

АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНТЕРНЕТА НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ДИФФУЗИИ

О.В. Оксюта, А.А. Рублева, Т.В. Скворцова

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Диффузия инноваций представляет собой процесс распространения новых технологий, продуктов и практик в социальной системе. Изучение моделей диффузии инноваций позволяет прогнозировать темпы и масштабы проникновения новых технологий, что необходимо для эффективного управления инновационными процессами. В связи с этим особую актуальность приобретает исследование закономерностей диффузии инноваций в сфере информационно-коммуникационных технологий, в частности, технологий доступа в Интернет. Поиск наиболее подходящей модели с учетом внутренних особенностей стран позволит более точно прогнозировать распространение глобальной инновации.

Ключевые слова: диффузия инноваций, моделирование, Интернет, модели диффузии инноваций.

ANALYSIS OF INTERNET DIFFUSION BASED ON DIFFUSION MODELS

O.V. Oksyuta, A.A. Rubleva, T.V. Skvortsova

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

The diffusion of innovations is the process of spreading new technologies, products and practices in the social system. The study of innovation diffusion models makes it possible to predict the pace and scale of penetration of new technologies, which is necessary for effective management of innovation processes. In this regard, the study of the patterns of diffusion of innovations in the field of information and communication technologies, in particular, Internet access technologies, is of particular relevance. The search for the most suitable model, taking into account the internal

characteristics of countries, will make it possible to more accurately predict the spread of global innovation.

Keywords: diffusion of innovations, modeling, Internet, models of diffusion of innovations.

В наше время Интернет – это одно из средств оперативного доступа к данным через веб-сайты и гиперссылки. Это обширная сеть, соединяющая компьютеры по всему миру.

Интернет в России появился в 1990-х. По одной версии, он появился 7 апреля 1994 года, когда в нашей стране был зарегистрирован первый домен. Согласно другой версии, 28 августа 1990 года. В этот день ученые на компьютере в Институте атомной энергии имени И.В. Курчатова связались с учеными из университета Хельсинки с помощью модема, чтобы регулярно передавать почту по интернету.

Сейчас Интернет является неотъемлемой частью жизни большинства людей, его использование распространилось по всем странам и уголкам мира. Согласно отчету Datareportal, We Are Social и Meltwater Digital к середине 2008 года число пользователей, регулярно использующих Интернет, составляло около 1,5 млрд человек (около четверти населения Земли), сейчас им пользуются более 66% всех людей на Земле. Общее число пользователей в мире составляет 5,35 миллиарда. За последний год это количество увеличилось на 97 млн [2].

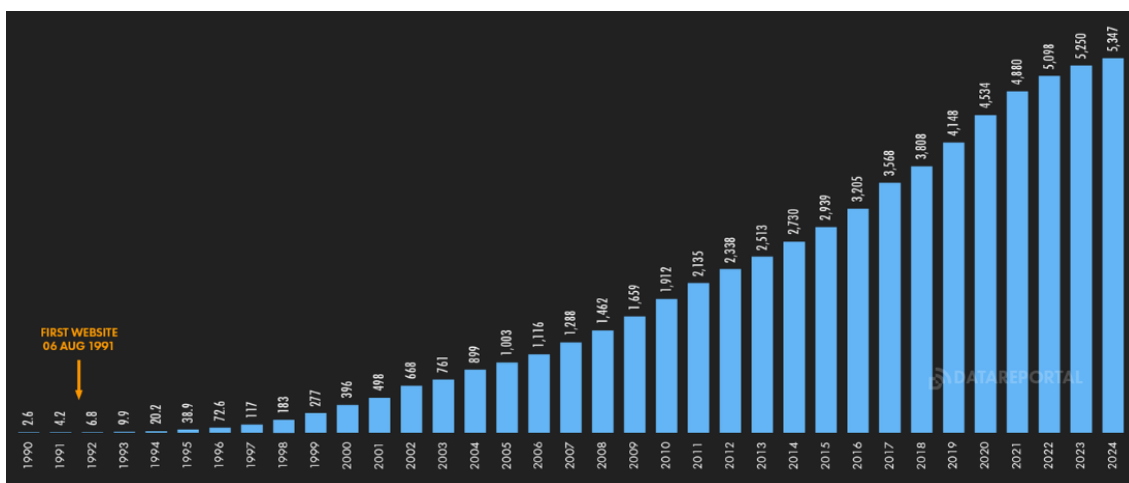


Рисунок 1 – Динамика пользователей Интернета в мире [2]

Идеи, подобные интернету, обладают удивительной способностью быстро распространяться в обществе или, наоборот, исчезать. Для анализа этого явления была разработана теория диффузии инноваций, которая

разъясняет механизмы, причины и моменты, когда новшества принимаются и становятся популярными среди людей.

Концепция диффузии вовсе не является новой. В 1920-х и 1930-х годах этот феномен начал активно исследоваться учеными. Позже, в 1962 году, профессор социологии Э. Роджерс в своей книге «Диффузия инноваций» предоставляет аргументы, поясняющие процесс диффузии новшеств. В соответствии с его определением: «Диффузия – это процесс, в ходе которого инновация передается через определенные каналы среди участников социальных систем на протяжении времени» [4].

На сегодняшний день существует множество моделей диффузии, которые применяются для изучения инновационных процессов. Все они демонстрируют S-образные кривые и выделяют три ключевые стадии внедрения новых продуктов: привлечение первых пользователей (медленный рост); резкое увеличение, когда всё больше людей начинают знакомиться с инновацией; насыщение, характеризующееся замедлением темпов роста.

В работе анализировалось распространение интернета на наиболее популярных моделях: модель Фишер-Прай, модель Гомперца и модель Басса.

Таблица 1 – Модели диффузии

Название	Вид модели	Вид $f(t)$
Фишер-Прай	$\frac{df(t)}{dt} = bf(t) \frac{(1 - f(t))}{1}$	$f(t) = \frac{1}{1 + \beta e^{-bt}}$
Басс	$\frac{df(t)}{dt} = a(1 - f(t)) + \frac{bf(t)((1 - f(t)))}{1}$	$f(t) = \frac{1 - e^{-kt}}{1 + qe^{-kt}}$ $k = a + b, q = \frac{b}{a}$
Гомперц	$\frac{df(t)}{dt} = bf(t) \ln \frac{(f(t))}{M}$	$f(t) = Me^{-ae^{-bt}}$

Процесс моделирования заключается в определении параметров моделей, при которых полученная траектория распространения инновации будет наилучшим образом аппроксимировать реальные данные. В качестве критерии оценки адекватности модели выбран минимум суммы квадратов отклонений данных, который показывает, насколько модельные значения отличаются от реальных. Для оценки параметров модели и вычисления минимума функционала в работе используются метод наименьших квадратов (МНК) и

методы нелинейной оптимизации. Так как уравнение для S-образной кривой по модели Фишера-Прая допускает линейреализацию, то для оценки параметров этой модели будет использовать МНК, а для моделей Басса и Гомперца – методы нелинейной оптимизации.

В работе был проведен анализ развития и распространения интернета по 2 континентам: Европа и Африка. Анализировался период с 2009 по 2024 год, составлялся прогноз по моделям за январь, февраль, март и апрель 2025 г. Качество модели оценивалось по критерию суммы квадратов отклонений модельных значений от реальных данных. Выбиралась модель, которая наилучшим образом отражает распространение и имеет наибольшую точность прогноза.

Европа находится в числе регионов с высоким уровнем информатизации и доступа к технологиям. Для Европы были определены коэффициенты модели регрессии для модели Фишера-Прая: $\beta=62,84214$, $b=0,028513$.

В итоге получили следующее уравнение:

$$f_1(t) = \frac{1}{1 + 62,84214 * e^{0,028513t}}$$

Полученная модель является адекватной, т.к. коэффициент $R^2=0,874716$, критерий $F_{\text{стат}} = 1242,77 > F_{\text{табл}} = 3,9$, $t_{\text{стат}} = 35,25 > t_{\text{табл}} = 1,97$. Сумма квадратов отклонений по модели Фишера-Прая составила $S = 1,4265$. Графически модель Фишера-Прая для Европы имеет вид:



Рисунок 2– Модель Фишер-Прая для Европы

Были получены следующие параметры для модели Басса, минимизирующие функционал ошибки: $a = 0,002271$, $b = 0,008814$, $K=0,011085$, $q = 3,881646$. Таким образом, уравнение модели принимает вид:

$$f_1(t) = \frac{1 - e^{-0,011085t}}{1 + 3,881646 * e^{-0,011085t}}$$

Сумма квадратов отклонений по модели Басса составила $S = 0,2443$.
Полученные результаты по модели Басса представлены на графике:

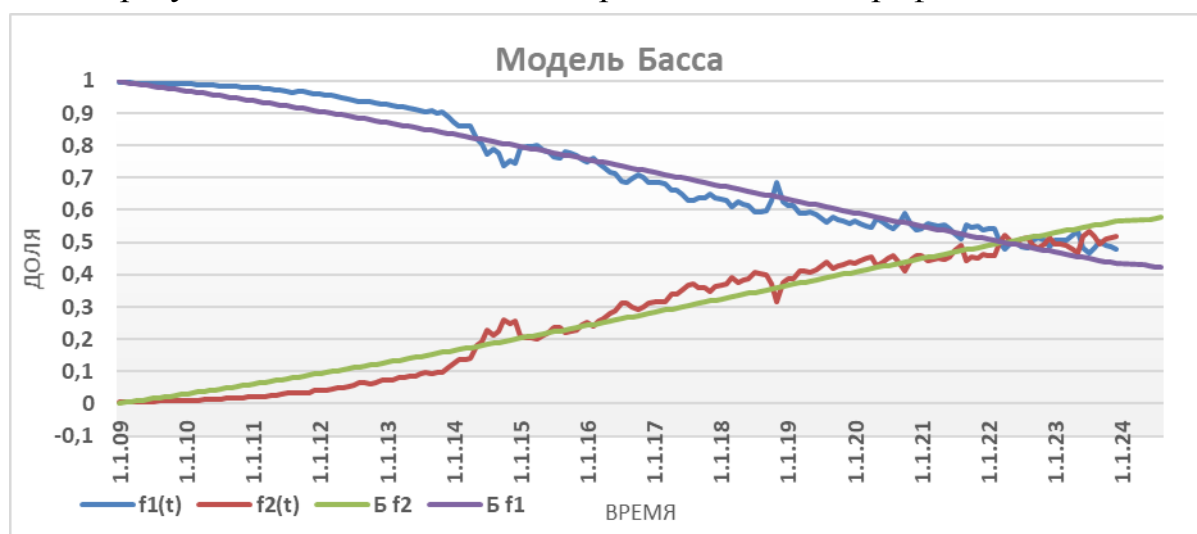


Рисунок 3– Модель Басса для Европы

Аналогичным образом были получены коэффициенты модели Гомперца: $a=6,6388$, $b=0,0261$, $m = 0,5339$, что говорит о том, что потенциальный процент пользователей Интернета с мобильных устройств равен 54%. Модель принимает вид:

$$f_1 = \exp(-6,6388 * \exp(-0,0261))$$

Сумма квадратов отклонений составляет $S = 0,06$. График имеет вид:

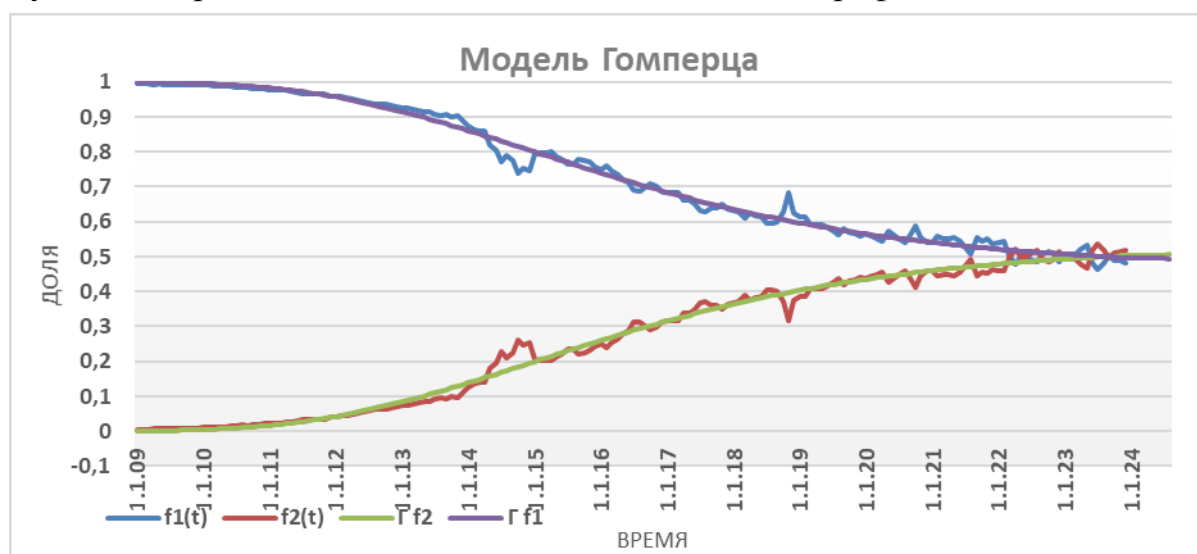


Рисунок 4– Модель Гомперца для Европы

Теперь рассмотрим отклонения по каждой модели(таб.2).

Как можно заметить, модель Гомперца хорошо отражает тенденцию распространения технологий доступа в Интернет. Сумма квадратов отклонений для данной модели имеет наименьшее значение из рассмотренных. Все полученные ошибки находятся в рамках допустимых погрешностей, что является хорошим результатом прогнозирования.

Таблица 2 – Сравнение отклонений по моделям для Европы

Дата	Ф-П	Басс	Гомперц
01.01.25	43,67	11,16	-1,55
01.02.25	47,25	13,70	0,31
01.03.25	44,90	11,68	-1,87
01.04.25	46,89	13,01	-1,09

Согласно прогнозу, доли пользователей, выходящих в Интернет с ПК и мобильных устройств, к концу года будут приблизительно одинаковы. Это объясняется тем, что в странах Европы хорошо развит как мобильный интернет, так и фиксированный, большая доля населения пользуется и тем, и другим.

В противовес Европе бала рассмотрена Африка, уровень проникновения Интернета в которой остается самым низким по сравнению с другими континентами, хотя и наблюдается быстрый рост пользователей сети. Мобильная связь является преобладающим видом доступом в Интернет здесь, так как стоимость смартфона и оплата мобильного интернета являются дешевле.

В ходе построения моделей для Африки было замечено, что данные по Африке характеризуются постоянным изменением соотношения долей, что приводит к неэффективности используемых моделей. Точные причины данных скачков нельзя определить, но на это могло повлиять несколько факторов: перебои в работе сети и стремительный рост проникновения ПК. В связи с постоянными скачками было принято решение строить прогноз на основе данных с 2018 г, когда ситуация была более устойчива.

Таблица 3 – Прогнозные значения по всем моделям для Африки

Дата	Ф-П	Басс	Гомперц
01.05.2025	0,7586	0,9100	0,7671
01.06.2025	0,7609	0,9128	0,7702

01.07.2025	0,7631	0,9155	0,7733
01.08.2025	0,7653	0,9181	0,7764

Графическая интерпретация модели с наилучшим результатом представлена на рисунке:

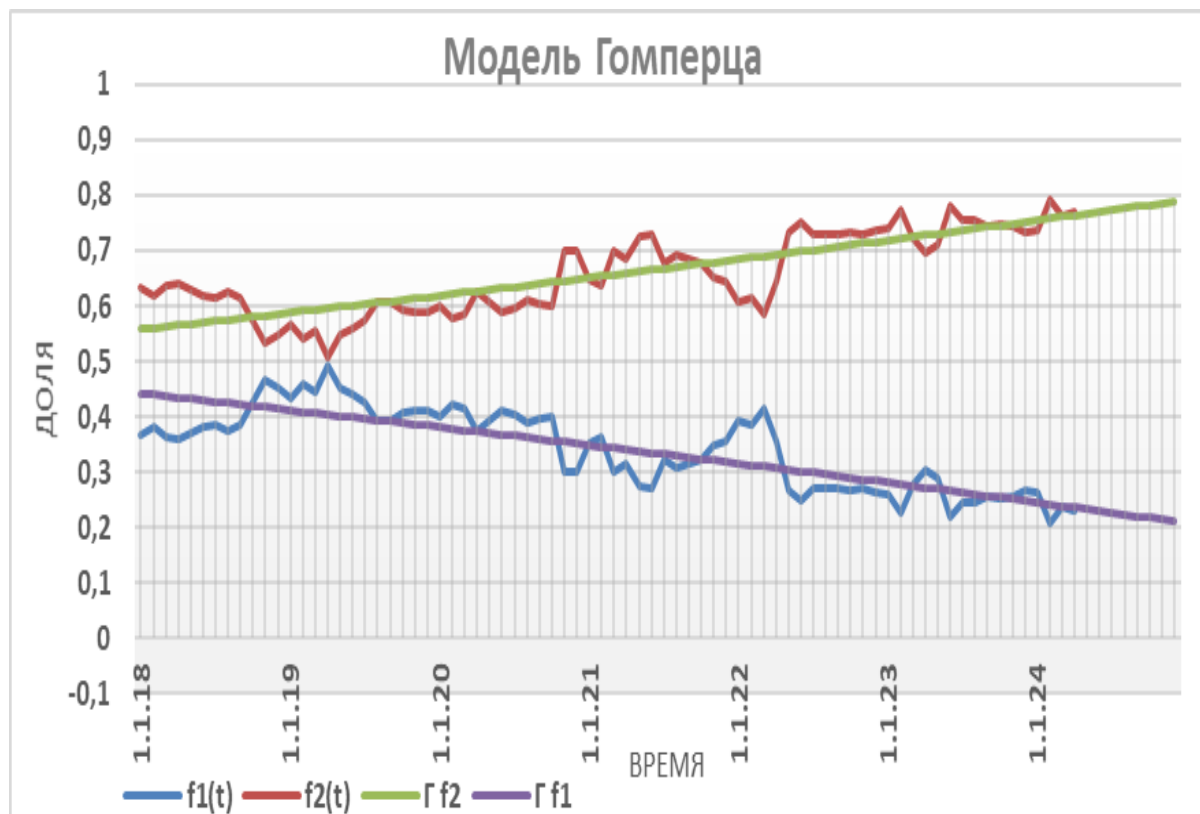


Рисунок 5– Модель Гомперца для Африки

Данный прогноз показывает высокую долю мобильных устройств, как средства выхода в Интернет, в среднем 77,5%.

Таким образом, диффузионные модели, основанные на эпидемическом подходе, способны достаточно точно передавать долгосрочные тенденции распространения глобальных инноваций. В рамках данного исследования были проанализированы три модели. Однако на практике существует обширный выбор различных моделей, поэтому для более глубокого анализа рекомендуется использовать комплексный подход, учитывающий несколько моделей одновременно.

Список литературы

1. Глобальная статистика Statcounter. – URL: <https://gs.statcounter.com/platform-market-share/> (дата обращения: 05.01.2025)
2. Datareportal, We Are Social и Meltwater Digital. – URL: <https://datareportal.com/> (дата обращения: 05.01.2025)
3. Rogers E. M. Diffusion of Innovations. /E.M. Rogers //4th ed.- New York. - 1995. – С. 15-185.
4. Rogers E.M. Diffusion of Innovations. / E.M. Rogers// (5th ed.) New York: Free Press, 2003. – С. 1-85.

References

1. Statcounter Main statistics. – URL: <https://gs.statcounter.com/platform-market-share/> / (date of request: 05.01.2025)
2. Information portal, we are in social networks and Meltwater Digital. – URL: <https://datareportal.com/> / (date of request: 05.01.2025)
3. Rogers E.M. Spreading innovations. /E.M. Rogers //4th ed.- New York. - 1995. – pp. 15-185.
4. Rogers E.M. The spread of innovation. / E.M. Rogers// (5th ed.) New York: Free Press, 2003. pp. 1-85.