



СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
RUSSIAN POWER SYSTEM OPERATOR

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРАЙОНОВ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Авторы: Дерень Алина Владимировна (Филиал АО «СО ЕЭС» Карельское РДУ, ФГБОУ ВО «ПетрГУ»)
Алексеев Трофим Алексеевич (ФГБОУ ВО «ПетрГУ»)

Научный руководитель: Петрушин Денис Евгеньевич (Филиал АО «СО ЕЭС» Карельское РДУ, ФГБОУ ВО «ПетрГУ»)



Цели прогнозирования:

- Планирование балансов электроэнергии (мощности) в энергосистеме
- Оптимизация энергозатрат
- Повышение надёжности
- Бюджетное планирование

Основные факторы, влияющие на потребление электроэнергии:

- Время суток
- Метеорологические факторы (температура, облачность, осадки);
- Продолжительность светового дня;
- Тип дня (выходной / праздничный / будний день);
- Режим работы предприятий и пр.

Прогнозирование потребления электрической энергии и мощности подразделяется на два вида:

- Краткосрочное планирование (от часа до нескольких суток);
- Долгосрочное планирование (от месяца до нескольких лет).





ОПИСАНИЕ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ЭНЕРГОУЗЛА



Согласно обосновывающим материалам утвержденной Схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2025-2030 годы на территории Республики Карелия к энергорайонам, характеризующимся рисками ввода графиков аварийного ограничения режима потребления электрической энергии (мощности), относится Петрозаводский энергоузел.

Наименование энергорайона	Факт. максимум в 2025 году, МВт	Дата максимума	Температура наружного воздуха, °С
Петрозаводский энергоузел	322	21.01.2025 18:00	-19

Электропотребление растет, что связано с миграцией населения из других районов Республики Карелия, развитием туризма, а также существенным количеством новых технологических присоединений.

Энергорайон характеризуется бытовой и мелкомоторной нагрузкой.

Генерация Петрозаводского энергоузла представлена тремя электростанциями:

1. Петрозаводская ТЭЦ (Pуст= 280 МВт);
2. Кондопожская ГЭС (ГЭС-1) (Pуст= 24,9 МВт);
3. Пальеозерская ГЭС (ГЭС-2) (Pуст= 24,9 МВт).



ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ АЛГОРИТМА

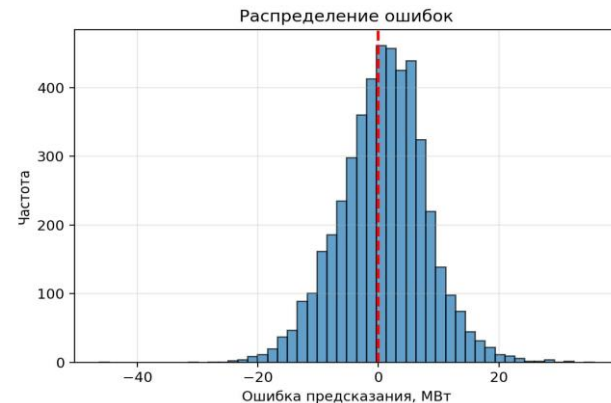
КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЭТАПОВ СОЗДАНИЯ АЛГОРИТМА НА ЯЗЫКЕ PYTHON

1. Импорт необходимых библиотек (NumPy, Pandas, Matplotlib, Tensorflow, Sklearn);
2. Подготовка данных (с использованием DataFrame) (объем обучающей выборки – 3 года с частотой дискретизации – 1 час, inputs: температура, осадки, облачность, месяц, час)
3. Нормализация данных (масштабирование, разделение данных train/test);
4. Создание модели (вид машинного обучения - рекуррентная нейронная сеть, слои – LSTM, Dropout, Dense);
5. Обучение модели
 - Расчет метрик (MAE, RMSE, MAPE, R²);
 - Предсказание значений на сутки.
6. Сравниваем предсказания с реальными значениями.

Mean squared error	$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2$
Root mean squared error	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2}$
Mean absolute error	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t $
Mean absolute percentage error	$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left \frac{e_t}{y_t} \right $

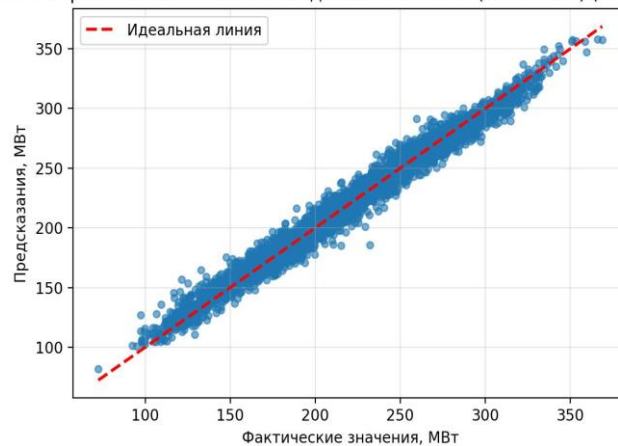


РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

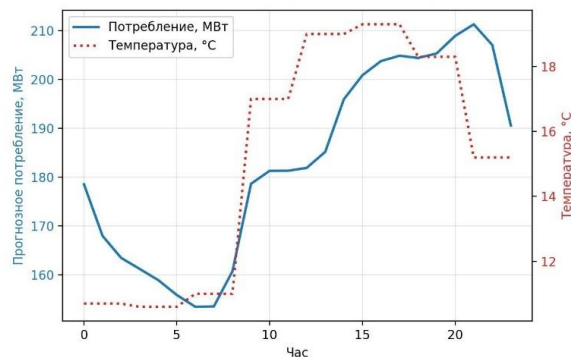


**Результаты
расчетов метрик:**
MAE = 0,09
MSE = 0,1
MAPE = 3%
R² = 0,98

Сравнение фактических значений с идеальной линией (R² = 0.980) (MAPE = 0.029)



Прогнозный суточный график потребления



Заданные параметры на сентябрь:
Температура от 10°C до 19°C;
Облачность = 2 балла;
Осадки = 0 балл.

Сравнительная таблица фактических и прогнозных значений для РБУ

РБУ	Температура РБУ, °C	Прогнозное значение модели, МВт	Фактические значения за 2024-2025 год, МВт	Прогнозные значения на 2025 год согласно МУ 1286, МВт	Спарклайн
Зима max(0,92)	-30	354	336	383	
Зима min(0,92)	-30	296	266	314	
Зима max (МУ)	5	267	245	304	
Зима min (МУ)	5	211	200	236	
Лето max (0,98)	25	202	201	212	
Лето max(наиб тепл)	17	205	204	212	
Лето min (наиб тепл)	17	132	128	138	
Паводок max	8	230	228	246	
Паводок min	8	194	189	176	



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя функции, библиотеки языка программирования Python и нейронные сети построена модель прогнозирования электропотребления для Петрозаводского энергоузла на основе рекуррентной нейросети.

Данная модель применима к прогнозированию потребления на сутки вперед, а также для расчета прогнозных значений максимумов на долгосрочный период с учетом различных РБУ.

Ключевыми проблемами модели является зависимость от точности внешних данных, а также неучет «возмущающих событий».

С целью перспективы развития алгоритма возможно обучение модели на данных с частотой 1 сек и дальнейшего создания веб-приложения для модерации прогнозов Системным оператором.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по проектированию развития энергосистем [Текст]: приказ Министерства энергетики России от 06 декабря 2022 г. № 1286 // Собрание законодательства. – 2022. - № 1286. – Гл. 1, 2.
2. Маркова К.Д., Ботыгин И.А. Исследования корреляционных зависимостей метеорологических параметров // Вестник научных конференций. – Тамбов, 2018. – № 4-4(32). – С. 68-70.
3. Антоненков Д.В., Матренин П.В. Исследование ансамблевых и нейросетевых методов машинного обучения в задаче краткосрочного прогнозирования электропотребления горных предприятий // Электротехнические системы и комплексы. - 2021. - №3(52). - С. 57-65.
4. Владимирова М.Р., Попова М.С. Бэггинг нейронных сетей в задаче анализа биологической активности ядерных рецепторов // Машинное обучение и анализ данных. - 2016. - №2(3). - С. 349-363.
5. Кротова О.С. Применение ансамблевых методов машинного обучения для диагностики сахарного диабета // Информация и образование: границы коммуникаций. - 2018. - №10(18). - С. 87-89.



СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
RUSSIAN POWER SYSTEM OPERATOR

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!