**INTRODUCTION**

В последние годы климат на Земле заметно изменился: одни страны страдают от аномальной жары, другие - от слишком суровых и снежных зим, необычных для этих мест[1]. Помимо глобального потепления, происходит дисбаланс всех природных систем. Это приводит к изменению режима осадков, температурным аномалиям, увеличению частоты экстремальных явлений, таких как ураганы, наводнения и засухи. Влияние человека является доминирующей причиной наблюдаемого потепления с середины 20-го века. Продолжающиеся выбросы парниковых газов вызовут дальнейшее потепление и изменения во всех компонентах климатической системы. Для противодействия изменению климата необходимо существенное и устойчивое сокращение выбросов парниковых газов. Решением проблемы изменения климата может стать сокращение выбросов парниковых газов путем отказа от ископаемых источников энергии. Амбициозная цель освободить мир от ископаемого топлива подразумевает самое широкое использование возобновляемых источников энергии[2].

Мировой прогресс в развитии возобновляемых источников энергии очень значителен. Наиболее активно развивающимися направлениями возобновляемой энергетики являются солнечная и ветровая генерация. Распространение инноваций в области возобновляемой энергетики привлекает все большее внимание как основной инструмент борьбы с изменением климата и возможность повысить конкурентоспособность стран на международном рынке.

Предметом данной статьи является ветроэнергетика как одна из наиболее перспективных возобновляемых технологий, позволяющая оценить возможные будущие тенденции применения возобновляемых источников энергии.

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

*Picture 1. World’s wind energy generation and total electricity production (GWh)* [3]*.*

Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA) в своем докладе "Будущее ветра" [4] утверждает, что к 2050 году около 35% потребляемой электроэнергии будет производиться за счет ветра. Однако некоторые другие прогнозы [5][6] более пессимистичны и предсказывают до 15%, что все еще довольно амбициозно.

Методология прогнозирования IRENA [4] не была описана, а в прогнозе Шалька Клоете [5][6] упоминаются только S-кривые. Таким образом, остается открытым вопрос о росте развития ветроэнергетики к 2050 году.

Целью данной статьи является прояснение прогноза путем применения моделей "Диффузии инноваций" [7] [8] [9] [10]на макроуровне. "Диффузия инноваций" [11] является одним из основных теоретических подходов к пониманию того, как новые идеи, продукты или услуги распространяются в различных социальных системах. Многие ученые используют эту теорию на протяжении десятилетий. Применение этой теории на разных уровнях анализа позволяет лучше понять конкретные пути инноваций.

Ветроэнергетика часто признается экологической инновацией (ЭИ). Таким образом, первая задача данной статьи - проверить, можно ли применить модели диффузии инноваций для прогнозирования ЭИ и дать обоснованные оценки. Вторая - анализ возможных тенденций развития ветроэнергетики в будущем в рамках моделей "Диффузии инноваций".

**1. METHODOLOGY**

*1.1 DATASET.*

В качестве набора данных использовался недавний статистический обзор BP [3]. Набор данных содержит информацию об общем потреблении 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 - весь мир, Европа, Северная Америка, Южная и Центральная Америка, Азиатско-Тихоокеанский регион.

*1.2 PRELIMINARY ASSUMPTIONS.*

Для проведения исследования были использованы три стандартные модели: Модель Басса [7], модель логистического роста [12] и модель Гомпертца. Все модели подразумевались в трех режимах: исходное уравнение, с переменной верхней границей и переменной верхней границей с учетом переменных затрат. Модели изначально описываются тремя параметрами, два из которых определяют форму функции, а последний определяет границу роста процесса. Эти параметры настраиваются с помощью критерия наименьших квадратов для минимизации разницы между моделью и фактическими данными. Таким образом, можно оценить границу роста процесса.

Для внесения изменчивости в модели были применены следующие допущения:

* Ветровая энергия будет занимать фиксированную ограниченную долю в производстве электроэнергии.

Чтобы ввести это предположение в модели, принято следующее утверждение:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

*Ew* – ветровая генерация; *t* – time; *k* – конечная доля ветровой энергии в общем производстве электроэнергии; *E* – вся генерация для режима переменной верхней границы.

* Доля зависит от стоимости энергии ветра.

Чтобы ввести это предположение в модели, было принято следующее утверждение:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2)  (3) |

*Ew* – wind generation; *t* – time; *k* – доля ветровой энергии в общем производстве электроэнергии в зависимости от стоимости ветровой энергии; *E* – целая генерация для изменяющегося режима верхней границы; *R* – constant, *c* – WE затраты

(см. Приложение А).

* Рост производства электроэнергии является линейным, и оценка регрессии может быть оценена на основе известного набора данных.

Чтобы ввести это предположение в модели, было принято следующее утверждение:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

*E* – total generation; *t* – time; *a,b* коэффициенты линейной регрессии (see Appendix B).

* Снижение стоимости энергии ветра можно оценить с помощью следующего уравнения на основе известного набора данных (see Appendix B).

Чтобы ввести это предположение в модели, было принято следующее утверждение:

|  |  |
| --- | --- |
| + M | (5) |

*c* – стоимость энергии ветра; *K, L* – коэффициенты экспоненциальной регрессии, *M* – нижняя граница

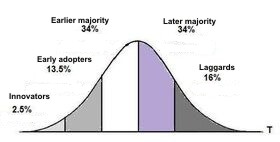
(see Appendix C).

*1.3 MODELS DESCRIPTION (ОПИСАНИЕ МОДЕЛЕЙ).*

***Модель логистического роста:***

***Description***

В своей работе "Диффузия инноваций" [10] Роджерс исследовал скорость принятия различных инноваций. Он обнаружил, что большинство графиков принятия инноваций членами общества напоминают стандартную колоколообразную кривую, разделенную на пять частей (рисунки 2,3).



**Picture 2. Time distribution of the innovation adopters [10].**



**Picture 3. Total number of adopted innovations** [11]**.**

Общий объем инноваций представляет собой типичную "S-образную кривую", которую можно описать с помощью многочисленных уравнений. Одним из наиболее известных является "Логистический рост.”

Basic equation:

|  |  |
| --- | --- |
| Y | (9) |

Where Y(t) – ветровая генерация в период t; Xmin – Ветрогенерация в первой точке; M – Верхний предел роста поколения с момента первого известного числа; l and – коэффициенты, определяющие форму кривой.

Переменный верхний предел:

|  |  |
| --- | --- |
| Y | (10) |

Where *Y(t)* – ветровая генерация в период t; *Xmin* – Ветрогенерация в первой точке; M(t-1) = общее производство электроэнергии в предыдущем году; *k* – достижимая доля производства энергии ветра; *l* and – коэффициенты, определяющие форму кривой.

Переменный верхний предел с учетом переменных затрат:

|  |  |
| --- | --- |
| Y | (11) |

где Y(t) - ветровая генерация в период t; Xmin - ветровая генерация в первой точке; M(t-1) = общая выработка электроэнергии в предыдущем году, R - коэффициент кривой цен, ct-1 - затраты на 1 кВт/ч в течение последнего года, k, α - коэффициенты, определяющие форму кривой.

***The Bass model.***

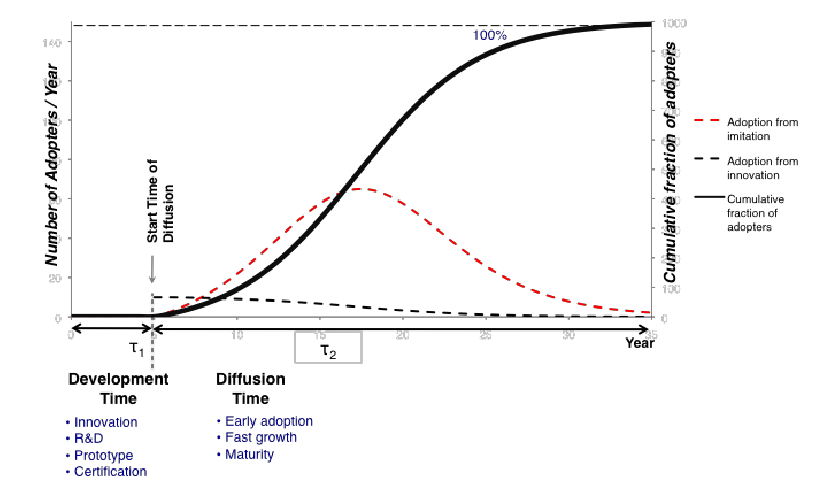
***Description.***

Суть модели Басса [7] заключается в том, что рост числа потребителей инновационного продукта объясняется двумя категориями:

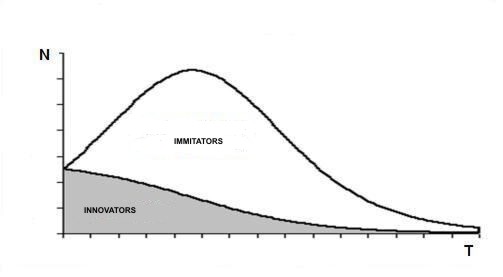
• Те, кто в первую очередь пробуют новый продукт сами - инноваторы;

• 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). В отличие от Роджерса, Басс выделил не пять, а всего две категории людей (см. рис. 4,5).

****

**Picture 5. Total number of adopted innovations** [16]**.**



**Picture 4. Time distribution of the innovation adopters** [16]**.**

Модель Басса описывает продажи за период, которые являются производной от распределения. Было использовано следующее оригинальное уравнение [7].

Basic equation:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

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

Переменный верхний предел (Variable upper limit):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

Where S(t) – sales at period t; – cumulative sales through the period [0 ... t - 1]; p – coefficient of innovation, q – coefficient of imitation, Mi = общее производство электроэнергии в предыдущем году, k – предельная доля ветровой энергии в общем производстве электроэнергии.

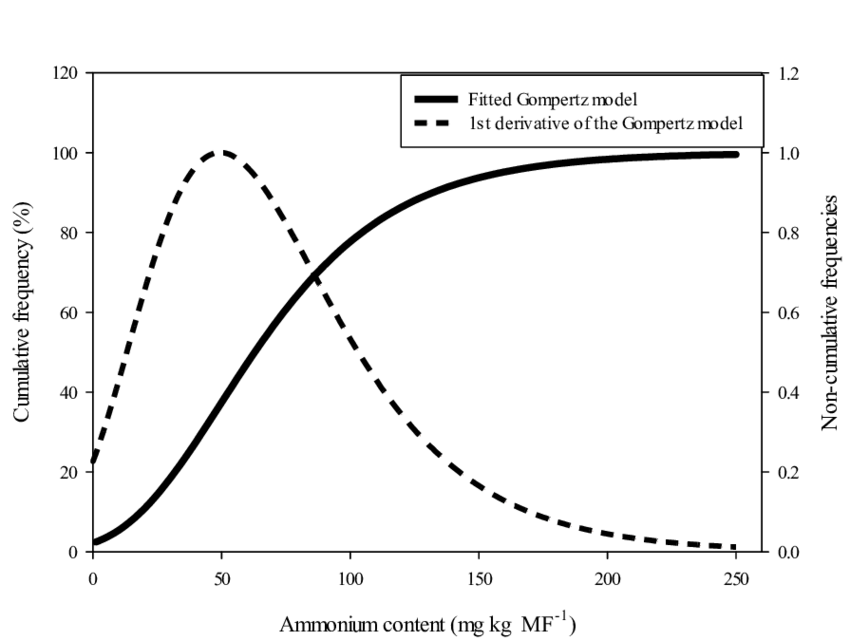
Переменный верхний предел с учетом переменных затрат (Variable upper limit considering variable costs):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

Where S(t) – sales at period t; – кумулятивные продажи за период [0 ... t - 1]; p – coefficient of innovation, q – coefficient of imitation, M(t-1) = общее производство электроэнергии в предыдущем году, R – коэффициент кривой цен, ct-1 – затраты на 1 кВт/ч в предыдущем году.

***The Gompertz model:***

Это тип математической модели для временных рядов, где рост в начале периода происходит медленнее, чем в конце (см. рисунок 6,7). Она напоминает логистическую кривую, но не является симметричной. Замедление происходит не так быстро, как ускорение. Модель Гомпертца [13] [14], успешно применяется для оценки различных процессов роста [15] [16]. В некоторых случаях распределение Гомпертца показывает лучшие результаты, чем логистические модели роста.



**Picture 6. Gompertz model and the first derivative example .**

Basic equation:

|  |  |
| --- | --- |
| Y | (12) |

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

Variable upper limit:

|  |  |
| --- | --- |
| Y | (13) |

где Y(t) - ветровая генерация в период t; Xmin - выработка ветра в первой точке; M(t) - общее производство электроэнергии в период t; k - достижимая доля выработки энергии ветра; l и α - коэффициенты, определяющие форму кривой.

Variable upper limit considering variable costs:

|  |  |
| --- | --- |
| Y | (14) |

Where Y(t) – wind generation at period t; Xmin – ветровая генерация в первой точке; M(t-1) = общая выработка электроэнергии в предыдущем году; R – коэффициент кривой цен; ct-1 – затраты на 1 кВт/ч в предыдущем году; *l* and – коэффициенты, определяющие форму кривой.

1.4 ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Исследование состоит из двух этапов. Первый этап служит для проверки согласованности моделей. Параметры уравнения оценивались с помощью критерия OLS с использованием метода оптимизации Gradient Descent Descent на данных за период 1997-2015 гг. Затем был рассчитан прогноз на период 2016-2020 гг. и оценена согласованность прогноза в соответствии с точными данными. На втором этапе оценивается развитие ветроэнергетики к 2050 году. Параметры модели оценивались с помощью критерия OLS с использованием метода оптимизации по градиентному спуску на данных за период 1997-2020 гг. Затем были рассчитаны прогнозы на период 2020-2050 годов, предполагающие тенденции общего производства электроэнергии и снижение стоимости LCOE ветроэнергетики.

**2. RESULTS**

Результаты представлены в виде сводных таблиц. Соответствующие результаты расчетов и графики описаны в приложениях D и E. Все модели идеально подходят к имеющимся данным, что делает невозможным выбор "лучшей".

2.1 Проверка согласованности моделей.

*Table 1. Проверка согласованности моделей - 2020 WE производственная модель против факта (TWh).*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Europe** | **North**  **America** | **South&Central**  **America** | **Asia Pacific**  **region** | **World**  **Total** |
| **WE generation by 2020** | **510.1** | **396.7** | **85.4** | **572** | **1591.2** |
| The “Logistic Growth” Model | | | | | |
| Basic equation | 439 | 261 | 346 | 294 | 1175.3 |
| Variable upper limit | 475 | 264 | 276 | 340 | 1243.5 |
| Variable upper limit considering costs | 495 | 297 | 85 | 388 | 1356.9 |
| The “Bass” Model | | | | | |
| Basic equation | 499 | 384 | 84 | 573 | 1231.8 |
| Variable upper limit | 508 | 384 | 133 | 490 | 1327.8 |
| Variable upper limit considering costs | 544 | 441 | 101 | 582 | 1569.8 |
| The “Gompertz” Model | | | | | |
| Basic equation | 505 | 317 | 217 | 378 | 1508.2 |
| Variable upper limit | 532 | 317 | 119 | 395 | 1510.4 |
| Variable upper limit considering costs | 530 | 335 | 144 | 425 | 1532.3 |

*\*\*\* - 5% deviation from accurate dataset.*

2.2 Результаты до 2050 года. Соответствующие результаты расчетов и графики описаны в Приложении Е.

*Table 2. Производство WE (TWh) и доля в общем производстве электроэнергии (%) до 2050 года (см. рисунок 7 "Голубые тенденции").*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Europe**  2030 / 2040 / 2050  TWh / TWh / TWh  % / % / % | **North**  **America**  2030 / 2040 / 2050  TWh / TWh / TWh  % / % / % | **South&Central**  **America**  2030 / 2040 / 2050  TWh / TWh / TWh  % / % / % | **Asia Pacific**  **Region**  2030 / 2040 / 2050  TWh / TWh / TWh  % / % / % | **World**  **Total**  2030 / 2040 / 2050  TWh / TWh / TWh  % / % / % |
| The total electricity production prognosis | | | | | |
| Linear Model | **4447 / 4717 / 4987** | **5933 / 6322 / 6710** | **1715 / 2019 / 2323** | **16663 / 20742 / 24822** | **33141 / 38968 / 44795** |
| The “Logistic Growth” Model | | | | | |
| Basic equation | 727 / 779 / 787  16.35 / 16.52 / 15.79 | 456 / 462 / 462  7.69 / 7.30 / 6.89 | 95 / 95 / 95  5.58 / 4.74 / 4.12 | 833 / 853 / 853  6.45 / 6.60 / 6.61 | 2349 / 2457 / 2468  7.08 / 6.30 / 5.50 |
| Variable upper limit | 820 / 943 / 1010  18.45 / 19.99 / 20.25 | 492 / 530 / 563  8.30 / 8.39 / 8.40 | 120 / 141 / 163  6.99 / 7.01 / 7.02 | 941 / 1199 / 1441  5.65 / 5.78 / 5.80 | 2604 / 3193 / 3692  7.9 / 8.2 / 8.3 |
| Variable upper limit with costs | 915 / 1193 / 1384  20.59 / 25.30 / 27.75 | 587 / 737 / 860  9.90 / 11.67 / 12.81 | 149 / 207 / 263  8.73 / 10.28 / 11.33 | 1117 / 1667 / 2207  6.70 / 8.03 / 8.89 | 3008 / 4282 / 5436  9.07 / 10.99 / 12.13 |
| The “Bass” Model | | | | | |
| Basic equation | 834 / 944 / 964  18.76 / 20.01 / 19.34 | 473 / 479 / 479  7.98 / 7.57 / 7.14 | 93 / 93 / 93  5.43 / 4.62 / 4.01 | 768 / 774 / 774  5.95 / 5.99 / 5.99 | 2328 / 2402 / 2406  7.02 / 6.16 / 5.37 |
| Variable upper limit | 891 / 1093 / 1193  20.03 / 23.18 / 23.92 | 509 / 551 / 586  8.59 / 8.72 / 8.74 | 122 / 145 /167  7.13 / 7.17 / 7.20 | 1004 / 1282 / 1552  6.02 / 6.18 / 6.25 | 2617 / 3197 / 3714  7.89 / 8.20 / 8.29 |
| Variable upper limit with costs | 930 / 1270 / 1513  20.91 / 26.92 / 30.35 | 636 / 823 / 975  10.72 / 13.02 / 14.53 | 150 / 211 / 269  8.78 / 10.46 / 11.60 | 1204 / 1842 / 2485  7.22 / 8.88 / 10.01 | 2920 / 4206 / 5437  8.81 / 10.79 / 12.13 |
| The “Gompertz” Model | | | | | |
| Basic equation | 964 / 1401 / 1732  21.68 / 29.69 / 34.74 | 585 / 667 / 695  9.86 / 10.56 / 10.36 | 121 / 124 / 124  7.01 / 6.15 / 5.35 | 1293 / 1787 / 2037  7.75 / 8.61 / 8.2 | 3454 / 5127 / 6270  10.42 / 13.15 / 13.99 |
| Variable upper limit | 1057 / 1639 / 2157  23.78 / 34.75 / 43.25 | 620 / 743 / 817  10.46 / 11.75 / 12.17 | 148 / 179 / 206  8.66 / 8.86 / 8.89 | 1202 / 1759 / 2222  7.21 / 8.48 / 8.95 | 3362 / 5113 / 6601  10.14 / 13.12 / 14.73 |
| Variable upper limit with costs | 1063 / 1640 / 2137  23.90 / 34.76 / 42.86 | 662 / 862 / 1012  11.16 / 13.64 / 15.09 | 172 / 240 / 304  10.03 / 11.90 / 13.09 | 1271 / 2008 / 2701  7.63 / 9.68 / 10.88 | 3504 / 5550 / 7392  10.57 / 14.24 / 16.50 |
| **“Summary”** | | | | | |
| **Min** | **727 / 779 / 787**  **16.35 / 16.52 / 15.79** | **456 / 462 / 462**  **7.69 / 7.30 / 6.89** | **93 / 93 / 93**  **5.43 / 4.62 / 4.01** | **768 / 774 / 774**  **5.95 / 5.99 / 5.99** | **2328 / 2402 / 2406**  **7.02 / 6.16 / 5.37** |
| **Max** | **1063 / 1640 / 2157**  **23.90 / 34.76 / 43.25** | **662 / 862 / 1012**  **11.16 / 13.64 / 15.09** | **172 / 240 / 304**  **10.03 / 11.90 / 13.09** | **1293 / 2008 / 2701**  **7.75 / 9.68 / 10.88** | **3504 / 5550 / 7392**  **10.57 / 14.24 / 16.50** |
| **Avg** | **911 / 1211 / 1430**  **20.48 / 25.67 / 28.67** | **557 / 650 / 716**  **9.38 / 10.28 / 10.67** | **149 / 159 / 187**  **8.68 / 7.87 / 8.04** | **1070 / 1463 / 1808**  **6.42 / 7.05 / 7.28** | **2905 / 3947 / 4824**  **8.76 / 10.12 / 10.76** |

**Picture 7. WE generation trends (TWh) obtained from different models considering linear growth electricity generation trends**

**and decreasing costs (see appendixes B and C).**

**3. DISCUSSION**

Все модели могут быть настроены на полное соответствие реальным данным (см. Приложение Е) с 1995 по 2020 год, что делает выбор подходящей модели для проведения оценок практически невозможным. Анализ согласованности (см. Таблицу 1 и Приложение D) показывает адекватность различных моделей для разных регионов. Для Европы характерны в основном достоверные тенденции, в то время как для Южной Америки прогноз в основном оптимистичный, а для Северной Америки, как и для всего мира, в основном недооцененный. Тем не менее, для каждого региона мы получили как минимум две модели с высокой точностью (ошибка составляет менее пяти процентов от целевого значения). Это довольно хорошая способность к прогнозированию, учитывая почти двукратный рост производства WE в период 2015-2020 гг.

Результаты проверки согласованности (см. Таблицу 1 и Приложение D) позволяют анализу трендов (см. Таблицу 2 и Приложение E) претендовать на представление границ тенденций развития ЗЭ. Пессимистическая тенденция является довольно "страшной" причиной уменьшения доли ОЭ в общем производстве электроэнергии с учетом ее линейного роста (см. Приложение B) к 2050 году, в то время как оптимистическая оценка и усредненные тенденции предсказывают эволюцию доли ОЭ.

Наиболее интересным является тот факт, что все оцененные модели идеально соответствуют историческим данным. Таким образом, мы не могли оценить применимость модели на этапе определения параметров. Этап проверки согласованности показал, что модель Басса является наиболее точной для большинства регионов в течение 5 лет. Что касается оценки "дальности", то в основном пессимистические прогнозы были сделаны с помощью модели "Логистический рост", в то время как в основном оптимистические тенденции представлены в модели "Гомпертц".

Интересен и тот факт, что модель Басса показывает значительную долю "новаторов" только для Европы, в то время как в других регионах преобладают только "имитаторы". Учитывая умеренный рост производства электроэнергии в Европе и Северной Америке в период 1995-2020 гг. по сравнению с двойным ростом в Южной Америке и тройным ростом в Азиатско-Тихоокеанском регионе, можно предположить, что в то время как Европа обеспечивает прогресс за счет замены традиционных источников на "зеленые", другие регионы просто пытаются покрыть свой растущий энергетический аппетит из всех возможных источников.

**4. CONCLUSION(ЗАКЛЮЧЕНИЕ)**

Согласно оцененным нами цифровым моделям "Диффузии инноваций" (см. таблицу 2, приложение E), прогнозы относительно 35% и более мирового общего производства электроэнергии за счет ветра к 2050 году являются слишком оптимистичными. Только Европа может достичь заявленного объема производства ВЭ в пределах границ оцененных моделей. Общее мировое производство энергии ветра находится в интервале 5,3% - 16,5%, что в основном соответствует другим прогнозам.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. МЫ РАЗДЕЛЯЕМ ЛИМИТ ОБЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗАТРАТ ПРИМЕР.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ЛИНЕЙНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.

**World**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Regeression*** | |  |  |  |  |  |  |  |
| **R** | **0,997287246** |  |  |  |  |  |  |  |
| **R2** | **0,994581851** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Normal R2** | **0,994356095** |  |  |  |  |  |  |  |
| **St.err.** | **335,7407901** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Obs.** | **26** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Dispersion** |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | ***df*** | ***SS*** | ***MS*** | ***F*** | ***Sig. F*** |  |  |  |
| **Regression** | **1** | **496602650,8** | **496602650,8** | **4405,556924** | **1,03422E-28** |  |  |  |
| **Residiual** | **24** | **2705325,075** | **112721,8781** |  |  |  |  |  |
| **Summary** | **25** | **499307975,9** |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | ***Coef.*** | ***St.err.*** | ***t-value*** | ***P-Value*** | ***Lowest 95%*** | ***Upper 95%*** |
| **Y** | **-1149771,31** | **17624,41683** | **-65,2374102** | **1,56223E-28** | **-1186146,318** | **-1113396,301** |
| **X 1** | **582,7155121** | **8,779224822** | **66,37436948** | **1,03422E-28** | **564,5960826** | **600,8349416** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Generation** | **Regression** | **Year** | **Generation** | **Regression** | **Year** | **Model** | **Year** | **Model** | **Year** | **Model** |
| 1995 | 13375,24396 | 12746,1367 | 2009 | 20264,89106 | 20904,15387 | 2021 | 27896,74002 | 2035 | 36054,75719 | 2049 | 44212,77436 |
| 1996 | 13789,24953 | 13328,85221 | 2010 | 21570,68886 | 21486,86938 | 2022 | 28479,45553 | 2036 | 36637,4727 | 2050 | 44795,48987 |
| 1997 | 14120,51713 | 13911,56773 | 2011 | 22256,99524 | 22069,5849 | 2023 | 29062,17104 | 2037 | 37220,18821 |  |  |
| 1998 | 14502,91924 | 14494,28324 | 2012 | 22806,27648 | 22652,30041 | 2024 | 29644,88655 | 2038 | 37802,90372 |  |  |
| 1999 | 14917,76376 | 15076,99875 | 2013 | 23435,23821 | 23235,01592 | 2025 | 30227,60207 | 2039 | 38385,61923 |  |  |
| 2000 | 15555,54829 | 15659,71426 | 2014 | 24031,70705 | 23817,73143 | 2026 | 30810,31758 | 2040 | 38968,33475 |  |  |
| 2001 | 15788,86061 | 16242,42977 | 2015 | 24270,50094 | 24400,44694 | 2027 | 31393,03309 | 2041 | 39551,05026 |  |  |
| 2002 | 16345,48432 | 16825,14529 | 2016 | 24915,18711 | 24983,16246 | 2028 | 31975,7486 | 2042 | 40133,76577 |  |  |
| 2003 | 16924,01841 | 17407,8608 | 2017 | 25623,89225 | 25565,87797 | 2029 | 32558,46411 | 2043 | 40716,48128 |  |  |
| 2004 | 17726,74751 | 17990,57631 | 2018 | 26659,13624 | 26148,59348 | 2030 | 33141,17963 | 2044 | 41299,1968 |  |  |
| 2005 | 18454,11881 | 18573,29182 | 2019 | 27000,95085 | 26731,30899 | 2031 | 33723,89514 | 2045 | 41881,91231 |  |  |
| 2006 | 19155,29112 | 19156,00734 | 2020 | 26823,24835 | 27314,0245 | 2032 | 34306,61065 | 2046 | 42464,62782 |  |  |
| 2007 | 20045,983 | 19738,72285 |  |  |  | 2033 | 34889,32616 | 2047 | 43047,34333 |  |  |
| 2008 | 20421,63735 | 20321,43836 |  |  |  | 2034 | 35472,04167 | 2048 | 43630,05884 |  |  |

**Europe**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Regeression*** | |  |  |  |  |  |  |  |
| **R** | **0,815530521** |  |  |  |  |  |  |  |
| **R2** | **0,665090031** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Normal R2** | **0,651135449** |  |  |  |  |  |  |  |
| **St.err.** | **149,5637939** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Obs.** | **26** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Dispersion** |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | ***df*** | ***SS*** | ***MS*** | ***F*** | ***Sig. F*** |  |  |  |
| **Regression** | **1** | **1066145,678** | **1066145,678** | **47,66104987** | **3,86316E-07** |  |  |  |
| **Residiual** | **24** | **536863,8824** | **22369,32843** |  |  |  |  |  |
| **Summary** | **25** | **1603009,56** |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | ***Coef.*** | ***St.err.*** | ***t-value*** | ***P-Value*** | ***Lowest 95%*** | ***Upper 95%*** |
| **Y** | **-50361,69763** | **7851,219521** | **-6,414506371** | **1,24079E-06** | **-66565,81831** | **-34157,57696** |
| **X 1** | **26,999787** | **3,910916428** | **6,903698275** | **3,86316E-07** | **18,92805221** | **35,07152179** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Generation** | **Regression** | **Year** | **Generation** | **Regression** | **Year** | **Model** | **Year** | **Model** | **Year** | **Model** |
| 1995 | 3279,587267 | 3502,877424 | 2009 | 3894,691692 | 3880,874442 | 2021 | 4204,871886 | 2035 | 4582,868904 | 2049 | 4960,865922 |
| 1996 | 3353,864548 | 3529,877211 | 2010 | 4065,763115 | 3907,874229 | 2022 | 4231,871673 | 2036 | 4609,868691 | 2050 | 4987,865709 |
| 1997 | 3389,195436 | 3556,876998 | 2011 | 4019,422767 | 3934,874016 | 2023 | 4258,87146 | 2037 | 4636,868478 |  |  |
| 1998 | 3466,419163 | 3583,876785 | 2012 | 4053,115304 | 3961,873803 | 2024 | 4285,871247 | 2038 | 4663,868265 |  |  |
| 1999 | 3509,426879 | 3610,876572 | 2013 | 4022,201398 | 3988,87359 | 2025 | 4312,871034 | 2039 | 4690,868052 |  |  |
| 2000 | 3620,282803 | 3637,876359 | 2014 | 3939,246815 | 4015,873377 | 2026 | 4339,870821 | 2040 | 4717,867839 |  |  |
| 2001 | 3685,098394 | 3664,876146 | 2015 | 3982,659249 | 4042,873164 | 2027 | 4366,870608 | 2041 | 4744,867626 |  |  |
| 2002 | 3718,568773 | 3691,875933 | 2016 | 4021,409945 | 4069,872951 | 2028 | 4393,870395 | 2042 | 4771,867413 |  |  |
| 2003 | 3811,589001 | 3718,87572 | 2017 | 4061,257295 | 4096,872738 | 2029 | 4420,870182 | 2043 | 4798,8672 |  |  |
| 2004 | 3898,059649 | 3745,875507 | 2018 | 4065,532501 | 4123,872525 | 2030 | 4447,869969 | 2044 | 4825,866987 |  |  |
| 2005 | 3959,873797 | 3772,875294 | 2019 | 3992,114841 | 4150,872312 | 2031 | 4474,869756 | 2045 | 4852,866774 |  |  |
| 2006 | 4015,794421 | 3799,875081 | 2020 | 3871,310532 | 4177,872099 | 2032 | 4501,869543 | 2046 | 4879,866561 |  |  |
| 2007 | 4064,6933 | 3826,874868 |  |  |  | 2033 | 4528,86933 | 2047 | 4906,866348 |  |  |
| 2008 | 4088,564918 | 3853,874655 |  |  |  | 2034 | 4555,869117 | 2048 | 4933,866135 |  |  |

**North America**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Regeression*** | |  |  |  |  |  |  |  |
| **R** | **0,885697493** |  |  |  |  |  |  |  |
| **R2** | **0,784460049** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Normal R2** | **0,775479218** |  |  |  |  |  |  |  |
| **St.err.** | **158,9922409** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Obs.** | **26** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Dispersion** |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | ***df*** | ***SS*** | ***MS*** | ***F*** | ***Sig. F*** |  |  |  |
| **Regression** | **1** | **2208036,025** | **2208036,025** | **87,34826718** | **1,81082E-09** |  |  |  |
| **Residiual** | **24** | **606684,7839** | **25278,53266** |  |  |  |  |  |
| **Summary** | **25** | **2814720,809** |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | ***Coef.*** | ***St.err.*** | ***t-value*** | ***P-Value*** | ***Lowest 95%*** | ***Upper 95%*** |
| **Y** | **-72943,36622** | **8346,157536** | **-8,7397543** | **6,36986E-09** | **-90168,98875** | **-55717,74368** |
| **X 1** | **38,85573603** | **4,157459173** | **9,346029488** | **1,81082E-09** | **30,27516202** | **47,43631004** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Generation** | **Regression** | **Year** | **Generation** | **Regression** | **Year** | **Model** | **Year** | **Model** | **Year** | **Model** |
| 1995 | 4275,556188 | 4573,827158 | 2009 | 5088,123518 | 5117,807462 | 2021 | 5584,076295 | 2035 | 6128,056599 | 2049 | 6672,036903 |
| 1996 | 4391,598772 | 4612,682894 | 2010 | 5276,82968 | 5156,663198 | 2022 | 5622,932031 | 2036 | 6166,912335 | 2050 | 6710,892639 |
| 1997 | 4455,467215 | 4651,53863 | 2011 | 5293,80201 | 5195,518934 | 2023 | 5661,787767 | 2037 | 6205,768071 |  |  |
| 1998 | 4598,858828 | 4690,394366 | 2012 | 5243,51448 | 5234,37467 | 2024 | 5700,643503 | 2038 | 6244,623807 |  |  |
| 1999 | 4703,849938 | 4729,250102 | 2013 | 5283,091761 | 5273,230406 | 2025 | 5739,499239 | 2039 | 6283,479543 |  |  |
| 2000 | 4859,697274 | 4768,105838 | 2014 | 5314,194586 | 5312,086142 | 2026 | 5778,354975 | 2040 | 6322,335279 |  |  |
| 2001 | 4782,434635 | 4806,961574 | 2015 | 5318,368443 | 5350,941878 | 2027 | 5817,210711 | 2041 | 6361,191015 |  |  |
| 2002 | 4927,289764 | 4845,81731 | 2016 | 5331,097285 | 5389,797614 | 2028 | 5856,066447 | 2042 | 6400,046751 |  |  |
| 2003 | 4951,151555 | 4884,673046 | 2017 | 5287,716919 | 5428,65335 | 2029 | 5894,922183 | 2043 | 6438,902487 |  |  |
| 2004 | 5065,58895 | 4923,528782 | 2018 | 5452,457105 | 5467,509086 | 2030 | 5933,777919 | 2044 | 6477,758223 |  |  |
| 2005 | 5194,997787 | 4962,384518 | 2019 | 5382,419781 | 5506,364822 | 2031 | 5972,633655 | 2045 | 6516,613959 |  |  |
| 2006 | 5199,199043 | 5001,240254 | 2020 | 5243,638325 | 5545,220559 | 2032 | 6011,489391 | 2046 | 6555,469695 |  |  |
| 2007 | 5332,170513 | 5040,09599 |  |  |  | 2033 | 6050,345127 | 2047 | 6594,325431 |  |  |
| 2008 | 5294,50596 | 5078,951726 |  |  |  | 2034 | 6089,200863 | 2048 | 6633,181167 |  |  |

**South and Central America**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Regeression*** | |  |  |  |  |  |  |  |
| **R** | **0,984874915** |  |  |  |  |  |  |  |
| **R2** | **0,969978599** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Normal R2** | **0,968727707** |  |  |  |  |  |  |  |
| **St.err.** | **41,71260947** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Obs.** | **26** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Dispersion** |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | ***df*** | ***SS*** | ***MS*** | ***F*** | ***Sig. F*** |  |  |  |
| **Regression** | **1** | **1349202,546** | **1349202,546** | **775,4297038** | **8,76167E-20** |  |  |  |
| **Residiual** | **24** | **41758,60294** | **1739,941789** |  |  |  |  |  |
| **Summary** | **25** | **1390961,149** |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | ***Coef.*** | ***St.err.*** | ***t-value*** | ***P-Value*** | ***Lowest 95%*** | ***Upper 95%*** |
| **Y** | **-59941,76687** | **2189,666665** | **-27,37483646** | **1,30446E-19** | **-64461,01675** | **-55422,51699** |
| **X 1** | **30,37320621** | **1,090735434** | **27,84653845** | **8,76167E-20** | **28,12203892** | **32,6243735** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Generation** | **Regression** | **Year** | **Generation** | **Regression** | **Year** | **Model** | **Year** | **Model** | **Year** | **Model** |
| 1995 | 646,3818316 | 652,7795216 | 2009 | 1082,959839 | 1078,004409 | 2021 | 1442,482883 | 2035 | 1867,70777 | 2049 | 2292,932657 |
| 1996 | 678,8031705 | 683,1527278 | 2010 | 1140,474922 | 1108,377615 | 2022 | 1472,856089 | 2036 | 1898,080976 | 2050 | 2323,305863 |
| 1997 | 717,648455 | 713,525934 | 2011 | 1181,093878 | 1138,750821 | 2023 | 1503,229295 | 2037 | 1928,454182 |  |  |
| 1998 | 748,8858751 | 743,8991402 | 2012 | 1231,422072 | 1169,124027 | 2024 | 1533,602502 | 2038 | 1958,827389 |  |  |
| 1999 | 772,4345023 | 774,2723465 | 2013 | 1267,608313 | 1199,497233 | 2025 | 1563,975708 | 2039 | 1989,200595 |  |  |
| 2000 | 808,710595 | 804,6455527 | 2014 | 1287,259577 | 1229,87044 | 2026 | 1594,348914 | 2040 | 2019,573801 |  |  |
| 2001 | 796,3839728 | 835,0187589 | 2015 | 1296,605291 | 1260,243646 | 2027 | 1624,72212 | 2041 | 2049,947007 |  |  |
| 2002 | 821,2902116 | 865,3919651 | 2016 | 1305,591533 | 1290,616852 | 2028 | 1655,095327 | 2042 | 2080,320213 |  |  |
| 2003 | 861,1566269 | 895,7651713 | 2017 | 1306,794565 | 1320,990058 | 2029 | 1685,468533 | 2043 | 2110,69342 |  |  |
| 2004 | 901,8812618 | 926,1383775 | 2018 | 1330,890601 | 1351,363264 | 2030 | 1715,841739 | 2044 | 6477,758223 |  |  |
| 2005 | 943,2056773 | 956,5115837 | 2019 | 1339,01424 | 1381,736471 | 2031 | 1746,214945 | 2045 | 6516,613959 |  |  |
| 2006 | 988,3803506 | 986,8847899 | 2020 | 1282,821203 | 1412,109677 | 2032 | 1776,588151 | 2046 | 6555,469695 |  |  |
| 2007 | 1034,177932 | 1017,257996 |  |  |  | 2033 | 1806,961358 | 2047 | 6594,325431 |  |  |
| 2008 | 1071,683083 | 1047,631202 |  |  |  | 2034 | 1837,334564 | 2048 | 6633,181167 |  |  |

**Asia Pacific**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Regeression*** | |  |  |  |  |  |  |  |
| **R** | **0,990349656** |  |  |  |  |  |  |  |
| **R2** | **0,980792441** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Normal R2** | **0,979992126** |  |  |  |  |  |  |  |
| **St.err.** | **445,6760252** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Obs.** | **26** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Dispersion** |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | ***df*** | ***SS*** | ***MS*** | ***F*** | ***Sig. F*** |  |  |  |
| **Regression** | **1** | **243419137,9** | **243419137,9** | **1225,508071** | **4,10075E-22** |  |  |  |
| **Residiual** | **24** | **4767050,867** | **198627,1195** |  |  |  |  |  |
| **Summary** | **25** | **248186188,8** |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | ***Coef.*** | ***St.err.*** | ***t-value*** | ***P-Value*** | ***Lowest 95%*** | ***Upper 95%*** |
| **Y** | **-811518,1694** | **23395,37009** | **-34,68712683** | **5,09134E-22** | **-859803,8401** | **-763232,4987** |
| **X 1** | **407,9711218** | **11,65390128** | **35,0072574** | **4,10075E-22** | **383,9186517** | **432,0235918** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Generation** | **Regression** | **Year** | **Generation** | **Regression** | **Year** | **Model** | **Year** | **Model** | **Year** | **Model** |
| 1995 | 3395,296509 | 2384,218499 | 2009 | 7537,49367 | 8095,814204 | 2021 | 12991,46766 | 2035 | 18703,06337 | 2049 | 24414,65907 |
| 1996 | 3571,36384 | 2792,189621 | 2010 | 8257,695762 | 8503,785326 | 2022 | 13399,43879 | 2036 | 19111,03449 | 2050 | 24822,6302 |
| 1997 | 3742,362872 | 3200,160743 | 2011 | 8875,060397 | 8911,756447 | 2023 | 13807,40991 | 2037 | 19519,00561 |  |  |
| 1998 | 3849,126094 | 3608,131864 | 2012 | 9278,135735 | 9319,727569 | 2024 | 14215,38103 | 2038 | 19926,97673 |  |  |
| 1999 | 4039,02947 | 4016,102986 | 2013 | 9812,30959 | 9727,698691 | 2025 | 14623,35215 | 2039 | 20334,94786 |  |  |
| 2000 | 4285,699691 | 4424,074108 | 2014 | 10333,718 | 10135,66981 | 2026 | 15031,32327 | 2040 | 20742,91898 |  |  |
| 2001 | 4477,992791 | 4832,04523 | 2015 | 10433,85199 | 10543,64093 | 2027 | 15439,2944 | 2041 | 21150,8901 |  |  |
| 2002 | 4762,239984 | 5240,016351 | 2016 | 10947,57602 | 10951,61206 | 2028 | 15847,26552 | 2042 | 21558,86122 |  |  |
| 2003 | 5098,70706 | 5647,987473 | 2017 | 11569,79978 | 11359,58318 | 2029 | 16255,23664 | 2043 | 21966,83234 |  |  |
| 2004 | 5567,612705 | 6055,958595 | 2018 | 12339,29722 | 11767,5543 | 2030 | 16663,20776 | 2044 | 22374,80347 |  |  |
| 2005 | 5971,267224 | 6463,929717 | 2019 | 12741,57102 | 12175,52542 | 2031 | 17071,17888 | 2045 | 22782,77459 |  |  |
| 2006 | 6456,820579 | 6871,900839 | 2020 | 12919,33414 | 12583,49654 | 2032 | 17479,15 | 2046 | 23190,74571 |  |  |
| 2007 | 7014,726248 | 7279,87196 |  |  |  | 2033 | 17887,12113 | 2047 | 23598,71683 |  |  |
| 2008 | 7302,207162 | 7687,843082 |  |  |  | 2034 | 18295,09225 | 2048 | 24006,68795 |  |  |

ПРИЛОЖЕНИЕ В. МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЗАТРАТ.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Regeression*** | |  |  |  |  |  |  |  |
| **R** | **0,98489375** |  |  |  |  |  |  |  |
| **R2** | **0,970015699** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Normal R2** | **0,968766353** |  |  |  |  |  |  |  |
| **St.err.** | **0,006703051** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Obs.** | **26** |  |  |  |  |  |  |  |
| **Dispersion** |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | ***df*** | ***SS*** | ***MS*** | ***F*** | ***Sig. F*** |  |  |  |
| **Regression** | **1** | **0,0348852** | **0,0348852** | **776,4188541** | **8,63246E-20** |  |  |  |
| **Residiual** | **24** | **0,0010783** | **4,4931E-05** |  |  |  |  |  |
| **Summary** | **25** | **0,0359635** |  |  |  |  |  |  |
|  | **1** | **0,0348852** | **0,0348852** | **776,4188541** | **8,63246E-20** |  |  |  |
|  | ***Coef.*** | ***St.err.*** | ***t-value*** | ***P-Value*** | ***Lowest 95%*** | ***Upper 95%*** |
| **Y** | **-0,00536851** | **0,0040818** | **-1,3152349** | **0,20085906** | **-0,013792903** | **0,003055886** |
| **X 1** | **1,059445879** | **0,0380216** | **27,8642935** | **8,63246E-20** | **0,98097309** | **1,137918668** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Year** | **Costs** | **Model** | **Year** | **Costs** | **Model** | **Year** | **Model** | **Year** | **Model** | **Year** | **Model** |
| 1995 | 0,196 | 0,174889 | 2009 | 0,087 | 0,087598 | 2021 | 0,05607605 | 2035 | 0,040167298 | 2049 | 0,033799262 |
| 1996 | 0,178 | 0,16565 | 2010 | 0,086 | 0,083925 | 2022 | 0,054396724 | 2036 | 0,039495089 | 2050 | 0,033530187 |
| 1997 | 0,157 | 0,157 | 2011 | 0,083 | 0,080486 | 2023 | 0,052823709 | 2037 | 0,038865435 |  |  |
| 1998 | 0,139 | 0,148901 | 2012 | 0,083 | 0,077267 | 2024 | 0,051350275 | 2038 | 0,038275641 |  |  |
| 1999 | 0,134 | 0,141319 | 2013 | 0,082 | 0,074253 | 2025 | 0,049970118 | 2039 | 0,037723185 |  |  |
| 2000 | 0,142 | 0,134221 | 2014 | 0,076 | 0,071431 | 2026 | 0,048677334 | 2040 | 0,037205702 |  |  |
| 2001 | 0,126 | 0,127575 | 2015 | 0,069 | 0,068789 | 2027 | 0,04746639 | 2041 | 0,03672098 |  |  |
| 2002 | 0,119 | 0,121353 | 2016 | 0,066 | 0,066316 | 2028 | 0,046332105 | 2042 | 0,036266943 |  |  |
| 2003 | 0,106 | 0,115527 | 2017 | 0,064 | 0,064 | 2029 | 0,045269628 | 2043 | 0,035841649 |  |  |
| 2004 | 0,111 | 0,110074 | 2018 | 0,058 | 0,061832 | 2030 | 0,044274412 | 2044 | 0,035443278 |  |  |
| 2005 | 0,104 | 0,104967 | 2019 | 0,053 | 0,059802 | 2031 | 0,043342198 | 2045 | 0,035070127 |  |  |
| 2006 | 0,105 | 0,100187 | 2020 | 0,05 | 0,057869 | 2032 | 0,042468999 | 2046 | 0,034720599 |  |  |
| 2007 | 0,098 | 0,095711 |  |  |  | 2033 | 0,041651079 | 2047 | 0,034393198 |  |  |
| 2008 | 0,088 | 0,091521 |  |  |  | 2034 | 0,040884938 | 2048 | 0,034086523 |  |  |

ПРИЛОЖЕНИЕ D. ПРОВЕРКА СОГЛАСОВАННОСТИ МОДЕЛЕЙ.

The “Bass” model – original equation

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | MODEL PARAMETERS | | |
|  | **p** | **q** | **m** |
| World | 0 | 0,302781 | 1394,232 |
| Europe | 0,002695456 | 0,185993 | 797,2492 |
| North America | 0 | 0,272163 | 479,3177 |
| South, Central America | 0 | 0,534315 | 93,31387 |
| Asia Pacific | 1,63683E-06 | 0,334964 | 774,1022 |

The “Bass” model – variable upper limit

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | MODEL PARAMETERS | | |
|  | **p** | **q** | **k** |
| World | 0 | 0,308276089 | 0,059196566 |
| Europe | 0,003028892 | 0,177879763 | 0,217400977 |
| North America | 0 | 0,273171149 | 0,089366412 |
| South, Central America | 1,68007E-07 | 0,514387768 | 0,163180329 |
| Asia Pacific | 0 | 0,354638269 | 0,049283975 |

Модель "Bass" - переменный верхний предел с учетом затрат

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | MODEL PARAMETERS | | |
|  | **p** | **q** | **R** |
| World | 0 | 0,317073032 | 0,004915116 |
| Europe | 0,005130792 | 0,161493593 | 0,025482218 |
| North America | 0 | 0,278624172 | 0,007651171 |
| South, Central America | 0 | 0,525062035 | 0,006203917 |
| Asia Pacific | 0 | 0,361021644 | 0,004090776 |

Модель "Логистический рост" - исходное уравнение

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | MODEL PARAMETERS | | |
|  | **l** | **a** | **M** |
| World | 0,3030346 | 18,47168948 | 1328,489096 |
| Europe | 0,228200173 | 18,9609983 | 544,9412295 |
| North America | 0,423394538 | 16,14200836 | 264,5654892 |
| South, Central America | 0,49252378 | 30,87711072 | 6602,242898 |
| Asia Pacific | 0,485603536 | 17,05944876 | 299,6807747 |

Модель "Логистический рост" - переменная верхнего предела

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | MODEL PARAMETERS | | |
|  | **l** | **a** | **k** |
| World | 0,282654868 | 17,65622106 | 0,051490867 |
| Europe | 0,208153283 | 20,74438621 | 0,167011708 |
| North America | 0,424613105 | 16,05988732 | 0,049579726 |
| South, Central America | 0,471586229 | 27,85899996 | 11 |
| Asia Pacific | 0,472222248 | 15,95387736 | 0,027027013 |

Модель "Логистический рост" - переменный верхний предел с учетом затрат

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | MODEL PARAMETERS | | |
|  | **k** | **a** | **R** |
| World | 0,258165921 | 16,02724753 | 0,003471514 |
| Europe | 0,176516031 | 19,23666818 | 0,012058564 |
| North America | 0,427318168 | 14,95002112 | 0,003512937 |
| South, Central America | 0,575249366 | 20,62882063 | 0,004431881 |
| Asia Pacific | 0,485484377 | 14,96783275 | 0,001889112 |

Модель "Гомпертца" - исходное уравнение

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | MODEL PARAMETERS | | |
|  | **k** | **a** | **R** |
| World | 0,258165921 | 16,02724753 | 0,003471514 |
| Europe | 0,176516031 | 19,23666818 | 0,012058564 |
| North America | 0,427318168 | 14,95002112 | 0,003512937 |
| South, Central America | 0,575249366 | 20,62882063 | 0,004431881 |
| Asia Pacific | 0,485484377 | 14,96783275 | 0,001889112 |

Модель "Гомпертца" - верхний предел переменной

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | MODEL PARAMETERS | | |
|  | **k** | **a** | **R** |
| World | 0,258165921 | 16,02724753 | 0,003471514 |
| Europe | 0,176516031 | 19,23666818 | 0,012058564 |
| North America | 0,427318168 | 14,95002112 | 0,003512937 |
| South, Central America | 0,575249366 | 20,62882063 | 0,004431881 |
| Asia Pacific | 0,485484377 | 14,96783275 | 0,001889112 |

Модель "Гомпертца" - переменная верхняя граница с учетом затрат.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | MODEL PARAMETERS | | |
|  | **k** | **a** | **R** |
| World | 0,258165921 | 16,02724753 | 0,003471514 |
| Europe | 0,176516031 | 19,23666818 | 0,012058564 |
| North America | 0,427318168 | 14,95002112 | 0,003512937 |
| South, Central America | 0,575249366 | 20,62882063 | 0,004431881 |
| Asia Pacific | 0,485484377 | 14,96783275 | 0,001889112 |

APPENDIX E. RESULTS (ПРИЛОЖЕНИЕ Д. РЕЗУЛЬТАТЫ).

WORLD TOTAL

The Original Bass model

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | q | m |
| 0,0005727 | 0,249517965 | 2407,09678 |

Модель Басса с переменным верхним пределом, учитывающая линейную тенденцию роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | q | k |
| 0,000824762 | 0,263758475 | 0,087473446 |

Модель Басса с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | q | R |
| 0 | 0,31555009 | 0,00508028 |

Логистическая модель роста

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,241864265 | 22,71470708 | 2460,900909 |

Логистическая модель роста с переменным верхним пределом с учетом линейной тенденции роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,226659184 | 21,37602152 | 0,083369463 |

Логистическая модель роста с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,209291561 | 18,82355251 | 0,00478394 |

Модель Гомпертца

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| B | C | M |
| 2,14963558 | 0,067589212 | 7713,561514 |

Модель Гомпертца с переменным верхним пределом с учетом линейной тенденции роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 2,035458035 | 0,080145014 | 0,163708564 |

Модель Гомпертца с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 1,814129935 | 0,092911985 | 0,007160918 |

EUROPE

The Original Bass model

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | q | m |
| 0,002690579 | 0,16567796 | 968,8619049 |

Модель Басса с переменным верхним пределом, учитывающая линейную тенденцию роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | q | m |
| 0,003099661 | 0,16096477 | 0,249328963 |

Модель Басса с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | q | m |
| 0,007183347 | 0,174899475 | 0,016539284 |

Модель логистического роста

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,194725399 | 22,35672529 | 785,1434854 |

Модель логистического роста с переменным верхним пределом с учетом линейной тенденции роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,188302957 | 22,8048091 | 0,20336905 |

Модель логистического роста с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,162526105 | 20,44369454 | 0,013237872 |

The Gompertz Model

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| B | C | M |
| 1,835746925 | 0,056484286 | 2288,977191 |

Модель Гомпертца с переменным верхним пределом с учетом линейной тенденции роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 1,821980723 | 0,055167088 | 0,584556919 |

Модель Гомпертца с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 1,587813773 | 0,058159296 | 0,037789816 |

NORTH AMERICA

The Original Bass model

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | q | m |
| 0 | 0,271427279 | 479,2328093 |

Модель Басса с переменным верхним пределом, учитывающая линейную тенденцию роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | q | k |
| 9,16073E-07 | 0,272498875 | 0,089347043 |

Модель Басса с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | Q | R |
| 0 | 0,289221906 | 0,006105098 |

The Logistic Growth model

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,285100766 | 19,78269899 | 459,1809454 |

Модель логистического роста с переменным верхним пределом с учетом линейной тенденции роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,286102973 | 19,55844979 | 0,084039341 |

Модель логистического роста с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,287233686 | 17,38647048 | 0,005032602 |

The Gompertz Model

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 2,426782151 | 0,116526991 | 705,3470822 |

Модель Гомпертца с переменным верхним пределом с учетом линейной тенденции роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 2,451252377 | 0,121143614 | 0,123819749 |

Модель Гомпертца с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 2,495958973 | 0,152201729 | 0,006110959 |

SOUTH AND CENTRAL AMERICA

The Original Bass model

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | q | m |
| 0 | 0,534315123 | 93,31386801 |

Модель Басса с переменным верхним пределом, учитывающая линейную тенденцию роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | q | m |
| 0 | 0,532486425 | 0,073950782 |

Модель Басса с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | Q | R |
| 0 | 0,544446404 | 0,004652554 |

The Logistic Growth model

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,563395162 | 21,37481637 | 95,82821158 |

Модель логистического роста с переменным верхним пределом с учетом линейной тенденции роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,560193594 | 21,23745888 | 0,07122644 |

Модель логистического роста с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,575005273 | 20,62944786 | 0,004432595 |

The Gompertz Model

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 5,608006241 | 0,264575712 | 124,514603 |

Модель Гомпертца с переменным верхним пределом с учетом линейной тенденции роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 5,68886466 | 0,271555677 | 0,090121638 |

Модель Гомпертца с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 6,205223794 | 0,309697042 | 0,005226002 |

ASIA PACIFIC

The Original Bass model

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | q | m |
| 0 | 0,534315123 | 93,31386801 |

Модель Басса с переменным верхним пределом, учитывающая линейную тенденцию роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | q | m |
| 3,63378E-05 | 0,342227695 | 0,065900424 |

Модель Басса с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| p | Q | R |
| 0 | 0,364280664 | 0,004088578 |

The Logistic Growth model

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,301578477 | 22,65591552 | 852,9135475 |

Модель логистического роста с переменным верхним пределом с учетом линейной тенденции роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,277807284 | 20,79570835 | 0,058996963 |

Модель логистического роста с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 0,269111712 | 18,80373767 | 0,003394501 |

The Gompertz Model

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 2,568742461 | 0,090816957 | 2224,594236 |

Модель Гомпертца с переменным верхним пределом с учетом линейной тенденции роста общего производства электроэнергии

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 2,495292812 | 0,113003921 | 0,093224394 |

Модель Гомпертца с переменным верхним пределом, учитывающая линейный рост общего производства электроэнергии и тенденции снижения затрат

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| k | Alpha | M |
| 2,497245716 | 0,138255477 | 0,00427608 |

[1] GWEC, Global Wind Report | Gwec, Glob. Wind Energy Counc. (2021) 75. http://www.gwec.net/global-figures/wind-energy-global-status/.

[2] J.H. Williams, A. Debenedictis, R. Ghanadan, A. Mahone, J. Moore, W.R.M. Iii, S. Price, M.S. Torn, 2050 : The Pivotal Role of Electricity, Science. 335 (2012) 53–60.

[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] IRENA, Future of Wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects, 2019. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA\_Future\_of\_wind\_2019.pdf.

[5] S. Cloete, An independent Global Energy Forecast to 2050 ( part 5 of 5 ): Electric cars, 2050 (2019) 1–11.

[6] S. Cloete, An independent Global Energy Forecast to 2050, to compare with the IEA’s WEO 2019, Energypost.Au. (2019) 1–6. https://energypost.eu/an-independent-global-energy-forecast-to-2050-to-compare-with-the-ieas-weo-2018/.

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

[8] A. Sood, G.M. James, G.J. Tellis, J. Zhu, S.A.W. Moore, G.M. James, G.J. Tellis, Linked references are available on JSTOR for this article : Predicting the Path of Technological Innovat, 31 (2012) 964–979.

[9] S. Mitra, P. Priya, A. Venkatesh, S.N. Biswas, Timely Forecasts of Diffusion of Innovations: The Bass Model in Emerging Markets, Glob. Bus. Rev. (2020). https://doi.org/10.1177/0972150920973492.

[10] 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.

[11] E.M. Rogers, A. Singhal, M.M. Quinlan, Diffusion of innovations, 2019. https://doi.org/10.4324/9780203710753-35.

[12] A. Tsoularis, J. Wallace, Analysis of logistic growth models, Math. Biosci. 179 (2002) 21–55.

[13] 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.

[14] 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.

[15] 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.

[16] 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).