

Альберт Эдуардович БРАНД<sup>1</sup>

Владимир Николаевич КУТРУНОВ<sup>2</sup>

Юрий Евгеньевич ЯКУБОВСКИЙ<sup>3</sup>

УДК 330.354+519.86

## ОЦЕНКА СВЯЗИ МЕЖДУ УРОВНЕМ ИННОВАЦИОННОСТИ И ПРОЦЕССОМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОКОЛЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ИЗДЕЛИЯ

<sup>1</sup> аспирант кафедры алгебры и математической логики,  
Тюменский государственный университет  
brand.albert@yandex.ru

<sup>2</sup> доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры алгебры и математической логики,  
Тюменский государственный университет

<sup>3</sup> доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедры прикладной механики,  
Тюменский индустриальный университет  
yakubov@tyuiu.ru

### Аннотация

Статья посвящена оценке связи между уровнем инновационности и процессом распространения поколений промышленного изделия среди потребителей на примере поколений стационарной игровой консоли компании Sony. Данная работа проводится в рамках научного направления моделирования и прогнозирования распространения инноваций и содержит результаты анализа динамики смены последовательных поколений промышленного изделия. Актуальность темы исследования обусловлена увеличением конкуренции между компаниями, осуществляющими инновационную деятельность. Следствием этого является необходимость определения обоснованных направлений

**Цитирование:** Бранд А. Э. Оценка связи между уровнем инновационности и процессом распространения поколений промышленного изделия / А. Э. Бранд, В. Н. Кутрунов, Ю. Е. Якубовский // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Том 7. № 1 (25). С. 146-162. DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-1-146-162

технического, технологического и рыночного развития разрабатываемых инноваций в виде новых и улучшенных изделий. В исследовании используется математическая модель Ф. Басса, дополненная положениями Т. Ислама и Н. Мида об изменчивости поведения потребителей разных поколений. На основе проведенного обзора научно-исследовательской литературы выявлена недостаточная проработанность вопроса качественной и количественной оценки связи между скоростью распространения поколений и внесенными в них изменениями. Сформулированы и выдвинуты гипотезы о независимости рыночных потенциалов последовательных поколений друг от друга и зависимости уровня инновационности последующего поколения промышленного изделия от технологических, потребительских и маркетинговых изменений. В качестве совокупности изменений предложены параметры стоимости покупки и стоимости эксплуатации каждого поколения. Проверка гипотез проводилась на статистических данных продаж поколений стационарной игровой консоли компании Sony за период с 1994-го по 2019 г. с применением корреляционного анализа. По результатам исследования были сформулированы выводы об отсутствии влияния рыночных потенциалов последовательных поколений друг на друга, а также о наличии и силе связи между уровнем инновационности последующего поколения и внесенными изменениями в поколения. Полученные данные могут быть использованы для дальнейшей математической формализации связи между уровнем инновационности и процессом распространения поколений промышленного изделия.

**Ключевые слова**

Инновации, распространение инноваций, технологическое поколение, уровень инновационности поколения, поведения потребителей, стационарные игровые консоли, промышленное изделие, рыночный потенциал.

**DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-1-146-162**

**Введение**

В рамках развития экономики, базирующейся на распространении инноваций в виде новых и улучшенных изделий и непрерывном технологическом совершенствовании, уровень конкурентоспособности промышленных предприятий неразрывно связан с их инновационной деятельностью.

Связь между инновационной активностью организаций и их конкурентоспособностью неоднократно освещалась в отечественных и зарубежных научных работах [3, 13]. Проведенные ИСИЭЗ НИУ ВШЭ исследования [2] фиксируют возрастание доли организаций, осуществляющих инновационную деятельность, что, в свою очередь, способствует увеличению конкуренции и постановке перед организациями задачи еще на стадии концептуального проектирования инноваций определять направление их технического, технологического и рыночного развития, способствующего более массовому распространению.

Начиная с 60-х гг. XX в. благодаря ряду фундаментальных работ Э. Роджерса [16], Т. Хегерстранда [8], Ф. Басса [6] и других авторов сформировалось

научное направление, посвященное моделированию и прогнозированию распространения инноваций. Далее в работе под инновациями согласно трактовке, приведенной в Федеральном законе № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» [4], будут пониматься новые и улучшенные продукты, относящиеся к типу промышленных изделий, а под распространением инновации понимается процесс принятия нового или улучшенного промышленного изделия потребителем путем его продажи и использования.

К настоящему моменту все большее число компаний, создающих и распространяющих инновации, стали придерживаться стратегии вывода на рынок последовательных поколений инноваций, при котором каждое последующее поколение, имея схожие или идентичные функции с предыдущим, превосходит его в потребительских свойствах и имеет более короткий жизненный цикл. Благодаря технологическому прогрессу и увеличивающейся конкуренции высокую актуальность в научной среде приобрела область исследований, посвященная изучению динамики смены поколений инноваций в рамках моделирования и прогнозирования распространения инноваций.

Современный уровень развития математического и имитационного моделирования позволяет прогнозировать такие количественные значения распространения инноваций, как скорость и объем, с учетом большого количества факторов, предопределяя стратегию промышленных структур предприятий. Однако на данный момент в научно-исследовательской литературе недостаточно проработанным остается вопрос качественной и количественной оценки влияния вносимых в поколения инноваций изменений на процесс их распространения. Под общим объемом изменений, вносимых в поколения инноваций и воспринимаемых потребителями (клиентами), в дальнейшем будет использоваться термин «уровень инновационности поколения».

В соответствии с вышесказанным целью статьи является оценка связи между уровнем инновационности и процессом распространения поколений промышленного изделия среди потребителей на примере поколений стационарной игровой консоли компании Sony.

В исследовании в качестве основы используются математическая модель Ф. Басса, дополненная положениями Т. Ислама и Н. Мида об изменчивости поведения потребителей разных поколений, и статистические данные о продажах поколений стационарной игровой консоли компании Sony.

Структурно статья представлена тремя основными разделами: в первом разделе изложен обзор состояния вопроса, позволяющий сформулировать гипотезы исследования. Во втором разделе приводятся и описываются математические модели, метод исследования связи между уровнем инновационности и процессом распространения поколений промышленного изделия и статистические данные для апробации. В третьем разделе демонстрируются результаты исследования. В конце статьи обсуждаются полученные результаты, их теоретическая и практическая значимость, а также дальнейшие перспективы исследования.

**Степень научной разработки вопроса**

Модель распространения инноваций в общем виде может быть представлена в виде нелинейного дифференциального уравнения, предложенного Р. Петерсоном и В. Махаджаном и базирующегося на задаче Коши [11]:

$$\frac{dN(t)}{dt} = g(t, N(t)) \cdot [m - N(t)], \quad (1)$$

с начальным условием  $N(0) = N_0$ , где  $dN/dt$  — скорость распространения инновации или скорость продаж;  $N(t)$  — кумулятивное число продаж к моменту времени  $t$ ;  $g(t, N(t))$  — коэффициент диффузии, описывающий природу или механизм распространения инновации, интерпретируется как вероятность покупки в момент времени  $t$  и считается линейной функцией  $N(t)$ ;  $[m - N(t)]$  — кумулятивное число потенциальных потребителей или (в некоторых источниках) объем неосвоенного рынка;  $m$  — потенциал рынка;  $t$  — время.

Всестороннему обзору моделей с различными коэффициентами диффузии посвящена работа [10]. К широко применяемым на практике относится модель распространения инноваций Ф. Басса [6], в которой коэффициент диффузии описывает механизм роста количества потребителей инновации через эффект рекламы и эффект межличностных коммуникаций:

$$\frac{dN(t)}{dt} = p[m - N(t)] + q \frac{N(t)}{m} [m - N(t)] = \left[ p + q \frac{N(t)}{m} \right] [m - N(t)], \quad (2)$$

где  $p$  — коэффициент инновации, выражающий собой «эффект рекламы» при предположении, что потребители-новаторы узнают об инновации из СМИ либо случайно;  $q$  — коэффициент имитации, выражающий эффект «из уст в уста», при предположении, что потребители-имитаторы узнают об инновации от действующих потребителей.

Уравнение (2) представляет собой нелинейное обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка с граничными условиями  $[0, \infty)$ , относящиеся к уравнениям Риккати, которое при частном случае  $m, p, q = const$  и начальном условии  $N(0) = N_0$  можно привести к уравнению с разделяющимися переменными [6]. Перепишем уравнение (2) через кумулятивную долю потребителей  $F(t) = N(t)/m$ :

$$\frac{dF(t)}{dt} = (p + qF(t))[1 - F(t)]. \quad (3)$$

Раскрыв правую часть, получим:

$$\frac{dF(t)}{dt} = p + (q - p)F(t) - qF^2(t). \quad (4)$$

Приведем уравнение (4) к рациональной функции с квадратичным трехчленом в знаменателе:

$$\frac{dF(t)}{p + (q - p)F(t) - qF^2(t)} = dt. \quad (5)$$

Проинтегрировав обе части уравнения, придадим уравнению (3) следующий вид:

$$F(t) = \frac{1 - e^{-(p+q)(t+c)}}{1 + \left(\frac{q}{p}\right) e^{-(p+q)(t+c)}}, \quad (6)$$

где  $c$  — константа, определяемая начальным условием. При  $F(0) = 0$  и, соответственно,  $N(0) = 0$  уравнение (6) будет представлено следующим образом:

$$F(t) = \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \left(\frac{q}{p}\right) e^{-(p+q)t}}, \quad (7)$$

или

$$N(t) = m \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \left(\frac{q}{p}\right) e^{-(p+q)t}}. \quad (8)$$

Для оценки параметров  $p$ ,  $q$ ,  $m$  широко используются процедуры оценки параметров. К наиболее применяемым относятся [20]:

- на основе обыкновенного метода наименьших квадратов (МНК), является первой процедурой оценки параметров;
- на основе метода максимального правдоподобия (ММП);
- на основе нелинейного метода наименьших квадратов (НМНК);
- на основе алгебраического метода (АМ).

В работе [12] исследуются преимущества и недостатки указанных процедур оценки и проводится эмпирическое сравнение с использованием семи наборов данных. Авторы отмечают, что НМНК дает наиболее точные прогнозные результаты, однако МНК является наиболее распространенным и простым в реализации, при достаточном количестве наблюдений он может быть применен для оценки параметров.

Большое количество исследований показывают, что модель (2) обладает адекватными прогнозирующими свойствами для описания процессов распространения широкого спектра инноваций. Однако в основе модели лежит ряд допущений, способствующих получению относительно простого аналитического представления процесса распространения инноваций и ограничивающих ее использование. Эти допущения широко обсуждались среди исследователей, став предметом изучения в многочисленных научных работах и основанием для усовершенствования модели. Анализ современных подходов к описанию и моделированию процессов распространения новых продуктов и услуг посвящена работа [1].

Продолжением развития модели (2) при изучении динамики смены поколений инноваций стала математическая модель, описывающая скорость распространения  $i$ -того поколения инновации как функции своего потенциала до появления следующего поколения. Для случая двух поколений модель выглядит следующим образом [14]:

$$\begin{cases} N_1(t) = F_1(t) \cdot m_1 \cdot [1 - F_2(t - \tau_2)] \text{ при } t > 0, \\ N_2(t) = F_2(t - \tau_2) \cdot [m_2 + F_1(t) \cdot m_1] \text{ при } t > \tau_2, \end{cases} \quad (9)$$

где  $N_1(t)$ ,  $N_2(t)$  — кумулятивное число продаж первого и второго поколений соответственно к моменту времени  $t$ ;  $F_1$ ,  $F_2$  — кумулятивная доля первого и второго поколений соответственно к моменту времени  $t$ , рассчитываемая как  $F_i = N_i/m_i$ ;  $m_1$ ,  $m_2$  — потенциал первого и второго поколений соответственно;  $\tau_i$  — время выхода  $i$ -того поколения на рынок.

В модели (9) в качестве допущения используется постоянство коэффициентов  $p$  и  $q$ , входящих в  $F_1$  и  $F_2$ . Предполагается, что для рассматриваемых поколений инновации поведение потребителей неизменно, а потенциал второго поколения  $m_2$  включает в себя потенциал первого поколения  $m_1$ , подразумевая, что потребители первого поколения с течением времени перейдут на товары второго поколения.

Исследование, проведенное Т. Исламом и Н. Мидом [9] на примере последовательных поколений мобильных технологий, показало, что значение коэффициентов  $p$  и  $q$  может быть различным для последовательных поколений. На основе процедуры максимального правдоподобия с полной информацией (FIML) авторами демонстрируется, что в большинстве случаев гипотеза о постоянстве коэффициентов может быть отвергнута, а связь между коэффициентами разных поколений выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} p_i = p_1 + \Delta p_i, \\ q_i = q_1 + \Delta q_i, \end{cases} \quad (10)$$

где  $\Delta p_i$  и  $\Delta q_i$  — разница значений коэффициентов инновационности и имитационности между первым и  $i$ -тым поколениями при  $i > 1$ .

Благодаря работе Т. Ислама и Н. Мида сформировалось направление исследований, связанное с изучением связи коэффициентов инновационности и имитационности в последовательных поколениях. Практическая значимость результатов направления основывается на способности ответить на вопрос о степени принятия и скорости распространения нового поколения инновации еще на стадии создания концепта последующего поколения.

В работе Д. Абея [5] дано определение рыночной структуры последовательных поколений через уровень их технологичности, потребительских свойств и функциональности. В исследовании С. Стремерша, И. Мюллера и Р. Переса [21] использовался подход Д. Абея и на эмпирических данных исследовалась связь между коэффициентами инновационности и имитационности разных поколений через параметр ускорения. Однако полученная связь математически не формализована и, согласно выводам авторов, не является значимой. В работе Р. Переса, И. Мюллера и В. Махаджана [15] на основе метаанализа исследований, посвященных распространению инноваций, отмечается слабая проработанность в научной литературе связи между поколениями инноваций. Исследователи Х. Ши, К. Фернандес и П. Чумнумпан [17] для оценки поведения потребителей по отношению к разным поколениям инноваций используют

подход, основанный на параметре «ожидаемой полезности». Однако полученная модель, согласно заключению авторов, трудна в реализации из-за большого количества параметров и требований к данным. В связи с этим авторы ввели допущение о постоянстве коэффициентов инновационности и имитационности, уменьшив количество параметров и упростив модель.

Таким образом, на данный момент в исследовательской литературе недостаточно проработанным остается вопрос качественной и количественной оценки связи между скоростью распространения поколений инноваций и внесенными изменениями. На основе проведенного обзора сформулированы следующие гипотезы исследования:

*Гипотеза 1* — рыночные потенциалы последовательных поколений инноваций независимы друг от друга, а сами поколения не оказывают влияния друг на друга.

*Гипотеза 2* — уровень инновационности последующего поколения инновации, заключающийся в изменениях значений коэффициентов инновационности  $p$  и имитационности  $q$ , зависит от технологических, потребительских и маркетинговых изменений.

Для апробации гипотезы в работе поставлены следующие задачи:

- 1) определить значение коэффициентов инновационности  $p_i$  и имитационности  $q_i$  для рассматриваемых поколений стационарных игровых консолей;
- 2) определить изменения коэффициентов инновационности  $\Delta p_i$  и имитационности  $\Delta q_i$  для последующих поколений стационарных игровых консолей;
- 3) определить наличие и силы связей между изменениями коэффициентов инновационности  $\Delta p$  и имитационности  $\Delta q$  и технологическими, потребительскими и маркетинговыми изменениями.

### Методология исследования

Рассмотрим смену  $i$ -того числа последовательных поколений независимо друг от друга. Перепишем уравнение (2):

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = \left[ p_i + q_i \frac{N_i(t)}{m_i} \right] [m_i - N_i(t)]. \quad (11)$$

Связь между коэффициентами инновационности и имитационности между последовательными поколениями в общем виде можно представить следующим образом:

$$\begin{cases} p_{i+1} = p_i + \Delta p_i, \\ q_{i+1} = q_i + \Delta q_i, \end{cases} \quad (12)$$

где  $\Delta p_i$  и  $\Delta q_i$  — разница значений коэффициентов инновационности и имитационности между поколениями  $i$  и  $i + 1$  при  $i \geq 1$ .

При оценке параметров  $p$ ,  $q$ ,  $m_i$  произведем дискретизацию модели Ф. Басса (11) с преобразованием ее в форму регрессионной модели согласно [6]. Далее к полученным с помощью регрессионного анализа оценкам параметров функции регрессии применим обыкновенный метод наименьших квадратов. Для этого перепишем уравнение (2) для дискретного случая:

$$S(t) = N_i(t) - N_i(t-1) = \left( p_i + q_i \frac{N_i(t-1)}{m_i} \right) [m_i - N_i(t-1)], \quad (13)$$

где  $S(t)$  — прирост потребителей или продаж за период  $t$ .

Раскрывая скобки, получим:

$$S(t) = p_i m_i + (q_i - p_i) N_i(t-1) - \frac{q_i}{m_i} N_i^2(t-1). \quad (14)$$

В форме регрессионной модели уравнение (12) примет вид:

$$S(t) = \alpha_1 + \alpha_2 N_i(t-1) - \alpha_3 N_i^2(t-1). \quad (15)$$

С помощью регрессионного анализа данных о продажах поколений стационарных игровых консолей получим оценки параметров функции регрессии. Оценки искомых параметров уравнения (11) определяются решением следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \hat{p}_i \hat{m}_i = \hat{\alpha}_1, \\ \hat{q}_i - \hat{p}_i = \hat{\alpha}_2, \\ \frac{\hat{q}_i}{\hat{m}_i} = \hat{\alpha}_3, \end{cases} \quad (16)$$

которое имеет вид:

$$\hat{p}_i = \frac{-\hat{\alpha}_2 + \sqrt{\hat{\alpha}_2^2 - 4\hat{\alpha}_1\hat{\alpha}_3}}{2} = \frac{\hat{\alpha}_1}{\hat{m}_i}, \quad (17)$$

$$\hat{q}_i = \frac{\hat{\alpha}_2 + \sqrt{\hat{\alpha}_2^2 - 4\hat{\alpha}_1\hat{\alpha}_3}}{2} = -\hat{\alpha}_3 \hat{m}_i, \quad (18)$$

$$\hat{m}_i = \frac{-\hat{\alpha}_2 - \sqrt{\hat{\alpha}_2^2 - 4\hat{\alpha}_1\hat{\alpha}_3}}{2\hat{\alpha}_3}. \quad (19)$$

Получив расчетные значения  $m_i$  для каждого поколения, произведем сравнение с фактическими данными продаж игровых консолей и проверим гипотезу 1. Для проверки гипотезы 2 исследовались технологические, потребительские и маркетинговые характеристики каждого поколения, которые сопоставлялись с предыдущим.

По результатам исследования и сравнения выявлено, что к изменяемым маркетинговым характеристикам, воспринимаемым потребителями, по которым удалось найти открытые данные, относится цена каждого поколения в начале распространения. Цена поколения косвенно отражает объем инвестиций в исследование и разработку поколения стационарной игровой консоли, а также уровень маркетинговых усилий компании. Для учета потребительского восприятия цена поколения пересчитывалась по паритету покупательской способности согласно методике, предложенной в [7].

Ввиду большого числа технологических и потребительских изменений, часть которых не повторяется в предыдущих поколениях, в качестве обобщенной характеристики использована стоимость эксплуатации каждого поколения консоли,

выраженная через пересчитанную по паритету покупательной способности среднюю цену консольных игр, относящихся к классу высокобюджетных. Цена указанных игр косвенно отражает уровень технологического и потребительского совершенствования консоли, в том числе создание и развитие сетевых сервисов и новых функций.

Наличие и силы связи между изменениями коэффициентов инновационности  $\Delta p$  и имитационности  $\Delta q$  и технологическими, потребительскими и маркетинговыми изменениями определялась посредством корреляционного анализа.

На основе вышеприведенного, параметры  $p_{i+1}$  и  $q_{i+1}$  последующих поколений, учитывающие изменчивость поведения потребителей согласно положениям Т. Ислама и Н. Мида, могут быть описаны следующим образом:

$$\begin{cases} p_{i+1} = p_i + \Delta p_i = p_i + \Delta p_i(\Delta C_i^p), \\ q_{i+1} = q_i + \Delta q_i = q_i + \Delta q_i(\Delta C_i^q), \end{cases} \quad (20)$$

где  $\Delta p_i(\Delta C_i^p)$  — функция изменения коэффициента инновационности в зависимости от изменения цены консоли;  $\Delta q_i(\Delta C_i^q)$  — функция изменения коэффициента имитационности в зависимости от изменения цены на консольные игры, относящихся к классу высокобюджетных при  $i \geq 1$ .

Для проверки гипотез 1 и 2 используются данные об абсолютных продажах поколений стационарных игровых консолей компании Sony, приведенные на рис. 1 и в таблице 1. Источником данных выступают документы консолидированной финансовой отчетности компаний Sony [17] за период с 1994-го по 2019 г.

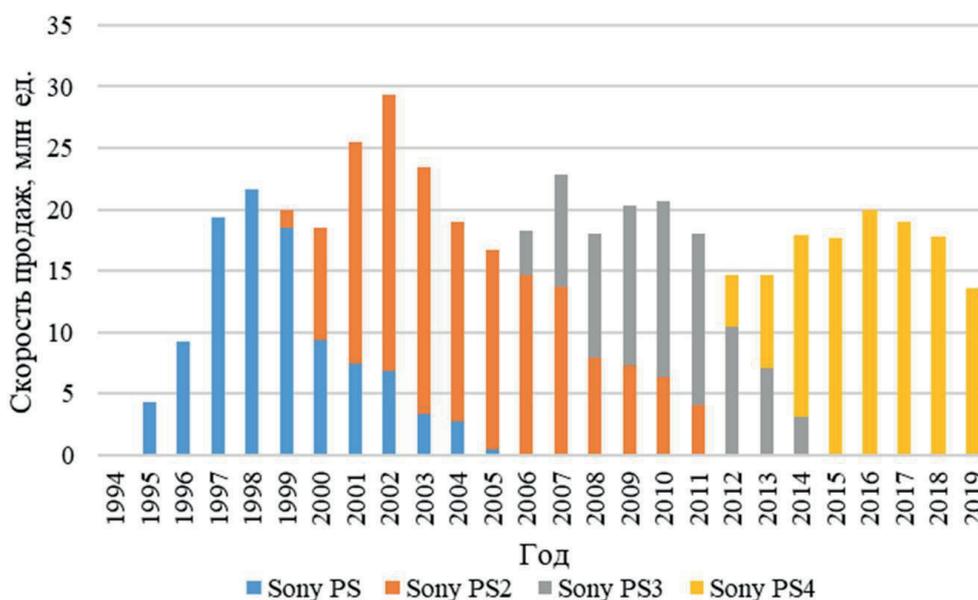


Рис. 1. Динамика смены поколений игровых консолей компании Sony, 1994-2019 гг., млн ед.

Fig. 1. The dynamics of generation change of Sony game consoles, 1994-2019, mln units

Таблица 1

Данные о продажах поколений  
стационарных игровых консолей  
компаний Sony, 1994-2019 гг., млн ед.

Table 1

The data on sales of Sony stationary  
game consoles' generations, 1994-2019,  
mln units

Фискальный год	SONY			
	PS	PS2	PS3	PS4
1994	0,00	—	—	—
1995	4,30	—	—	—
1996	9,20	—	—	—
1997	19,37	—	—	—
1998	21,60	0,00	—	—
1999	18,50	1,41	—	—
2000	9,31	9,20	—	—
2001	7,40	18,07	—	—
2002	6,78	22,52	—	—
2003	3,31	20,10	—	—
2004	2,77	16,17	—	—
2005	0,50	16,22	0,00	—
2006	0,00	14,71	3,61	—
2007	—	13,66	9,12	—
2008	—	7,91	10,10	—
2009	—	7,30	13,00	—
2010	—	6,40	14,30	—
2011	—	4,10	13,90	0,00
2012	—	0,00	10,40	4,20
2013	—	—	7,10	7,50
2014	—	—	3,10	14,80
2015	—	—	0,00	17,70
2016	—	—	—	20,00
2017	—	—	—	19,00
2018	—	—	—	17,80
2019	—	—	—	13,60

Таблица 2

Данные о цене поколений игровых консолей компании Sony в начале распространения консольных игр, относящихся к классу высокобюджетных

Table 2

The data on the price of the Sony game consoles' generations at the beginning of distribution of the console games of the high-budget class

Наименование поколения	$C_i^p$	$C_i^q$
PS1	129	16,5
PS2	123	18,2
PS3	190	15,6
PS4	92	13,7

В таблице 2 представлены пересчитанные цены поколений игровых консолей компаний Sony в начале распространения и цены на консольные игры, относящиеся к классу высокобюджетных.

### Результаты

В таблице 3 представлены результаты обработки данных смены поколений игровых консолей компании Sony с отражением  $p_i$ ,  $q_i$ ,  $\Delta p_i$ ,  $\Delta q_i$ ,  $m_{\text{факт}}$ ,  $m_{\text{расчет}}$ .

Расчетные и фактические значения рыночных потенциалов каждого поколения игровых консолей компании Sony свидетельствуют, что рыночные потенциалы последовательных поколений инноваций независимы друг от друга, а сами поколения не оказывают значимого влияния друг на друга. В качестве основных причин этого авторами исследования выделяются: наличие конкуренции со стороны других производителей игровых консолей и персональных компьютеров, снижение уровня ценовой доступности как консолей, так и игр в связи с падением реальных располагаемых доходов в части стран.

В таблице 4 отражены соответствующие изменения  $\Delta p_i$  и  $\Delta C_i^p$ ,  $\Delta q_i$  и  $\Delta C_i^q$ .

В процессе применения корреляционного анализа, посредством которого выявлялись наличие и сила связи между изменениями коэффициентов инновационности  $\Delta p_i$  и имитационности  $\Delta q_i$  и технологическими, потребительскими и маркетинговыми изменениями, получены следующие результаты:

*Сила связи между изменениями:*

- $\Delta p_i$  и  $\Delta C_i^p$  — средняя и обратная (–0,45), которая может служить для качественной оценки связи.
- $\Delta q_i$  и  $\Delta C_i^q$  — высокая и обратная (–0,94), которая может служить для выявления качественной и количественной оценки связи.
- $\Delta p_i$  и  $\Delta C_i^q$  — высокая и прямая (0,92), которая может служить для выявления качественной и количественной оценки связи.
- $\Delta q_i$  и  $\Delta C_i^p$  — средняя и обратная (–0,41), которая может служить для качественной оценки связи.

Таблица 3

Результаты обработки данных смены поколений игровых консолей компании Sony

Номер поколения	1	2	3	4
Наименование поколения	PlayStation 1	PlayStation 2	PlayStation 3	PlayStation 4
$m_{\text{факт}}$	102,54	157,77	84,63	114,60
$m_{\text{расчет}}$	103,73	163,09	93,61	145,41
Отклонение между $m_{\text{факт}}$ и $m_{\text{расчет}}$ , %	$\approx 1,1$	$\approx 3,3$	$\approx 9,6$	$\approx 0,03-3,72^{[1]}$
$p_i$	0,007	0,019	0,009	0,01
$q_i$	0,778	0,457	0,618	0,553
$\Delta p_i$	— <sup>[2]</sup>	0,012	-0,010	0,001
$\Delta q_i$	— <sup>[3]</sup>	-0,321	0,161	-0,065

<sup>[1]</sup> значение рассчитано исходя из прогноза компании Sony о кумулятивных продажах в 140-145 млн штук [19];

<sup>[2]</sup> не рассчитывается, так как нет предшествующего поколения;

<sup>[3]</sup> не рассчитывается, так как нет предшествующего поколения.

Table 3

The results of data processing for Sony game consoles' generation changes

<sup>[1]</sup> the value is calculated based on Sony's forecast of cumulative sales of 140-145 mln units [19];

<sup>[2]</sup> not calculated because there is no previous generation;

<sup>[3]</sup> not calculated because there is no previous generation.

Таблица 4

Изменения  $\Delta p_i$  и  $\Delta C_i^p$ ,  $\Delta q_i$  и  $\Delta C_i^q$

Порядковый номер изменения	$\Delta p_i$	$\Delta C_i^p$	$\Delta q_i$	$\Delta C_i^q$
1	0,012	-6	-0,321	1,7
2	-0,010	67	0,161	-2,6
3	0,001	-98	-0,065	-1,9

Table 4

The changes in  $\Delta p_i$  and  $\Delta C_i^p$ ,  $\Delta q_i$  and  $\Delta C_i^q$

Полученные данные свидетельствуют, что использование параметров стоимости эксплуатации каждого поколения консоли, выраженной через пересчитанную по паритету покупательной способности, и параметр цены консольных игр могут быть использованы для оценки связи между уровнем инновационности и процессом распространения поколений промышленного изделия среди потребителей.

### Обсуждение и выводы

Проведенное исследование по оценке связи между уровнем инновационности и процессом распространения поколений промышленного изделия на примере поколений стационарной игровой консоли компании Sony показало наличие связи между изменениями коэффициентов инновационности  $\Delta p_i$  и имитационности  $\Delta q_i$  и технологическими, потребительскими и маркетинговыми изменениями. На выборке в четыре поколения авторам удалось получить оценку силы связи, свидетельствующей о возможности дальнейшего получения качественной и/или количественной оценки связи между скоростью и объемом распространения поколений и внесенными в них изменениями.

Теоретической значимостью исследования является формирование основы для дальнейшей математической формализации связи между уровнем инновационности и процессом распространения поколений промышленного изделия. Практической значимостью исследования выступает выявленная величина коэффициента корреляции между затратами потребителя на покупку и эксплуатацию поколения промышленного изделия и скоростью их распространения.

Дальнейшим этапом исследования является учет фактора конкуренции и построение более адекватной математической модели с использованием объемной базы статистических данных. Перспективным, по мнению авторов, может выступать учет абсолютных затрат на R&D (НИОКР), скорректированный с учетом эффекта запаздывания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубинина М. Г. Исследование современных подходов к моделированию процессов распространения технологий в наукоемких отраслях / Дубинина М. Г. // Труды ИСА РАН. 2015. Т. 65. № 3. С. 43-54.
2. Сайт института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ. URL: <https://issek.hse.ru/news/392498475.html>
3. Трусевич Е. В. Инновационная активность как средство обеспечения конкурентоспособности предприятий / Е. В. Трусевич, Н. А. Гончарова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2014. № 2 (42). С. 196-202.
4. Федеральный закон от 23.08.1996 № 127-ФЗ: по сост. на 08.12.2020 «О науке и государственной научно-технической политике» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9028333>
5. Abell D. Defining the Business: The Starting Point of Strategic Planning / edited by D. Abell. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1980. 257 p.
6. Bass F. M. A new product growth model for consumer durables / F. M. Bass // Management Science. 1969. No. 15 (5). Pp. 215-227.
7. Cox J. Purchasing power parity and cultural convergence: evidence from the global video games market / J. Cox // Journal of Cultural Economics. 2008. No. 32 (3). Pp. 201-214. DOI: 10.1007/s10824-008-9073-z

8. Hagerstrand T. Innovation diffusion as a spatial process / edited by T. Hagerstrand. Chicago, USA: Univ. Chicago Press, 1967. 334 p.
9. Islam T. The diffusion of successive generations of a technology: a more general model / T. Islam, N. Meade // *Technological Forecasting and Social Change*. 1997. No. 56 (1). Pp. 49-60.
10. Kumar N. Review of innovation diffusion models/ N. Kumar // Working paper. 2015. № 1. URL: [www.researchgate.net/publication/279099570\\_Review\\_of\\_Innovation\\_Diffusion\\_Models](http://www.researchgate.net/publication/279099570_Review_of_Innovation_Diffusion_Models)
11. Mahajan V. Innovation diffusion in a dynamic potential adopter population / V. Mahajan, R. A. Peterson // *Management Science*. 1978. No. 24 (15). Pp. 1589-1597. DOI: 10.1287/mnsc.24.15.1589
12. Mahajan V. Innovation diffusion models of new product acceptance / edited by V. Mahajan, Y. Wind. Cambridge: Ballinger. 1986. 318 p.
13. Marshall G. Innovation and competition: The role of the product market / G. Marshall, A. Parra // *International Journal of Industrial Organization*. 2019. No. 65. Pp. 221-247. DOI: 10.1016/j.ijindorg.2019.04.001
14. Norton J. A. A diffusion theory model of adoption and substitution for successive generations of high-technology products / J. A. Norton, F. M. Bass // *Management science*. 1987. No. 33 (9). Pp. 1069-1086.
15. Peres R. Innovation diffusion and new product growth models: A critical review and research directions / R. Peres, E. Muller, V. Mahajan // *International Journal of Research in Marketing*. 2010. No. 27 (2). Pp. 91-106. DOI: 10.1016/j.ijresmar.2009.12.012
16. Rogers E. M. Diffusion of innovations (1st ed.) / edited by E. M. Rogers. New York: Free Press of Glencoe, 1962.
17. Shi X. Diffusion of multi-generational high-technology products / X. Shi, K. Fernandes, P. Chumnumpan // *Technovation*. 2014. № 34. Pp. 162-176.
18. SONY. Earnings Releases. URL: <https://www.sony.net/SonyInfo/IR/library/presen/er/archive.html>
19. SONY. PlayStation hardware and software sales decline in Q3 FY19. URL: <https://sonyreconsidered.com/playstation-hardware-and-software-sales-decline-in-q3-fy19-92dc321a2803>
20. Srinivasan V. Nonlinear least square estimation of new product diffusion models / V. Srinivasan, C. Mason // *Marketing Science*. 1986. No. 5. Pp. 169-178.
21. Stremersch S. Does new product growth accelerate across technology generations? / S. Stremersch, E. Muller, R. Peres. // *Journal of Marketing*. 2010. No. 21 (2). Pp. 103-120.

**Albert E. BRAND**<sup>1</sup>

**Vladimir N. KUTRUNOV**<sup>2</sup>

**Yuriy E. YAKUBOVSKIY**<sup>3</sup>

UDC 330.354+519.86

**ASSESSMENT OF THE RELATIONSHIP  
BETWEEN THE INNOVATION LEVEL  
AND THE PROCESS OF DISTRIBUTING GENERATIONS  
OF AN INDUSTRIAL PRODUCT**

<sup>1</sup> Postgraduate Student,  
Department of Algebra and Mathematical Logics,  
University of Tyumen  
brand.albert@yandex.ru

<sup>2</sup> Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor,  
Department of Algebra and Mathematical Logics,  
University of Tyumen

<sup>3</sup> Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
Head of the Department of Applied Mechanics,  
Industrial University of Tyumen  
yakubov@tyuiu.ru

**Abstract**

This article assesses the relationship between the level of innovation and the process of spreading generations of an industrial product among the consumers on the example of generations of a stationary game console from Sony. This work follows the scientific direction of modeling and forecasting the spread of innovations; it contains the results of the analysis of the dynamics in the change of successive generations of an industrial product. The relevance of the research topic lies in the increased competition between

---

**Citation:** Brand A. E., Kutrunov V. N., Yakubovskiy Yu. E. 2021. "Assessment of the relationship between the innovation level and the process of distributing generations of an industrial product". Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 7, no. 1 (25), pp. 146-162.

DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-1-146-162

companies engaged in innovative activities. This results in the need to determine the reasonable directions of technical, technological, and market development of the developed innovations in the form of new and improved products.

This study uses the mathematical model by F. Bass, supplemented by the provisions of T. Islam and N. Meade on the variability of consumer behavior of different generations. The conducted review of research literature has revealed an insufficient elaboration of the issue of a qualitative and quantitative assessment of the relationship between the rate of spread of generations and the changes made to them. The authors draw hypotheses about the independence of the market potentials of successive generations from each other and the dependence of the level of innovativeness of the next generation of industrial products on technological, consumer and marketing changes. As a set of changes, this article proposes parameters of the purchase price and the cost of operating each generation. The authors have tested the hypothesis on statistical data of generational sales for 1994-2019 using correlation analysis. The results have shown the absence of the influence of the market potentials of successive generations from each other, as well as the presence of a connection and its strength between the level of innovativeness of the next generation and the changes made in the generations. The data obtained can be used for further mathematical formalization of the influence of the level of innovativeness of generations on the process of their distribution.

#### **Keywords**

Innovation, diffusion of innovations, technological generation, level of innovation of the generation, consumer behavior, stationary game consoles, industrial product, market potential.

**DOI: 10.21684/2411-7978-2021-7-1-146-162**

#### **REFERENCES**

1. Dubinina M. G. 2015. "A study of current approaches to modeling the diffusion of technologies in high-tech industries". Proceedings of the Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences. Vol. 65, no. 3, pp. 43-54. [In Russian]
2. Website HSE University Institute for Statistical Studies and Economics of Knowledge. <https://issek.hse.ru/news/392498475.html> [In Russian]
3. Trusevich E. V., Goncharova N. A. 2014. "Innovation activity as a means of competitiveness". Modern Technologies. System Analysis. Modeling, vol. 2, no. 42, pp. 196-202. [In Russian]
4. RF Federal Law of 23 August 1996 No. 127-FZ (as of 8 December 2020) "On Science and State Scientific and Technical Policy". Elektronnyy fond pravovoy i normativno-tekhnicheskoy dokumentatsii. <http://docs.cntd.ru/document/9028333> [In Russian]
5. Abell D. 1980. *Defining the Business: The Starting Point of Strategic Planning*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. 257 p.
6. Bass F. M. 1969. "A new product growth model for consumer durables". *Management Science*, vol. 15, no. 5, pp. 215-227.

7. Cox J. 2008. "Purchasing power parity and cultural convergence: evidence from the global video games market". *Journal of Cultural Economics*, vol. 32, no. 3, pp. 201-214.  
DOI: 10.1007/s10824-008-9073-z
8. Hagerstrand T. 1967. *Innovation Diffusion as a Spatial Process*. Chicago, USA: Univ. Chicago Press. 334 p.
9. Islam T., Meade N. 1997. "The diffusion of successive generations of a technology: a more general model". *Technological Forecasting and Social Change*. vol. 56, no. 1, pp. 49-60.
10. Kumar N. 2015. "Review of innovation diffusion models". Working paper, no. 1. Accessed 1 November 2020. [www.researchgate.net/publication/279099570\\_Review\\_of\\_Innovation\\_Diffusion\\_Models](http://www.researchgate.net/publication/279099570_Review_of_Innovation_Diffusion_Models)
11. Mahajan V., Peterson R. A. 1978. "Innovation diffusion in a dynamic potential adopter population". *Management Science*. vol. 24, no. 15, pp. 1589-1597.  
DOI: 10.1287/mnsc.24.15.1589
12. Mahajan V. Wind Y. 1986, *Innovation Diffusion Models of New Product Acceptance*. Cambridge: Ballinger. 318 pp.
13. Marshall G. 2019. "Innovation and competition: the role of the product market". *International Journal of Industrial Organization*, no. 65, pp. 221-247.  
DOI: 10.1016/j.ijindorg.2019.04.001
14. Norton J. A., Bass F. M. 1987. "A diffusion theory model of adoption and substitution for successive generations of high-technology products". *Management Science*. vol. 33, no. 9, pp. 1069-1086.
15. Peres R., Muller E., Mahajan V. 2010. "Innovation diffusion and new product growth models: a critical review and research directions". *International Journal of Research in Marketing*. vol. 27, no. 2, pp. 91-106. DOI: 10.1016/j.ijresmar.2009.12.012
16. Rogers E. M. 1961. *Diffusion of Innovations*. 1<sup>st</sup> edition. New York: Free Press of Glencoe.
17. Shi X., Fernandes K, Chumnumpan P. 2014. "Diffusion of multi-generational high-technology products". *Technovation*. vol. 34. pp. 162-176.
18. SONY. "Earnings Releases". <https://www.sony.net/SonyInfo/IR/library/presen/er/archive.html>
19. SONY. "PlayStation hardware and software sales decline in Q3 FY19". <https://sonyreconsidered.com/playstation-hardware-and-software-sales-decline-in-q3-fy19-92dc321a2803>
20. Srinivasan V., Mason C. 1989. "Non-linear least square estimation of new product diffusion models". *Marketing Science*, no. 5, pp. 169-178.
21. Stremersch S., Muller E., Peres. R. 2010. "Does new product growth accelerate across technology generations?" *Journal of Marketing*. vol. 21, no. 2, pp. 103-120.