УДК 331.08

***Никифоров М.М.***

*студент группы ИВТ-22оз-М*

*Научный руководитель: Доцент кафедры ВТИСИТ –Куделин А.Г.*

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия*

*E-mail:* [*nikiforov1601@yandex.ru*](mailto:ivanov@ugtu.net)

**Сравнение точностей математических моделей диффузий инноваций для прогнозирования развития возобновляемой энергии Российской Федерации**

**Nikiforov M.M.**

*student of group ИВТ-22оз-М*

*Supervisor: Associate Professor – A.G. Kudelin*

*Ukhta State Technical University, Ukhta, Russia*

*E-mail:* [*nikiforov1601@yandex.ru*](mailto:ivanov@ugtu.net)

**Comparison of the accuracy of mathematical models of diffusion of innovations for forecasting the development of renewable energy in the Russian Federation**

**Аннотация.** Российская Федерация является лидером по добыче углеводородного сырья на мировом рынке. Но что бы оставаться энергобезопасной и снижать негативное воздействие на окружающую среду, активно развивает направление возобновляемых источников энергии. Данный доклад посвящен анализу применимости математических моделей диффузии инноваций Басса и Гомпертца для прогнозирования развития возобновляемых источников энергии на примере ветряных электростанций.

**Annotation.** The Russian Federation is a leader in the production of hydrocarbons on the world market. But in order to remain energy-safe and reduce the negative impact on the environment, it is actively developing the direction of renewable energy sources. This report is devoted to the analysis of the applicability of mathematical models of diffusion of innovations by Bass and Gompertz for forecasting the development of renewable energy sources on the example of wind farms.

**Ключевые слова:** инновация, диффузия инновации, ВИЭ, модель Басса, модель Гомпертца, ветроэнергетика.

**Keywords:** innovation, diffusion of innovation, renewable energy, Bass model, Gompertz model, wind energy.

**Введение**

Развитие возобновляемой энергетики является одной из лидирующих повесток на мировой арене. Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является основным решением по борьбе с загрязнением окружающей среды и изменением климата. Для Российской Федерации это так же является одним из важнейших направлений, т.к. более трети генерации электрической энергии приходится на возобновляемые источники энергии, около половины - на природный газ[1][2].

Доля ВИЭ в мировой энергетике увеличивается с каждым годом, и становится актуальным вопрос прогнозирования увеличения данного развития. Для решения этой проблемы будем использовать теорию диффузии инноваций, состоятельность которой доказана на товарах и продуктах, внедренных в нашу жизнь. Данная теория была популяризована американским социологом Эвереттом Роджерсом в 1962 году. В своей работе "Диффузия инноваций" [5] Роджерс исследовал скорость принятия различных инноваций. Он обнаружил, что большинство графиков принятия инноваций членами общества напоминают стандартную колоколообразную кривую, которую можно описать математически. На её основании было разработано множество математических моделей распространения новых продуктов.

В данной работе исследуется возможность применения математических моделей Басса и Гомпертца. Проанализируем данные модели на уже имеющихся данных, проверим их состоятельность в прогнозировании развития. Все исследования моделей будут производиться на одном из частных случаем ВИЭ – ветроэнергетике.

Согласно статистическому обзору мировой энергетики (BP) [3], глобальная тенденция развертывания ветроэнергетики (ВЭ) довольно оптимистична. Тем не менее, доля ВЭ не столь впечатляющая и составляет около 6% от общего производства электроэнергии (см. рис. 1).

*Рисунок 1. Мировая выработка энергии ветра и общее производство электроэнергии (ГВтч)*[3]*.*

**Методика исследования**

В качестве набора данных использовался недавний статистический обзор BP [3]. Набор данных содержит информацию об общем производстве электроэнергии по странам и регионам, производстве электроэнергии по источникам, установленных мощностях и производстве электроэнергии возобновляемыми источниками, охватывая годы с 1995 до 2020. Были проанализированы пять регионов с производством ветровой электроэнергии свыше 50 ТВтч в год к 2021 году: Европа, Северная Америка, Южная и Центральная Америка, Азиатско-Тихоокеанский регион, весь мир.

***Математическая модель Басса:***

Суть модели Басса [4] заключается в том, что рост числа потребителей инновационного продукта объясняется двумя категориями:

• Те, кто в первую очередь пробуют новый продукт сами - инноваторы;

• Те, кто узнает о новом продукте из первой категории - имитаторы.

На начальной стадии жизненного цикла продукта преобладают новаторы. По мере роста числа последователей увеличивается влияние имитаторов. Модель хорошо иллюстрирует принципы усиливающей обратной связи (количество потребителей продукта увеличивает поток новых потребителей за счет межличностного общения).

Модель Басса описывает продажи за период, которые являются производной от распределения. Было использовано следующее уравнение [4]:

|  |
| --- |
|  |

Где S(t) – продажи в период t; – совокупные продажи за период [0 ... t - 1]; p - коэффициент инновации, q - коэффициент имитации, m - общее количество всех покупок.

***Математическая модель Гомпертца:***

Это тип математической модели для временных рядов, где рост в начале периода происходит медленнее, чем в конце. Замедление происходит не так быстро, как ускорение. Модель Гомпертца [6] [7], успешно применяется для оценки различных процессов роста [8] [9]:

|  |
| --- |
| Y |

Где Y(t) - ветровая генерация в период t; X*min* - ветровая генерация в первой точке; M - верхний предел роста генерации; l и α - коэффициенты, определяющие форму кривой.

Данным исследованием проанализируем согласованность моделей. Параметры уравнения будем оценивать с помощью критерия OLS с использованием метода оптимизации Gradient Descent Descent на данных за период 1997-2015 гг. Затем рассчитаем прогноз на период 2016-2020 гг. и оценим согласованность прогноза в соответствии с точными данными.

Результаты представлены в виде сводных таблиц, спрогнозированная модель против факта:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***Математическая модель Басса*** | ***Математическая модель Гомпертца*** |  |  |
| Европа | |  | |
|  |  |  |  |
| Северная Америка | |  |  |
|  |  |  |  |
| Южная и Центральная Америка | |  |  |
|  |  |  |  |
| Азиатско-Тихоокеанский регион | |  |  |
|  |  |  |  |
| Всего в мире | |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| **Сводные данные** | |  |  |
| |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | |  | **Европа** | **Северная Америка** | **Южная и Центральная Америка** | **Азиатско-Тихоокеанский регион** | **Всего в мире** | | **Общая генерация**  **к 2020** | **510.1** | **396.7** | **85.4** | **572** | **1591.2** | | Прогноз на период 2016-2020 гг. | ***модель Басса*** | | | | | | 499 | 384 | 84 | 573 | 1231.8 | | ***модель Гомпертца*** | | | | | | 505 | 317 | 217 | 378 | 1508.2 | | | |  |
|  |  | |  |

**Заключение**

Проанализировав согласованность моделей, можно сделать вывод, что они могут быть полностью настроены на полное соответствие реальным данным, а в части прогноза модель Басса показала себя более точной практически на каждом из выбранных регионов, ошибка составляем менее пяти процентов от целого значения.

Анализ применимости математических моделей диффузии инноваций Басса и Гомпертца для прогнозирования развития возобновляемых источников энергии на примере ветряных электростанций показывает, что модель Басса является более состоятельной и будет использована для дальнейших исследований как основная.

**Список литературы**

[1] Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации. https://minenergo.gov.ru/node/14766.

[2] Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. https://minenergo.gov.ru/node/1026.

[3] BP, Statistical Review of World Energy globally consistent data on world energy markets ., (2020) 66. https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf.

[4] F.M. Bass, Bass 1969 New Prod Growth Model.pdf, Manage. Sci. 15 (1969) 215–227.

[5] J. Massiani, A. Gohs, The choice of Bass model coefficients to forecast diffusion for innovative products: An empirical investigation for new automotive technologies, Res. Transp. Econ. 50 (2015) 17–28. https://doi.org/10.1016/j.retrec.2015.06.003.

[6] K.M.C. Tj, E. Tj, The use of Gompertz models in growth analyses , and new Gompertz-model approach : An addition to the Unified-Richards family, (2017) 1–17.

[7] D. Satoh, Discrete Gompertz equation and model selection between Gompertz and logistic models ✩, Int. J. Forecast. 37 (2021) 1192–1211. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.01.005.

[8] W.L. Chu, F.S. Wu, K.S. Kao, D.C. Yen, A.M. Bunea, P. Della, M. Guidolin, P. Manfredi, D. Satoh, J.A.M. Valle, P. Barreiro, E.C. Correa, S. Benzekry, C. Lamont, A. Beheshti, A. Tracz, I.P.F.S. De Brito, C.A. Carbonari, E.D. Velini, K.M.C. Tj, E. Tj, Diffusion of mobile telephony: An empirical study in Taiwan, Telecomm. Policy. 33 (2009) 506–520. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2009.07.003.

[9] B.A. Hamilton, R. Kar, P.A. Bonnefoy, R.J. Hansman, Dynamics of Implementation of Mitigating Measures to Reduce CO 2 Emissions from Commercial Aviation DYNAMICS OF IMPLEMENTATION OF MITIGATING MEASURES TO REDUCE CO 2 EMISSIONS FROM COMMERCIAL AVIATION MIT International Center for Air Transportation ( ICAT , (2015).