

Макроанализ и прогноз перспектив распространения электромобилей

Тхакур Дхакал

Постдок, thakur_dhakai2003@kangwon.ac.kr

Квон Сун Мин

Докторант, ksm@kangwon.ac.kr

Департамент промышленного инжиниринга (Department of Industrial Engineering), Канвонский национальный университет (Kangwon National University), Корея, Chuncheon Si, South Korea

Аннотация

В последние годы особый интерес исследователей вызывают распространение аккумуляторных электромобилей (АЭ) в мире и растущая потребность в зарядных станциях. Продуктивным источником данных для изучения этих вопросов служит сценарий, разработанный Европейской обсерваторией альтернативных источников энергии (European Alternative Fuels Observatory, EAFO) в 2019 г. для стран Европейского Союза (ЕС). На первом этапе исследования статистика глобальных продаж АЭ в период с 2005 по 2018 г. была сопоставлена с расчетами, выполненными с помощью двух наиболее популярных эконометрических моделей: логистической

и диффузной модели Басса. Выявлены различные категории пользователей АЭ и проанализированы темпы и ускорение распространения этих транспортных средств. Исходя из полученных результатов, подготовлен долгосрочный прогноз потребности в зарядных станциях для АЭ. Показано, что модель Басса наилучшим образом описывает реальную динамику распространения АЭ, глобальный рынок которых с 5.3 млн ед. в 2019 г. достигнет почти 40 млн ед. к 2030 г. С точки зрения мирового спроса на зарядные станции сценарий распространения АЭ в ЕС позволяет спрогнозировать рост их числа с 2 до 10 млн ед. за тот же период времени.

Ключевые слова:

электромобили; бизнес; распространение; инновации; потенциальный рынок

Цитирование: Dhakal T., Min K.S. (2021) Macro Study of Global Electric Vehicle Expansion. *Foresight and STI Governance*, 15(1), 67–73. DOI: 10.17323/2500-2597.2021.1.67.73

Macro Study of Global Electric Vehicle Expansion

Thakur Dhakal

Postdoctoral Researcher, thakur_dhakal2003@kangwon.ac.kr

Kyoung-Soon Min

Doctoral Student, ksm@kangwon.ac.kr

Department of Industrial Engineering, Kangwon National University, Chuncheon Si, South Korea

Abstract

This study analyzes the diffusion of battery electric vehicles (BEV) in the world and evaluates the vehicle charging stations based on the European Union (EU) scenario. Initially, the global BEV sales data from 2005 to 2018 are fitted with the two most frequently used econometric logistics and Bass diffusion models. Further, the study identifies the different stage adopters, forecasts the consumption of BEVs, and examines the velocity and acceleration of

BEV diffusion. Finally, future charging stations are examined to meet the BEV sales demand. Results suggest that the adoption of BEVs demonstrates a better fit on the Bass model where the global BEV market is estimated to grow from 5.3 millions in 2019 to near 40 millions units by 2030, and with the reference of the EU countries' adoption scenario, the global charging stations will be increased from near 2 millions in 2019 to near 10 millions units by 2030.

Keywords: business; innovation; diffusion; potential market; electric vehicle

Citation: Dhakal T., Min K.S. (2021) Macro Study of Global Electric Vehicle Expansion. *Foresight and STI Governance*, 15(1), 67–73. DOI: 10.17323/2500-2597.2021.1.67.73

Электромобили считаются одной из наиболее быстроразвивающихся инноваций. Относящиеся к ним технологии непрерывно совершенствуются и выводятся на рынок. Однако процесс освоения новинок потребителями остается неравномерным и непостоянным. Сначала новый продукт принимает лишь небольшая часть потенциальных пользователей, играющих ключевую роль в его последующем распространении [Mahajan et al., 1990]. Рыночные перспективы в первую очередь определяются такими характеристиками, как сравнительные преимущества, совместимость, возможность пробного использования, наглядность эффекта и сложность. Диффузия инноваций последовательно охватывает пять групп пользователей: инноваторы, первые последователи, раннее и позднее большинство и, наконец, отстающие [Rogers, 1983]. Стадии распространения инноваций и соответствующие доли рынка показаны на рис. 1.

Электромобили относятся к «зеленым» технологиям, популярность которых за последнее десятилетие заметно возросла среди политиков, потребителей и производителей автомобилей. Они стали одним из ключевых инновационных продуктов в автомобильной отрасли [Al-Alawi, Bradley, 2013], однако динамика их развития определяется прежде всего отношением пользователей.

Анализ моделей и этапов распространения электромобилей позволяет их производителям рассчитывать на преимущества от снижения неопределенности при составлении стратегических планов. Энергетики смогут эффективнее планировать деятельность с учетом дополнительного спроса со стороны владельцев электромобилей. Политики получают возможность прогнозировать реализацию стимулирующих государственных программ и формулировать соответствующие национальные цели в области охраны окружающей среды [Mahmoudzadeh Andwari et al., 2017]. Совокупный объем продаж электромобилей стабильно растет — как в аккумуляторной (Battery Electric Vehicles, BEV), так и в гибридной версии (Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEV) [Hertzke et al., 2018; Daziano, Chiew, 2012; Nezamoddini, Wang, 2016; Rezvani et al., 2015].

В настоящей статье сравниваются параметры широко используемых моделей (Басса и логистической эконометрической модели) для описания развития аккумуляторных электромобилей (АЭ). Прослеживаются стадии принятия технологии потребителями и прогнозируется ее распространение на период до 2030 г. С помощью функции Басса анализируются темпы и ускорение этого процесса в ЕС, на основе чего рассчитывается среднее число зарядных станций для АЭ.

Контекст

Электромобили рассматриваются как практичное решение с продолжительной историей и устойчивыми перспективами для будущего технологического развития, способное снизить текущий уровень зависимости от ископаемого топлива и объем выбросов парниковых газов [Adnan et al., 2017; Liao et al., 2017]. В 1830 г. Джозеф Генри (Joseph Henry) впервые представил электромотор постоянного тока. Пять лет спустя профессор Сибрандус

Рис. 1. Стадии распространения инноваций



Стратинг (Sibrandus Stratingh) разработал компактную модель электромобиля. А в 1847 г. Мозес Фармер (Moses Farmer) сконструировал двухместный электромобиль. Однако в отсутствие перезаряжаемых элементов питания (аккумуляторов) подобные технологии оставались нежизнеспособны. Прорыв в данном направлении совершили французские инженеры Гастон Планте (Gaston Planté) и Камиль Фор (Camille Faure). В 1865 г. они создали первый аккумулятор, а в 1881 г. увеличили его емкость. Таким образом, был открыт новый этап в развитии электромобилестроения [Bansal, 2017], однако потребовалось еще более века, прежде чем в 2000 г. на мировом рынке появился первый коммерческий (гибридный) электромобиль (Toyota Prius) [Dijk et al., 2013].

Исследования распространения инноваций (*diffusion studies*) начались в 1960-е гг. [Arndt, 1967; Bass, 1969; Mahajan et al., 1990; Vinet, Zhedanov, 2010]. Моделирование этого процесса, который принимает форму S-образной кривой [Fisher, Pry, 1971], показало свою продуктивность с точки зрения понимания и оценки роста будущего спроса [Rao, Kishore, 2010].

В настоящем исследовании выполнен макроанализ распространения электромобилей с использованием двух S-образных моделей роста — Басса и логистической модели. Быстрое распространение «чистых» и экологичных электромобилей обусловлено различными факторами, в частности быстрым удешевлением аккумуляторов, повышением цен на бензин, ростом информированности потребителей, государственной политикой, эксплуатационными расходами и др. [Åhman, 2006; Liu et al., 2013; Rezvani et al., 2015; Scrosati et al., 2015; Wansart, Schnieder, 2010]. Вместе с тем их внедрение осложняется беспокойством относительно дальности пробега, продолжительности зарядки и слаборазвитой инфраструктуры для ее обеспечения [Shen et al., 2019]. У электромобилей появятся шансы вытеснить обычные автомобили с рынка при двух условиях: их начнут воспринимать как экологичную альтернативу традиционному транспорту, снижающую социальное и территориальное неравенство, а цены на них будут контролироваться [Ortar, Ryghaug, 2019].

Табл. 1. Распространение АЭ по странам (тыс. ед.)

Страна	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Австралия							0.05	0.22	0.41	0.78	1.54	2.21	3.42	5.22
Бразилия										0.06	0.12	0.25	0.32	0.4
Канада							0.22	0.84	2.48	5.31	9.69	14.91	23.62	46.28
Чили							0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.05	0.17	0.28
Китай					0.48	1.57	6.32	15.96	30.57	79.48	226.19	483.19	951.19	1767.06
Финляндия							0.06	0.11	0.17	0.36	0.61	0.84	1.35	2.12
Франция	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12	0.3	2.93	8.6	17.38	27.94	45.21	66.97	92.95	124.01
Германия	0.02	0.02	0.02	0.09	0.1	0.25	1.65	3.86	9.18	17.52	29.6	40.92	59.09	95.15
Индия				0.37	0.53	0.88	1.33	2.76	2.95	3.35	4.35	4.8	7	10.3
Япония					1.08	3.52	16.13	29.6	44.35	60.46	70.93	86.39	104.49	131.02
Корея						0.06	0.34	0.85	1.45	2.76	5.67	10.77	24.07	53.71
Мексика								0.09	0.1	0.15	0.24	0.5	0.73	0.93
Нидерланды				0.01	0.15	0.27	1.12	1.91	4.16	6.83	9.37	13.11	21.12	46.18
Новая Зеландия						0.01	0.03	0.05	0.08	0.19	0.49	1.65	4.58	8.94
Норвегия			0.01	0.26	0.4	0.79	2.63	6.81	15.01	33.1	58.88	83.1	116.13	162.27
Португалия						0.72	0.91	0.96	1.1	1.29	1.97	2.78	4.67	9.1
ЮАР									0.03	0.05	0.17	0.27	0.33	0.4
Швеция							0.18	0.45	0.88	2.12	5.08	8.03	12.39	19.54
Таиланд		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.28
Великобритания	0.22	0.55	1	1.22	1.4	1.65	2.87	4.57	7.25	14.06	20.95	31.46	45.01	60.75
США	1.12	1.12	1.12	2.58	2.58	3.77	13.52	28.17	75.86	139.28	210.33	297.06	401.55	640.37
Другие	0.53	0.53	0.53	0.61	0.64	0.78	3.23	7.09	12.04	20.59	35.43	49.05	71.51	106.48
Итого	1.89	2.23	2.69	5.15	7.48	14.59	53.53	112.92	225.5	415.74	736.9	1198.37	1945.78	3290.80

Источник: [BNK Securities, 2019].

Существует сравнительно немного исследований, посвященных внедрению и распространению электромобилей, в частности, сравнению и оценке эконометрических диффузионных моделей, измерению темпов, динамики и прогнозированию этих процессов на основе текущих параметров. Восполнить подобные пробелы позволит анализ данных о совокупной численности пользователей АЭ в 2005–2018 гг., отраженных в соответствующих докладах компании BNK Securities [BNK Securities, 2019] и Международного энергетического агентства (МЭА) [IEA, 2019] (табл. 1).

Теоретическая модель

Для анализа глобального распространения АЭ применяются логистическая модель и смешанная диффузионная модель Басса [Frank, 2004]. Ниже приведено их краткое описание.

Модель Басса

Данный инструмент отличается удобством для изучения закономерностей принятия новых продуктов и прогнозирования спроса на них [Zhu, Du, 2018]. Ниже представлено математическое выражение S-образной диффузионной модели Басса [Bass, 1969], в которой каждый пользователь покупает только одну единицу нового продукта, а рыночный потенциал остается неизменным во времени:

$$N(t) = m \left[\frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} \right], \quad (1)$$

где: p — коэффициент инновационности, q — коэффициент имитации, t — время, m — совокупная численность конечных (потенциальных) пользователей

к моменту времени t , а $N(t)$ — совокупная численность пользователей к моменту времени t . Коэффициенты p и q являются зависящими от времени переменными.

Логистическая модель

Логистическая модель Грилихеса [Griliches, 1957] также основана на S-образной сигмовидной функции. Совокупная численность пользователей инновации $N(t)$ и ее логистический рост выражены уравнением 2.

$$N(t) = \frac{m}{1 + e^{-(a+bt)}}, \quad (2)$$

где m — число потенциальных пользователей, a — переменная местоположения или времени, b — темпы роста числа пользователей относительно доли агентов, пока не пользующихся электромобилями, и t — время.

Логистическая функция является симметричной относительно точки перегиба кривой, соответствующей максимальным темпам распространения ($mb/4$); эта точка достигается, когда новый продукт принимают половина максимально возможного числа пользователей ($N(t) = mb/4$).

Эмпирический анализ

Параметры распространения на основе модели Басса и логистической модели, оцененные с помощью инструмента NLS в R-studio, представлены в табл. 2. Стандартная ошибка при анализе данных о глобальном распространении АЭ в 2005–2018 гг. составила 24.18 и 24.84 соответственно. Наиболее релевантная целям нашего исследования модель Басса позволила оценить темпы роста числа потенциальных пользователей АЭ на уровне $4.07E+04$, а коэффициенты инновацион-

Табл. 2. Сравнение параметров распространения

Параметры	Модель Басса	Логистическая модель
m	4.07E+07	3.61E+07
$a(p)$	2.52E-05	-9.898***
$b(q)$	0.538***	0.543***
Остаточная стандартная ошибка	24.18	24.84

*** значимость на уровне 0.001.
Источник: составлено авторами.

ности и имитации — 2.52E-05 и 0.538 соответственно. Имитация обеспечила высокую значимость показателя принятия АЭ с доверительным интервалом 99.9%.

На основе данных о росте числа пользователей АЭ, полученных с помощью модели Басса с расчетными параметрами, и фактической статистики [BNK Securities, 2019] были построены графики (рис. 2). Результаты вычисления по модели Басса соответствуют реальной картине фактического распространения АЭ в 2005–2019 гг. Прогноз спроса на 2019–2030 гг. на основе расчетных параметров представлен на рис. 3. Ожидается, что глобальный рынок АЭ вырастет с 5.3 млн ед. в 2019 г. до почти 40 млн ед. — в 2030 г.

Первая производная модели Басса (уравнение 1) определяет число новых пользователей в единицу времени. Скорость распространения также измеряется как количество единиц в определенный период времени, то есть в нашем случае — число пользователей в год. Аналогично вторая производная характеризует уровень распространения в расчете на квадрат времени (ускорение), отражающий динамику численности новых пользователей в течение некоторого периода времени. Темпы и ускорение распространения АЭ рассчитывались для анализа колебаний рынка как разность между первым и вторым значениями числа АЭ, полученными с помощью диффузионной функции Басса за период с 2005 по 2030 г. (рис. 4).

Рис. 2. Соответствие фактической статистики пользователей АЭ и расчетов по модели Басса

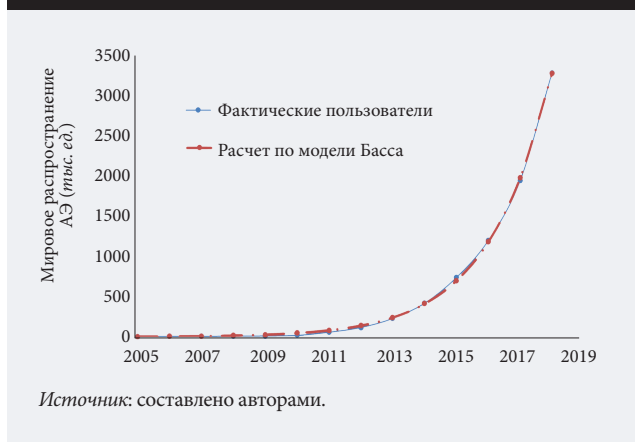
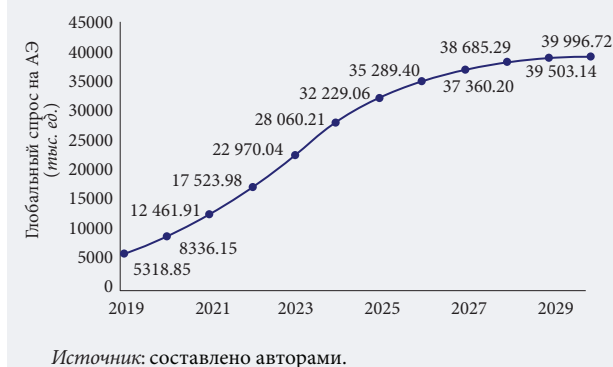


Рис. 3. Прогноз глобального спроса на АЭ в 2019–2030 гг.



Наивысшая скорость распространения АЭ составит 5.4 млн пользователей в год в 2023 г., максимальное ускорение (прирост) достигнет 1.1 млн в год в 2020 г. После 2023 г. ускорение распространения станет отрицательным, но со временем вернется к росту.

Этапы распространения АЭ

Начало коммерческого использования электромобилей датируется 2000 г. К 2005 г. продажи АЭ достигли 1890 ед. в 2005 г., к 2018 г. — 3 290 800 ед. Их динамичное распространение в мире обеспечено поведением «инноваторов» и «раннего большинства», которое определяется технологическим уровнем электромобилей, в частности эффектами имитации. К «инноваторам» относятся первые 2.5% потребителей, к «ранним пользователям» — 13.5, к «раннему» и «позднему большинству» — по 34, к «отстающим» — оставшиеся 16% (см. рис. 1) [Vinet, Zhedanov, 2010]. Данные о предельном числе потенциальных пользователей АЭ, составляющем около 40 710 000, позволяют рассчитать параметры распространения технологии среди различных групп пользователей. По данным на 2016 г., число «инноваторов» составило 1 017 750 человек. Следующие 5 495 850 пользователей — «раннее меньшинство» — появились с

Рис. 4. Темпы и ускорение глобального распространения АЭ

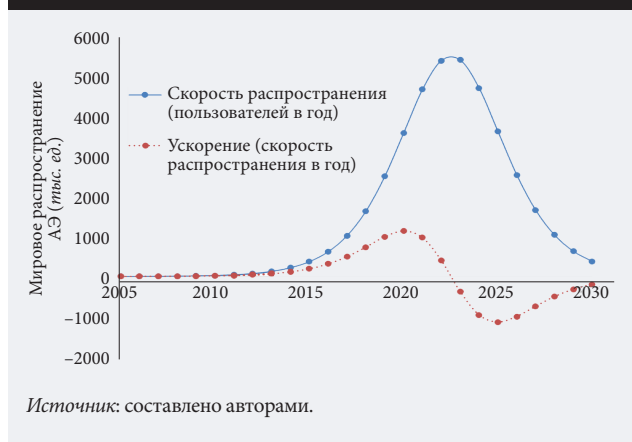
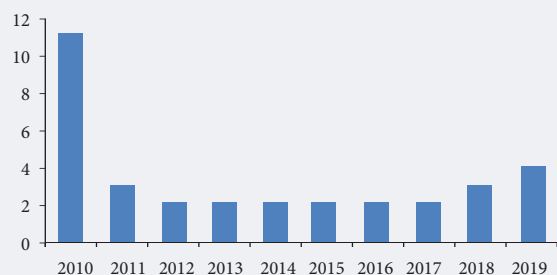


Рис. 5. Среднее число АЭ на зарядную станцию



Источник: составлено авторами.

2016 по 2020 г. Благодаря присоединению «раннего большинства» в 2023 г. ожидается достижение рубежа в 20.36 млн пользователей. Прирост их числа с 20.36 до 34.2 млн в 2023–2026 гг. будет обеспечен принятием этой технологии «поздним большинством». Тех, кто начнет пользоваться АЭ после 2026 г., можно отнести к «отстающим».

Прогноз спроса на зарядные станции для АЭ на основе данных по ЕС

По данным за 2010–2019 гг., среднее число АЭ на одну общественную зарядную станцию в ЕС составляет 3.3.¹ Более подробная информация представлена на рис. 5. Для того чтобы спрогнозировать спрос на зарядные станции, за среднюю был взят показатель в четыре АЭ на станцию (в соответствии со сценарием для ЕС, разработанным в 2019 г.).

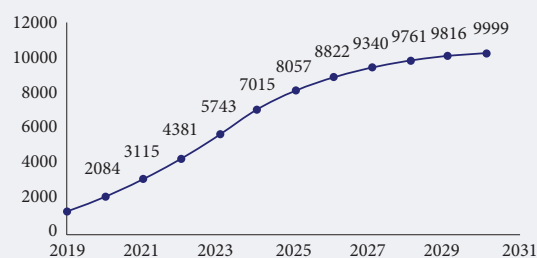
Исходя из показателей будущего глобального спроса на АЭ, полученных с помощью модели распространения Басса и сценария распространения общественных зарядных станций для АЭ в ЕС, составлен прогноз глобального спроса на них на период 2019–2030 гг. (рис. 6).

Расчетные четыре АЭ на зарядную станцию и показатели глобального распространения АЭ, спрогнозированные с помощью модели роста Басса, позволяют предположить, что число общественных зарядных станций составит около 10 млн к концу 2030 г.

Заключение

Для анализа распространения АЭ в мире глобальная статистика внедрения этой технологии за 2005–2018 гг. была сопоставлена с расчетами, выполненными с применением модели Басса и логистической модели с помощью инструмента NLS в R-studio. Результаты, полученные с использованием данного инструмента, оказались более корректными, чем оценки в рамках логистической модели. Число потенциальных пользователей АЭ составило 4.07Е7. Согласно глобальному сценарию рас-

Рис. 6. Число общественных зарядных станций для АЭ (тыс. ед.)



Источник: составлено авторами.

пространения, в настоящее время АЭ востребованы среди так называемых ранних пользователей. Прогноз спроса на глобальном рынке с применением модели роста Басса позволяет ожидать увеличение этого показателя с 5 318 850 ед. в 2019 г. до 39 996 720 ед. к 2030 г. Оценка глобального спроса на общественные зарядные станции для АЭ на основе сценария их распространения в ЕС демонстрирует рост числа зарядных станций в мире с 2 084 000 в 2019 г. до 9 999 000 к 2030 г.

Оптимальное энергоснабжение требует своевременного прогнозирования социально-экономических тенденций и будущего спроса на энергию [Филиппов, 2018]. Оценка спроса на электроэнергию в Германии для АЭ в рамках сценариев с высокой и незначительной декарбонизацией показала, что общее число АЭ оценено в диапазоне от 1 107 575 до 4 820 539 ед. к 2030 г., а их совокупное энергопотребление составит 2400 МВтч в пиковый утренний период и 2700 МВтч — в вечерний [Loisel et al., 2014]. При этом, в отличие от повседневной эксплуатации, производство электромобилей остается крайне энергоемким процессом [Миловидов, 2019]. Предлагаемый в нашем исследовании прогноз глобального спроса на зарядные станции для АЭ исходя из средних тенденций их распространения в ЕС (без учета указанного выше обстоятельства) может стать отправной точкой для дискуссий с участием ученых, разработчиков политики и всех заинтересованных в развитии экологически чистых источников энергии. Полученные результаты представляются полезными для продолжения исследований, разработки политики и создания устойчивых инфраструктур. Анализ темпов и ускорения распространения АЭ на мировом рынке позволил авторам убедиться в отсутствии других работ на данную тему. Изучение динамики рассматриваемых показателей имеет перспективы стать важным направлением дальнейшего анализа рынка АЭ.

Ключевые ограничения проведенного исследования состоят прежде всего в наличии множества других диффузионных моделей, тогда как для оценки распро-

¹ <https://www.eafo.eu/electric-vehicle-charging-infrastructure>, дата обращения 15.11.2020.

странения АЭ мы опирались лишь на модель Басса и логистическую модель. На распространение этой технологии влияют различные факторы, которые в настоящем исследовании не учитывались. Так, не рассчитывались глобальные показатели темпов и ускорения диффузии АЭ, оцениваемые с помощью первого и второго дифференцирования модели Басса.

Число общественных зарядных станций для АЭ в нашем исследовании оценивалось исключительно на базе текущего сценария для ЕС, однако по миру может существенно варьировать в зависимости от ситуации в конкретной стране.

Указанные ограничения возможно устранить в ходе дальнейшего изучения динамики рынка АЭ, в частности анализа и валидации факторов, влияющих на него как на глобальном, так и на национальном уровне. Тем самым удастся оценить потребности в электроэнергии, необходимой для удовлетворения будущего спроса на электромобили, и экологический эффект от роста парка. Исследования, аналогичные предпринятому, целесообразно проводить на уровне отдельных стран, а полученные оценки факторов распространения АЭ и соответствующих политических инициатив — положить в основу дальнейшей разработки темы.

Библиография

- Миловидов В. (2019) Инновации, устойчивый рост и энергетика: возможен ли цивилизационный рывок? *Форсайт*, 13(1), 62–68. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2019.1.62.68>
- Филиппов С. (2018) Новая технологическая революция и требования к энергетике. *Форсайт*, 12(4), 20–33. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2018.4.20.33>
- Adnan N., Nordin S.M., Rahman I., Vasant P.M., Noor A. (2017) A comprehensive review on theoretical framework-based electric vehicle consumer adoption research. *International Journal of Energy Research*, 3640. <https://doi.org/10.1002/er.3640>
- Åhman M. (2006) Government policy and the development of electric vehicles in Japan. *Energy Policy*, 34(4), 433–443. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.06.011>
- Al-Alawi B.M., Bradley T.H. (2013) Review of hybrid, plug-in hybrid, and electric vehicle market modeling Studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 190–203. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.048>
- Arndt J. (1967) Role of Product-Related Conversations in the Diffusion of a New Product. *Journal of Marketing Research*, 4(3), 291–295. <https://doi.org/10.2307/3149462>
- Bansal R.C. (2017) Electric vehicles. In: *Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives*. (ed. A. Emadi), London: Taylor and Francis, 55–96. <https://doi.org/10.1201/9781420028157>
- Bass F.M. (1969) A New Product Growth for Model Consumer Durables. *Management Science*, 15, 215–227. <https://doi.org/10.1287/mnsc.15.5.215>
- BNK Securities (2019) *Detecting new changes and distribution of electric vehicles*, Busan: BNK Securities (in Korean).
- Daziano R.A., Chiew E. (2012) Electric vehicles rising from the dead: Data needs for forecasting consumer response toward sustainable energy sources in personal transportation. *Energy Policy*, 51, 876–894. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.09.040>
- Dijk M., Orsato R.J., Kemp R. (2013) The emergence of an electric mobility trajectory. *Energy Policy*, 52, 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.024>
- Fisher J.C., Pry R.H. (1971) A simple substitution model of technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 3, 75–88. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(71\)80005-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(71)80005-7)
- Frank L.D. (2004) An analysis of the effect of the economic situation on modeling and forecasting the diffusion of wireless communications in Finland. *Technological Forecasting and Social Change*, 71, 391–403. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(02\)00392-X](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(02)00392-X)
- Griliches Z. (1957) Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change. *Econometrica*, 25(4), 501–522. <https://doi.org/10.2307/1905380>
- Hertzke P., Müller N., Schenk S., Wu T. (2018) *The global electric-vehicle market is amped up and on the rise*, New York: McKinsey Co.
- IEA (2019) *Global EV Outlook 2019: Scaling-up the transition to electric mobility*, Paris: International Energy Agency.
- Liao F., Molin E., van Wee B. (2017) Consumer preferences for electric vehicles: A literature review. *Transport Reviews*, 37(3), 252–275. <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1230794>
- Liu Y., Klampfl E., Tamor M.A. (2013) *Modified bass model with external factors for electric vehicle adoption* (SAE Technical Paper), Warrendale, PA: SAE International. <https://doi.org/10.4271/2013-01-0505>
- Loisel R., Pasaoglu G., Thiel C. (2014) Large-scale deployment of electric vehicles in Germany by 2030: An analysis of grid-to-vehicle and vehicle-to-grid concepts. *Energy Policy*, 65, 432–443. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.029>
- Mahajan V., Muller E., Bass F.M. (1991) New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research. In: *Diffusion of Technologies and Social Behavior* (eds. N. Nakićenović, A. Grübler), Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, 125–177. https://doi.org/10.1007/978-3-662-02700-4_6
- Mahmoudzadeh Andwari A., Pesiridis A., Rajoo S., Martinez-Botas R., Esfahanian V. (2017) A Review of Battery Electric Vehicle Technology and Readiness Levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 414–430. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.138>
- Nezamoddini N., Wang Y. (2016) Risk management and participation planning of electric vehicles in smart grids for demand response. *Energy*, 116(1), 836–850. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.002>
- Ortar N., Ryghaug M. (2019) Should all cars be electric by 2025? The electric car debate in Europe. *Sustainability*, 11(7), 1868. <https://doi.org/10.3390/su11071868>
- Rao K.U., Kishore V.V.N. (2010) A review of technology diffusion models with special reference to renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 1070–1078. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.11.007>
- Rezvani Z., Jansson J., Bodin J. (2015) Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34, 122–136. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.010>
- Rogers E. (1983) *Diffusion of Innovations*, New York: Free Press.
- Scrosati B., Garche J., Tillmetz W. (2015) *Advances in Battery Technologies for Electric Vehicles*, Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1017/cbo9781316090978.005>
- Shen Z.-J.M., Feng B., Mao C., Ran L. (2019) Optimization models for electric vehicle service operations: A literature review. *Transportation Research Part B: Methodological Volume*, 128, 462–477. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.08.006>
- Vinet L., Zhedanov A. (2010) A ‘missing’ family of classical orthogonal polynomials. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 44(8), 085201. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Wansart J., Schnieder E. (2010) Modeling market development of electric vehicles. In: *Proceedings of the 2010 IEEE International Systems Conference*, San Diego, CA: IEEE, 371–376. <https://doi.org/10.1109/systems.2010.5482453>
- Zhu Z., Du H. (2018) Forecasting the Number of Electric Vehicles: A Case of Beijing. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 170(4), 042037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/170/4/042037>