

УДК 338.2

JEL: O33, Q42

DOI: <http://doi.org/10.25728/econbull.2022.4.1-ratner>

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЕЙ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ¹

Ратнер Павел Дмитриевич

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия
e-mail: ratner_p.d@gmail.com; SPIN-код: 2902-4701; ORCID ID – нет

Аннотация. В настоящем исследовании на основе машинного обучения построена модель, позволяющая прогнозировать эффективность мер государственной поддержки развития автотранспорта на альтернативном топливе, и предложен программный модуль для ее реализации на языке Python. Под эффективностью мер государственной поддержки понимается их влияние на прирост автопарка на альтернативном топливе. Модель обучена и апробирована на данных по европейским странам по количеству электромобилей (данные европейской обсерватории по использованию альтернативных топлив), однако разработанный программный модуль позволяет пользователю самостоятельно обучить модель и составить прогнозы для любых других видов дорожных транспортных средств на альтернативном топливе (биотопливо, сжиженный природный газ).

Ключевые слова: электромобили, меры государственной поддержки, эффективность, машинное обучение, программный модуль, библиотеки Python.

FORECAST OF AN EFFICIENCY OF ALTERNATIVE FUEL PARK GROWTH BASED ON THE LOGISTIC REGRESSION MODEL

Ratner Pavel Dmitrievich

Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
e-mail: ratner_p.d@gmail.com; SPIN code: 2902-4701; ORCID ID – no

Abstract. In this study, a model is built that allows predicting the effectiveness of government support measures for the development of vehicles using alternative fuels. The model is based on machine learning approach. A software module for its implementation in the Python language is proposed. The effectiveness of state support measures is understood as their impact on the growth of the fleet using alternative fuels. The model has been trained and tested on data for European countries on the number of electric vehicles (data from the European Observatory for the Use of Alternative Fuels), however, the developed software module allows the user to independently

¹ Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных научных исследований, проект № 20-010-00589 «Разработка методологии и инструментария оценки эффективности вариантов государственной поддержки инновационных транспортных технологий в контексте новой климатической политики России».

train the model and make forecasts for any other types of road vehicles using alternative fuels (biofuel, liquefied natural gas).

Keywords: electric vehicles, government support measures, efficiency, machine learning, software module, Python libraries.

Введение. Согласно данным Мирового Энергетического Агентства (МЭА), транспорт в настоящее время является одним из основных источников загрязнения атмосферного воздуха, а также источником выбросов парниковых газов (ПГ) [1]. Поэтому в большинстве развитых и развивающихся стран мира большое внимание уделяется поиску альтернативных топлив для транспорта, которые бы позволяли снизить или вообще свести до нуля выбросы загрязняющих веществ и ПГ. В первую очередь, речь идет об автомобильном транспорте, так как его доля в пассажирских и грузовых перевозках является самой большой [2]. В качестве взаимодополняющих инновационных решений рассматриваются электромобили, автомобили на биотопливе, на природном газе и на водороде [3]. При этом в промышленных масштабах распространены только первые три технологии, тогда как транспорт на топливных элементах пока что развивается в ограниченном круге стран в качестве эксперимента [4].

Однако существенным препятствием на пути распространения новых транспортных технологий до настоящего дня являются стоимостные барьеры. Как правило, стоимость покупки и/или владения транспортным средством на альтернативном топливе (за исключением, природного газа) является выше, чем стоимость покупки/владения традиционным автомобилем, использующим бензин. Кроме того, развитие транспорта на альтернативном топливе сопряжено с необходимостью создания и развития новой заправочной инфраструктуры [5]. Поэтому без стимулирующих мер со стороны государства, как основного стейкхолдера, заинтересованного в снижении негативного воздействия транспортной отрасли на окружающую среду и климат, развитие альтернативных видов транспорта происходит крайне медленно.

В тоже время, несмотря на широкую распространенность различных практик государственного стимулирования (налоговых льгот, субсидий производителям или потребителям), их эффективность является дискуссионным вопросом. Действительно ли государственные расходы достигают своей основной цели – снижение нагрузки на окружающую среду и климат? В данном контексте уместно привести пример продолжающейся научной дискуссии о том, могут ли электромобили снизить выбросы загрязняющих веществ и ПГ, если электричество, необходимое для их работы, вырабатывается «грязными» способами, например, на угольной электростанции [6]. Поэтому вопрос о разработке методов и моделей для оценки эффективности государственных мер поддержки развития альтернативного транспорта с точки зрения достижения конечного декларируемого результата остается актуальным.

Целью данной работы является разработка и реализация с помощью библиотек Python модели, позволяющей прогнозировать изменения в углеродоемкости экономики страны в зависимости от мер государственной поддержки развития транспорта на альтернативных видах топлива.

Материалы и методы. Основным источником данных для построения модели послужила база данных европейской обсерватории альтернативных топлив

<https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/>, а также данные Всемирного банка worldbank.org/. Модель строилась на основе машинного обучения, использовался алгоритм построения модели логистической регрессии с бинарным откликом.

Алгоритм логистической регрессии с бинарным откликом выдает вероятность отнесения того или иного объекта к одному из двух рассматриваемых классов, причем вероятность определяется как число из диапазона $[0, 1]$. В зависимости от значения полученной вероятности, наблюдению назначается тот или иной класс. Изначально задача классификации решается на обучающей выборке данных, затем качество модели проверяется на тестовой выборке. Для проверки качества модели классификации используется ROC – анализ, т.е. строится ROC-кривая (Receiver Operator Characteristic), которая показывает зависимость количества верно классифицированных положительных примеров от количества неверно классифицированных отрицательных примеров [7].

В терминологии ROC-анализа верно классифицированные положительные примеры называются истинно положительным, неверно классифицированные отрицательные примеры — ложно отрицательным множеством. При этом предполагается, что у классификатора имеется некоторый параметр, варьируя который, можно получить то или иное разбиение на два класса. Этот параметр называют порогом, или точкой отсечения (cut-off value). В зависимости от него будут получаться различные величины ошибок I и II рода [8-9].

Далее алгоритм построения модели был запрограммирован с использованием библиотек Python для дальнейшего самостоятельного использования заинтересованными исследователями.

Результаты. Предикторами в построенной модели логистической регрессии являются виды различных льгот (да/нет), а также ВВП на душу населения (в долларах США). В модели рассмотрены следующие основные виды льгот для транспорта на альтернативном топливе:

1. Субсидии на покупку транспортного средства на альтернативном топливе;
2. Налоговые льготы при регистрации транспортного средства;
3. Налоговые льготы при владении (например, сокращение или отмена транспортного налога);
4. Налоговые льготы для бизнеса (за использование транспортных средств на альтернативном топливе в корпоративном парке);
5. Местные льготы (льготная парковка, преимущественный проезд и т.п.);
6. Инфраструктурные стимулы (стимулы по развитию зарядочной инфраструктуры)
7. Льготы на НДС;
8. Другие стимулы.

Выборка стран составляла данные по 33 странам (Австрия, Кипр, Финляндия, Венгрия, Латвия, Мальта, Португалия, Испания, Великобритания, Бельгия, Чехия, Франция, Исландия, Лихтенштейн, Нидерланды, Румыния, Швеция, Болгария, Дания, Германия, Ирландия, Литва, Норвегия, Словакия, Швейцария, Хорватия, Эстония, Греция, Италия, Люксембург, Польша, Словения, Турция. Данные рассматривались за период с 2008 по 2019 (12 лет). Данные за 2020-2021 не были учтены, так как предполагалось, что они могут быть искажены за счет пандемии COVID-19. В качестве отклика в модели рассматривается изменение углеродоемкости экономики страны. Под углеродоемкостью

понимается отношение выбросов CO₂ к ВВП. Если углеродоемкость с предшествующий год была больше, чем в последующий, то отклик получал значение 1 (снижение произошло), В обратном случае, отклик получал значение 0 (снижения не произошло).

После апробации модели на данных по мерам государственной поддержки для электромобилей (BEV и PHEV) и демонстрации работоспособности предложенного подхода, был разработан программный модуль, который позволяет пользователю (стороннему исследователю) самостоятельно импортировать данные, построить модель логистической регрессии, проверить ее качество по параметрам *Precision* (точность), *Recall* (полнота) и *AUC* (площадь под кривой), а также провести визуализацию кривой *AUC* путем построения графика. Текст программного модуля на языке Python приведен ниже.

```
#чтение данных, так как виды поддержки уникальны, используем их в
качестве индекса
import pandas as pd
DATA = pd.read_csv("fleet-data.csv", delimiter=',', index_col='competitorname')
#обучение модели будем проводить на данных, за исключением некоторых
стран
train_data = DATA.drop(['Austria18', 'Bulgaria20', 'Hungary18', 'Malta20'])
#отбор данных для предикторов, удаление двух последних столбцов, индекс
не включается в данные автоматически.
X = pd.DataFrame(train_data.drop(['growthrate', 'Y'], axis=1))
#отбор столбца для отклика
y = pd.DataFrame(train_data['Y'])
#подключение модели логистической регрессии из библиотеки sklearn
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
#обучение модели
reg = LogisticRegression(random_state=2019, solver='lbfgs').fit(X,
y.values.ravel())
#прогноз для страны из таблицы
#выбор строки из таблицы
AirHeads = DATA.loc['Air Heads',:].to_frame().T
#отбор данных для предикторов и предсказание
reg.predict(AirHeads.drop(['growthrate', 'Y'], axis=1))
#чтение тестовых данных и отбор предикторов
test_data = pd.read_csv("ev-test.csv", delimiter=',', index_col='competitorname')
X_test = pd.DataFrame(test_data.drop(['Y'], axis=1))
#предсказание с помощью обученной модели, порог отсечения по
умолчанию составляет 0.5
Y_pred = reg.predict(X_test)
Y_pred
#вероятности отнесения к 0 и 1 классу объектов тестовых данных
соответственно
Y_pred_probs = reg.predict_proba(X_test)
```

```

Y_pred_probs
#отбор вероятностей отнесения объектов к классу 1
Y_pred_probs_class_1 = Y_pred_probs[:, 1]
Y_pred_probs_class_1
#отбор отклика Y из тестовых данных и преобразование в массив
Y_true = (test_data['Y'].to_frame().T).values.ravel()
Y_true
#подключение библиотеки для вычисления метрик
from sklearn import metrics
fpr, tpr, _ = metrics.roc_curve(Y_true, Y_pred)
#вычисляем AUC
metrics.roc_auc_score(Y_true, Y_pred_probs_class_1)
#вычисление Recall
metrics.recall_score(Y_true, Y_pred)
#вычисление Precision
metrics.precision_score(Y_true, Y_pred)
#подключим библиотеки для визуализации
import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline
metrics.plot_roc_curve(reg, X_test, Y_true, color='darkorange')
plt.xlim([0.0, 1.0])
plt.ylim([0.0, 1.05])
plt.xlabel('False Positive Rate')
plt.ylabel('True Positive Rate')
plt.title('Receiver operating characteristic example')
plt.legend(loc="lower right")
plt.plot([0, 1], [0, 1], color='navy', lw=2, linestyle='--')
plt.show()

```

Для самостоятельной работы с разработанным программным модулем пользователю необходимо скачать исходные данные с сайта европейской обсерватории по альтернативным топливам в формате csv, выделить интересующие его столбцы и строки, а также скачать данные в таком же формате с сайта Всемирного банка и также выделить интересующие строки по ВВП и углеродоемкости стран, входящих в выборку. Далее два файла в формате csv могут быть «склеены» средствами Python или SQL и импортированы в файл с именем fleet-data.csv, который используется при построении модели логистической регрессии.

Заключение. Разработанный алгоритм позволяет провести оценку эффективности мер государственной поддержки развития альтернативных транспортных средств с точки зрения достижения конечного результата – снижения отрицательного воздействия транспорт на окружающую среду и климат. При необходимости он может быть модифицирован пользователем на этапе формирования исходного файла данных со значениями предикторов и откликов.

Например, одним из логичных способов модификации модели может быть «разнесение» во времени предикторов и откликов на более длительный срок (не один год, как предполагалось изначально, а на два и более, чтобы меры государственной поддержки успели заработать в полную силу) или учет накопительного эффекта от воздействия вышеупомянутых мер государственной поддержки. Именно по этой причине этап формирования исходного файла не был автоматизирован средствами библиотек Python.

В качестве недостатка предложенного подхода можно отметить тот факт, что положительное влияние мер государственной поддержки развития транспорта на альтернативном топливе не всегда может напрямую отражаться на снижении углеродоемкости экономики страны. Такое «затемнение» положительного эффекта от перехода на более экологичный транспорт может происходить из-за ухудшения экологической ситуации в других отраслях экономики (например, энергоемкой промышленности) или из-за действий, так называемого, «эффекта отскока» [10]. Поэтому использование модели лучше проводить на данных стран, в которых реализуется систематическая и целенаправленная государственная климатическая политика, затрагивающая все сферы экономической деятельности.

Литература

1. Lehtveer M., Brynolf S., Grahn M. What Future for Electrofuels in Transport? Analysis of Cost Competitiveness in Global Climate Mitigation. *Environmental Science & Technology*, 2019, No.53 (3), PP. 1690-1697
2. Ратнер С.В., Иосифов В.В. Государственная поддержка развития электромобилей: субсидирование или инфраструктурные стимулы// Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2019. Т.12, Вып. 4, стр. 372-387
3. Ратнер С.В., Иосифов В.В. Сравнительный анализ конкурирующих инновационных технологий наземного автотранспорта по эколого-экономическим показателям // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2018. Т. 11, № 4. С. 212—221.
4. Козлов А.Е., Иосифов В.В. Современное состояние и перспективы развития инновационных транспортных систем на водородном топливе. В сборнике: Управление инновациями – 2019. Материалы международной научно-практической конференции. 2019. С. 167-173.
5. Nagos D., Ahlgren E. Exploring cost-effective transitions to fossil independent transportation in the future energy system of Denmark. *Applied Energy* 2020, No.261, P.114389.
6. Ратнер С.В. Эволюция транспортной инфраструктуры в целях охраны климата: развитие инновационных технологий автомобильного транспорта в России и мире// Инновации, 2019. №5, С. 28-34.
7. Тырсин А.Н. Логистическая регрессия как диагностическая модель сложных стохастических систем // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2016. Т. 23. № 4. С. 391-393.
8. Первун О.Е. Логистическая регрессия как возможная нейронная сеть // Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере. 2020. № 4 (30). С. 56-63.
9. Вараксин А.Н., Шалаумова Ю.В., Маслакова Т.А., Константинова Е.Д. Определение статистических связей между количественной и дихотомической

- переменными: логистическая регрессия и методы скользящего среднего // Экологические системы и приборы. 2021. № 4. С. 3-9.
10. Задорожная Л.Е. эффект «отскока» в циркулярной экономике // В сборнике: Управление инновациями – 2020. Материалы международной научно-практической конференции. 2020. С. 87-91.

References

1. Lehtveer M., Brynolf S., Grahn M. What Future for Electrofuels in Transport? Analysis of Cost Competitiveness in Global Climate Mitigation. *Environmental Science & Technology*, 2019, No.53 (3), PP. 1690-1697
2. Ratner S.V., Iosifov V.V. State support for the development of electric vehicles: subsidies or infrastructure incentives // *Financial Analytics: Problems and Solutions*. 2019. V.12, Issue. 4, pp. 372-387
3. Ratner S.V., Iosifov V.V. Comparative analysis of competing innovative technologies of ground vehicles in terms of environmental and economic indicators. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economic sciences*. 2018. V. 11, No. 4. S. 212-221.
4. Kozlov A.E., Iosifov V.V. Current state and prospects for the development of innovative transport systems on hydrogen fuel. In the collection: *Innovation Management - 2019. Proceedings of the international scientific and practical conference*. 2019. S. 167-173.
5. Hagos D., Ahlgren E. Exploring cost-effective transitions to fossil independent transportation in the future energy system of Denmark. *Applied Energy* 2020, No.261, P.114389.
6. Ratner S.V. The evolution of transport infrastructure for climate protection: the development of innovative road transport technologies in Russia and the world // *Innovations*, 2019. No. 5, pp. 28-34.
7. Tyrsin A.N. Logistic regression as a diagnostic model for complex stochastic systems // *Review of Applied and Industrial Mathematics*. 2016. V. 23. No. 4. S. 391-393.
8. Pervun O.E. Logistic regression as a possible neural network // *Information and computer technologies in economics, education and social sphere*. 2020. No. 4 (30). pp. 56-63.
9. Varaksin A.N., Shalaumova Yu.V., Maslakova T.A., Konstantinova E.D. Determination of statistical relationships between quantitative and dichotomous variables: logistic regression and moving average methods // *Ecological systems and devices*. 2021. No. 4. S. 3-9.
10. Zadorozhnaya L.E. The rebound effect in the circular economy. In the collection: *Innovation Management - 2020. Proceedings of the international scientific and practical conference*. 2020. S. 87-91.

Поступила в редакцию 15 ноября 2022