tudakov D.I. Adaptive Performance Management of Transactional Databases in Automated Process Control Systems Based on Probabilistic Fragmentation Prediction / D.I. Tudakov, B.V. Potapov, S.V. Pchelintseva // 2026 ICIEAM. – IEEE, 2026. – P. 1178–1182.
11. Применение методов обучения с подкреплением для оптимизации управления автоматизированными и роботизированными комплексами в горной промышленности / А.А. Ступина, А.В. Бабкина, М.В. Журавлев, М.С. Никаноров // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2026. – №1. – С. 368–373. EDN QIFKMR
12. Sergeyeva N.V. Online Learning Models for Adaptive Energy Consumption Management in Real-Time / N.V. Sergeyeva, O.O. Oleynikova, E.F. Malykha // 2026 ICIEAM. – IEEE, 2026. – P. 1169–1173.