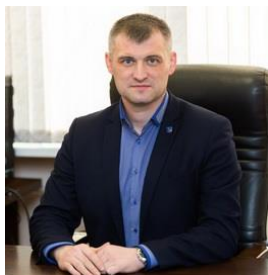


УДК 004.032.26:620.91

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ МЕТОДАМИ ОБУЧЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ



В.В. Хорошко
Заведующий кафедрой ПИКС
БГУИР, кандидат технических
наук, доцент



О.Д. Аксенов
Магистрант БГУИР



Т.Н Осмоловская
инженер
НИГ 5.1. НИЧ БГУИР



Е.Н. Шнейдеров
Начальник ЦРДО БГУИР, кандидат
технических наук



Н.М. Бруй
Аспирант БГУИР

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь.
E-mail: khoroshko@bsuir.by.

В. В. Хорошко

Заведующий кафедрой проектирования информационно-компьютерных систем. Проводит научные исследования в области прогнозирования параметров фотоэлектрических станций, полупроводниковых материалов для солнечных элементов.

О. Д. Аксенов

Магистрант кафедры проектирования информационно-компьютерных систем. Проводит научные исследования в области статистического анализа энергетических характеристик солнечных электростанций.

Т. Н. Осмоловская

Инженер НИГ 5.1 научно-исследовательской части. Проводит научные исследования в полупроводникового материаловедения области моделей деградации полупроводниковых солнечных элементов и статистического анализа энергетических характеристик солнечных электростанций.

Н. М. Бруй

Аспирант кафедры проектирования информационно-компьютерных систем. Проводит научные исследования в области моделей деградации полупроводниковых солнечных элементов и статистического анализа энергетических характеристик солнечных электростанций.

Е. Н. Шнейдеров

Начальник центра развития дистанционного образования. Проводит научные исследования в области прогнозирования параметров полупроводниковых приборов.

Аннотация. В статье представлены результаты прогнозирования выработки электроэнергии фотоэлектрическими (солнечными) электростанциями (ФЭС) методами обучения деревьев решений. Для прогнозирования были использованы деревянные модели, основаны на деревьях решений DecisionTree,

GradientBoosting, RandomForest. Для оценки точности прогнозирования оценивались среднеквадратичная ошибка (MSE), средняя абсолютная ошибка (MAE), коэффициент детерминации (R2). Установлено, что наименьшие ошибки прогнозирования были получены с использованием метода Gradient Boosting Regressor. Для каждого метода проведена оценка влияния атмосферных параметров на итоговую выработку.

Ключевые слова: солнечные элементы, возобновляемые источники энергии, прогнозирование параметров, деревья решений.

Введение.

Фотоэлектрические (солнечные) электростанции (ФЭС) – это перспективный и уже широко применяемый возобновляемый источник энергии (ВИЭ). Постоянный рост КПД солнечных элементов и модулей, удешевление стоимости производства делают данный источник электроэнергии в ближайшей перспективе конкурентоспособным традиционным [1]. Наиболее существенным недостатком такого типа ВИЭ, сдерживающим их развитие, является неравномерность энергетических характеристик ФЭС в течении суток, определяющихся рядом атмосферных параметров, таких как: уровень освещенности, температура окружающей среды, влажность и др. Существенные возможные отклонения параметров атмосферы относительно средних существенно усложняют учёт вырабатываемой электроэнергии.

Стоит отметить, что на основе статистического анализа многолетних данных по атмосферным параметрам задача долгосрочного прогнозирования выработки фотоэлектрических станций решена с довольно высокой точностью, однако задача точного прогнозирования выработки фотоэлектрических станций на сравнительно короткий период (1-3 дня) окончательно не решена. Ранее авторами было показана перспективность применения регрессионного анализа параметров для прогнозирования выработки ФЭС [2]. Достигнута высокая точность прогнозирования, однако основным недостатком регрессионного анализа являлось отсутствие анализа взаимосвязи влияния атмосферных друг на друга, что способствует повышению точности прогнозирования.

Таким образом целью данной работы являлась разработка моделей выработки ФЭС методами деревьев решений, основанных на непосредственном прошлом, учитывающие множество атмосферных параметров.

Результаты и их обсуждение.

В качестве данных по выработке ФЭС были взяты результаты, расположенные на платформе «Open Power System Data» [3]. Данные включают температуру, скорость ветра, облачность, давление, полное горизонтальное излучение в верхней части атмосферы, общее наземное горизонтальное излучение. Результаты, представленные в «Open Power System Data» являются почасовыми. Основными информационными параметрами, использовавшимися для создания модели, были: v_1 скорость ветра на высоте 2 метра, относительно текущего местоположения, м/с; v_2 скорость ветра на высоте 10 метров, относительно текущего местоположения, м/с; v_{50m} скорость ветра на высоте 50 метров от земли, м/с; h_1, h_2 высота, м, по положению аналогично v_1, v_2 ; z_0 перепады на местности, м; SWTDN значение интенсивности солнечного излучения до атмосферы, Вт/м²; SWGDN значение интенсивности солнечного излучения на горизонтальной площадке у земли, Вт/м²; T: температура на высоте h_1 , К; Rho плотность воздуха у поверхности, кг/м³; p давление воздуха, Па Все вышеперечисленные параметры в той или иной степени влияют на целевую функцию «DE_solar_generation_actual» В связи с тем, что целевая функция ночью показывает нулевые значения, необходимо агрегировать данные за день На рисунках 1-3 а показаны результаты прогнозирования выработки ФЭС Синим показан период обучения моделей, зелёным фактическая генерация ФЭС, коричневым спрогнозированная выработка.

На рисунке 1 представлены результаты прогнозирования выработки с применением DecisionTreeRegressor.

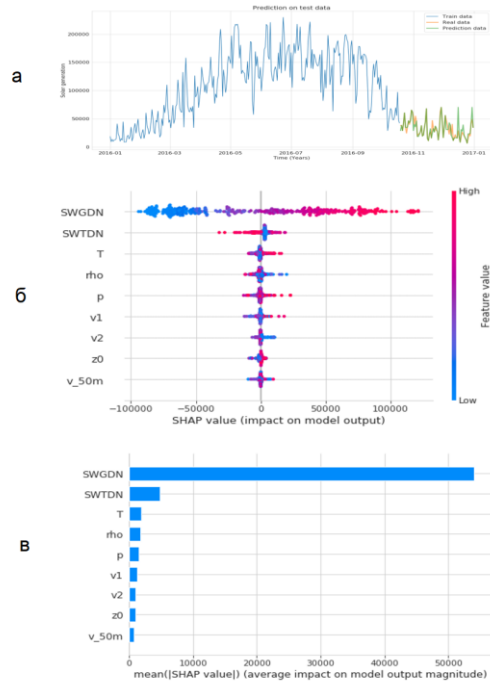


Рисунок 1. Результаты прогнозирования выработки ФЭС (а) и влияния параметров атмосферы (б, в) DecisionTreeRegressor

На рисунке 2 представлены результаты прогнозирования выработки с применением RandomForestRegressor.

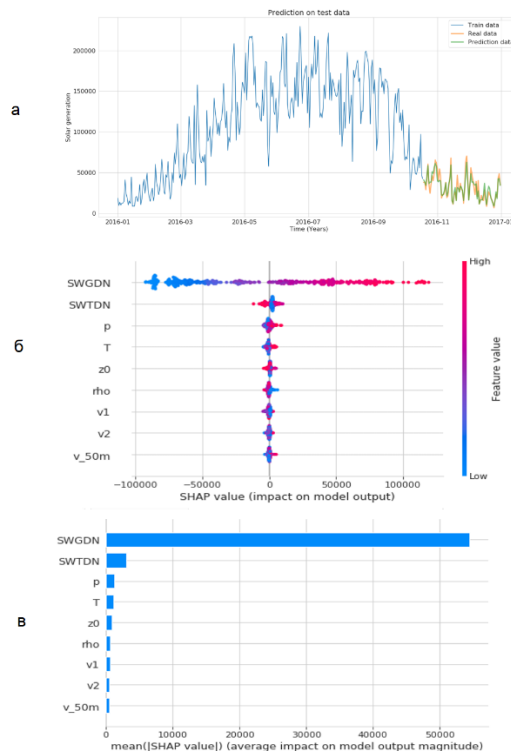


Рисунок 2. Результаты прогнозирования выработки ФЭС (а) и влияния параметров атмосферы (б,в) RandomForestRegressor

На рисунке 3 представлены результаты прогнозирования выработки с применением GradientBoostingRegressor.

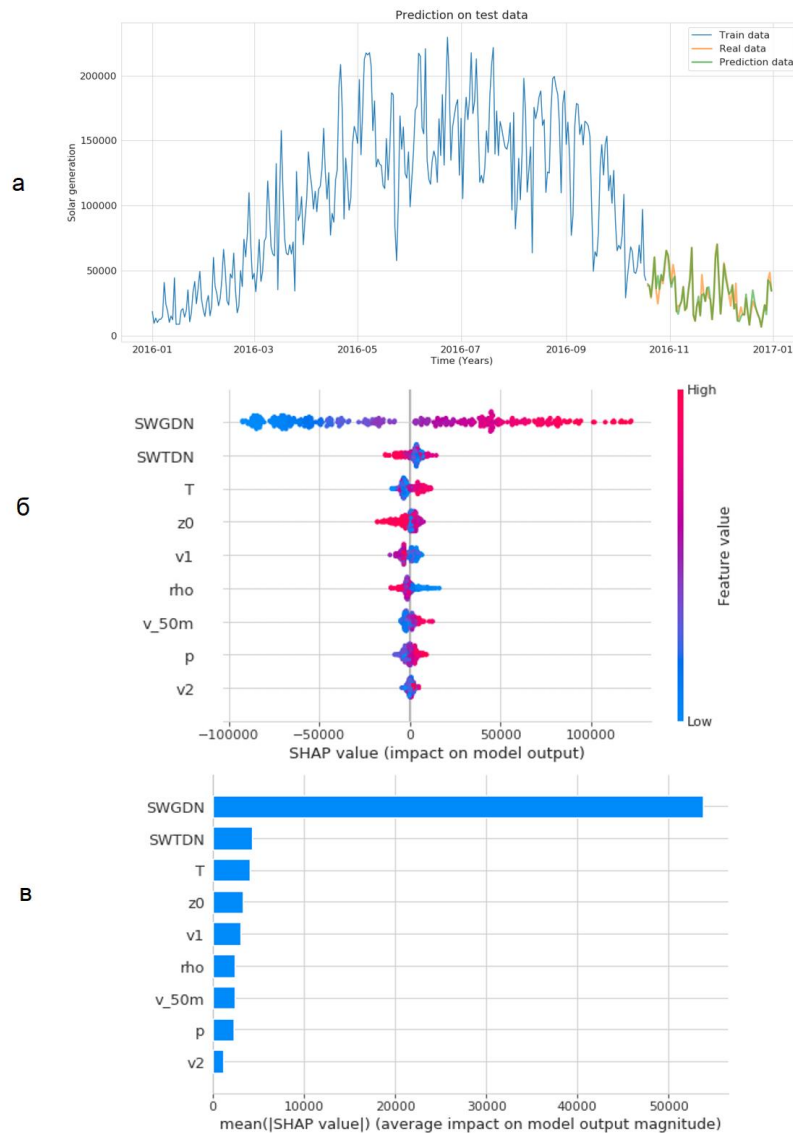


Рисунок 3. Результаты прогнозирования выработки ФЭС (а) и влияния параметров атмосферы (б,в) GradientBoostingRegressor

Как видно из всех графиков определяющим фактором является уровень инсоляции у поверхности, однако данный параметр является вариабельным и сам по себе зависит от уровня облачности и влажности.

В таблице приведены результаты оценки погрешностей прогнозирования различными методами (табл. 1.).

Таблица 1. Результаты прогнозирования

Метод прогнозирования	Mean squared error	Mean absolute error	R2
DecisionTreeRegressor	79.53	4001.56	0.869 (mean) ± 0.0657 (std)
RandomForestRegressor	34.43	4204.331	0.935 (mean) ± 0.0287 (std)
GradientBoostingRegressor	23.71	2533.645	0.937 ± 0.0279 (std)

Как видно из таблицы и рисунков 1-3 наилучшие параметры прогнозирования обеспечивает метод GradientBoostingRegressor.

Заключение.

Разработаны модели прогнозирования выработки ФЭС, основанные на непосредственном прошлом. Точность прогнозирования моделей, основанных на деревьях решений выше, чем у

моделей, основанных на регрессионном анализе, что в первую очередь обусловлено наличием взаимозависимости между рядом атмосферных параметров. Дальнейшее уточнение моделей выработки возможно за счёт дальнейшего машинного обучения с поочередным исключением воздействующих факторов для выявления взаимосвязей между ними и выработкой в целом.

Работы выполнена при поддержке БРФФИ (договор №Т19М-037).

Список литературы

[1] Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38–50. doi:10.1016/j.esr.2019.01.006.

[2] Прогнозирование выработки электроэнергии солнечными электростанциями на основе регрессионного анализа параметров / В.В. Хорошко [и др.] // Вестник ТУИТ, Ташкент, Узбекистан.– 2020, №4(56).– С.57-69

[3] Open data platform [electronic resource] – https://doi.org/10.25832/time_series/2019-06-05.

FORECASTING ENERGY CHARACTERISTICS OF PHOTOELECTRIC STATIONS BY THE METHODS OF LEARNING SOLUTION TREES

V.V.KHOROSHKO

PhD

*Head of Department of
Information and
Computer Systems
Design BSUIR*

E.N. SHNEIDEROV

PhD

*Head of the Center for the Development of
Distance Education*

O.A.AKSYNOV,

Postgraduate student BSUIR

T.N. OSMOLOVSKAYA

Engineer BSUIR

N.M. BRUYA

Postgraduate student BSUIR

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus

E-mail: khoroshko@bsuir.by

Abstract. At present, the results of forecasting the generation of electricity by photovoltaic (solar) power plants by methods of training decision trees. For forecasting, wooden models was used, based on decision trees DecisionTree, GradientBoosting, RandomForest. To assess the prediction accuracy, the mean square error (MSE), the mean absolute error (MAE), and the coefficient of determination (R2) was estimated. It was found, that the smallest prediction errors were obtained using the Gradient Boosting Regressor method. For each method, an assessment of the influence of atmospheric parameters on the final production was carried out.

Keywords: Solar cells, renewable energy sources, forecasting of the parameters, trees repressor's.