

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт инженерной физики и радиоэлектроники  
Кафедра экспериментальной физики и инновационных технологий

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ В.А.Орлов  
подпись инициалы, фамилия  
«б» июля 2020 г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Моделирование процесса диффузии инноваций в сфере IT-технологий

27.04.05 – Инноватика

27.04.05.01 – Управление инновациями

Научный руководитель	_____	<u>доцент, канд. физ. – мат. наук</u>	<u>А. К. Москалев</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>С. В. Богоченко</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	<u>профессор, д-р техн. наук</u>	<u>В.А.Охорзин</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2020

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Моделирование процесса диффузии инноваций в сфере IT-технологий» содержит 74 страницы текстового документа, 39 иллюстраций, 9 таблиц и 45 использованных источников литературы.

ДИФфуЗИЯ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МОДЕЛЬ, ЛОГИСТИЧЕСКАЯ КРИВАЯ, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Объект исследования: процесс диффузии в сфере IT-технологий.

Цель работы: построить модель распространения технологии и провести исследования относительно применимости S-образных кривых для моделирования процесса диффузии.

В результате исследования проанализированы модели распространения технологий, построены и изучены классическая и агентная модели Ф.Басса.

Были составлены модели распространения технологий по данным продаж, определены коэффициенты скорости распространения каждой из них.

Составлена имитационная модель распространения продукта, учитывающая эффект «ухода с рынка».

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Анализ процесса диффузии технологических инноваций.....	6
1.1 Основные теоретические положения процесса распространения технологий	6
1.2 Обзор моделей диффузии инноваций .....	12
1.3 Особенности распространения технологических инноваций .....	19
2 Математический аппарат процесса диффузии.....	26
2.1 Экономический подход.....	26
2.2 Модель Ф.Басса .....	33
2.3 Кривая Перла и её использование при моделировании динамических процессов.....	45
3 Моделирование процесса распространения технологий .....	56
3.1 Моделирование S-образной кривой с использованием экспериментальных данных продаж конкретного продукта .....	56
3.2 Моделирование процесса распространения продукта с помощью программного средства AnyLogic .....	63
Заключение.....	69
Список использованных источников .....	71

## ВВЕДЕНИЕ

Согласно Стратегии научно-технологического развития РФ – 2035 [1] и еще ряду документов [2,3], определяющих планы и формирующих цели на долгосрочное развитие страны, перед экономикой и инновационным потенциалом РФ поставлен ряд задач, направленных на стимулирование инновационного потенциала предприятий и научно-технической отрасли, а также на создание условий благоприятных для совершенствования политики государства в отношении инноваций и инновационных разработок.

Формирование задела для перехода экономики в цифровое пространство служит причиной возникновения вызовов перед теорией инновационных процессов, в том числе и перед процессами распространения инноваций, поскольку уже сегодня заметно сокращение времени, требуемого для разработки продукта, что означает более интенсивное освоение технологий. В свою очередь увеличение скорости освоения технологий может служить причиной возникновения «технической безработицы», влекущей за собой потерю рабочих мест и частичное замещение человека машиной.

Процесс распространения технологии и, соответственно, освоения ее хозяйствующим субъектом называется диффузией и имеет преимущественно социальный аспект, поскольку опирается на решения каждого отдельного индивида относительно вопроса покупки или отказа от продукта.

Одним из вариантов, с помощью которого становится возможным проанализировать процесс распространения, является процедура моделирования диффузии, как с помощью программных продуктов, так и опираясь на возможности, которые предоставляют для этого логистические кривые.

Для того чтобы построить модель распространения технологии, в данной работе были рассмотрены известные модели других ученых, таких как Э.Роджерс и Т.Хегерstrand, Ф. Басс.

В связи с этим предметом исследования является сам процесс диффузии, а объектом выступает процесс диффузии в сфере информационных технологий.

Цель диссертационной работы – построить модель распространения технологии и провести исследования относительно применимости S-образных кривых для моделирования процесса диффузии.

Для того чтобы достигнуть поставленной цели, необходимо выполнить ряд следующих задач:

а) рассмотреть существующие модели, используемые для моделирования процесса распространения;

б) проанализировать применимость логистической S-образной кривой для моделирования распространения;

в) построить модели, описывающие динамику распространения продукта, в основу которых заложить статистические данные по продажам;

г) построить несимметричную модель, описывающую процесс распространения продукта.

# **1 Анализ процесса диффузии технологических инноваций**

## **1.1 Основные теоретические положения процесса распространения технологий**

Переход к инновационному развитию является основной целью государственной политики в области науки и технологий [4]. Особое внимание уделяется формированию экономики, базирующейся на знаниях, а также развитию инновационной деятельности для производственной инфраструктуры, поскольку применение в процессе производства новых технологических решений обеспечивает компаниям устойчивую конкурентоспособную позицию.

Использование технологических инноваций является драйвером повышения производительности труда и экономического роста не только отдельных предприятий, но и всей экономики в целом [5], поэтому особенно важным является то, с какой скоростью происходит распространение технологий и как они «приживаются».

Процесс распространения технологий иначе называется диффузией, по аналогии с физическим процессом, в ходе которого происходит проникновение молекул или атомов одного вещества между молекулами или атомами другого [6,7]. В случае с распространением продукта под диффузией принято понимать процесс, посредством которого нововведение передается по коммуникационным каналам между членами социальной системы во времени [8]. В качестве нововведений обычно выступают идеи, предметы, технологии, которые считаются новыми для определенного хозяйствующего субъекта. Иначе говоря, под процессом диффузии понимается распространение инновации в новых местах применения или при новых условиях.

Впервые понятие «диффузия инноваций» было предложено французским социологом Габриэлем Тардом в конце 19-го века [9], однако первые прикладные исследования применительно к миграции населения были проведены под руководством шведского географа Т. Хегерстранда. Им была проведена работа по

определению типов процессов диффузии инноваций, описана волновая природа, а также положено начало разработки методик имитационного моделирования, проведены исследования диффузии относительно процесса переселения людей [10].

Т.Хегерстрандом успешно применялись методы математического моделирования для решения задач диффузии инноваций. Такой подход позволил получить достоверные и обоснованные результаты. Более того, Хегерстрандом было замечено, что, если описать процесс распространения с позиции волнового явления, то такой метод позволит охарактеризовать динамику распространения и факторы, которые влияют на диффузию [11].

Результатом исследований Хегерстранда стал вывод, что основной фактор, оказывающий решающее влияние на скорость распространения и вероятность принятия инноваций, является расстояние между источником инновации и её приемником. Работа Т.Хегерстранда «Пространственная диффузия как процесс внедрения нововведений» содержит в себе исследования закономерностей, возникающих в процессе распространения информации через определенную местность, кроме того, в ней описаны закономерности, согласно которым описывается обмен информацией через систему районов [12].

Согласно выводам Т. Хегерстранда, основная особенность процесса распространения инноваций сосредоточена в том, что, возникая в определенной точке пространства, нововведение стремится к максимальному его заполнению. Такое поведение, согласно работе [13], соответствует закону максимальной пространственной экспансии. Следует заметить, что Т. Хегерстрандом выделяются следующие виды диффузии нововведений:

а) диффузия замещения - такой вид распространения, при котором старые элементы замещаются новыми;

б) диффузия совмещения, когда старые элементы сосуществуют с новыми.

Описать диффузию замещения можно как ситуацию, в которой существует источник инноваций, производящий количество нововведений, достаточное для полного заполнения пространства. Особенностью этого типа является то, что,

однажды возникнув в определенной точке, инновация вытесняет старые продукты, равномерно распространяясь по всем направлениям.

Для диффузии совмещения характерна ситуация отсутствия источника инноваций или же наличия сильного сопротивления среды, в которую происходит внедрение продукта. В таком случае, инновация сосуществует с уже реализованными продуктами без их замещения [10].

Популяризатором явления диффузии стал американский социолог Эверетт Роджерс [14], который предложил новый взгляд на концепцию информационного потока. Проведя анализ данных, полученных в ходе эмпирических исследований, Э. Роджерс сделал следующий вывод: процесс принятия людьми новых продуктов и/или идей включает 6 стадий: внимание, интерес, оценка, проверка, принятие, подтверждение [15].

Несомненно, принятие инновации – большой социальный процесс. Такой вывод установлен исследователями работ [16,17]. В большинстве случаев, когда человеку приходится принимать решение по поводу покупки, наблюдается двухступенчатый поток информации, который можно охарактеризовать следующим образом: человек, не обладающий информацией о качестве продукта, обращается к тем людям, чье мнение для него наиболее авторитетно и уже на основе этого принимается решение о покупке товара.

Благодаря работе СМИ, информация о новшестве попадает в массы. На рисунке 1 отображена сегментация потребителей инновации.

Согласно обнаружению Э. Роджерса определено, что значительная часть графиков принятия инноваций членами общества напоминает стандартную колоколообразную кривую, разделенную на части, как показано на рисунке 1 [18]. Роджерс разделил колоколообразную кривую на сегменты, дал название каждому из них, и примерно оценил:

а) новаторы – индивиды, легко воспринимающие и ищущие все новое, способные идти на риск. Представители этой категории являются двигателями процесса диффузии, поскольку именно с них начинается процесс передачи информации по коммуникативным каналам;



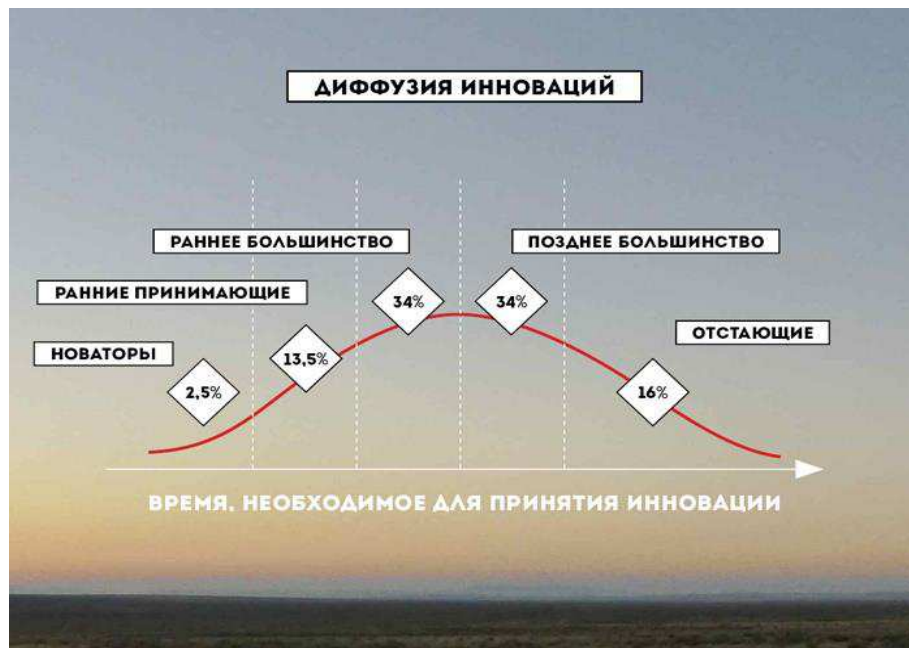


Рисунок 1 – Сегменты диффузии инноваций

б) ранние последователи – начинают использовать технологию с момента, когда осознают, что некоторая часть известных компаний уже ввела данную технологию;

в) раннее большинство-консервативная прослойка общества. Воспринимают инновацию тогда, когда наиболее осведомленные социально-экономические системы получают выгоду от внедренного решения. Раннее большинство играет важную роль в процессе распространения продукта, поскольку служит индикатором важности и необходимости применения инновации. Принято считать, что инновация признана обществом, если ее принимают от 6 до 16% населения [19];

г) позднее большинство – когда новшество было воспринято поздним большинством, значит все инновационные свойства продукта уже перестали быть таковыми и товар стал продуктом массового потребления. В момент принятия инновации поздним большинством инноваторы уже осваивают новую технологию;

д) отстающие – наиболее консервативная часть населения, продолжающая использовать те продукты, эффект от использования которых хорошо знаком. Как правило представители данной категории редко пользуются новинками.

Роджерс предполагал, исходя из материала своих наблюдений, что необходимо поручать внедрение инноваций тем, кто непосредственно будет

воздействовать на лидеров мнений, поскольку лишь они и первые пользователи инновации попадают под максимальное медиавлияние.

Таким образом, теория Роджерса стала важным шагом вперед по изучению процесса диффузии в социальной среде. Эверетт Роджерс синтезировал имевшиеся эмпирические обобщения в большую и глубокую теорию, которая получилась очень практичной. Разработанная Э. Роджерсом теория легла в основу различных методик маркетинга и рекламы, связанных с внедрением нового продукта или идеи в массовое сознание [17].

Следует заметить, что распространение инноваций в социально-экономической среде - неравновесный процесс, стремящийся к установлению равновесия спроса и предложения, поэтому под состоянием процесса распространения инновационного продукта понимается состояние функции продаж, которое может быть при этом описано характерными точками [15]. Каждый инновационный продукт имеет свою уникальную кривую динамики продаж [20], в процессе вывода на рынок, однако, с целью упрощения описываемых далее понятий, примем за кривую продаж несимметричную колоколообразную кривую, представленную на рисунке 2.

На рисунке 2 отображено условное разделение кривой продаж на три периода, характеризующие поведение процесса распространения:

- а) участок АН – в этот период происходит старт продаж и завоевание рынка;
- б) участок НЕ можно охарактеризовать как стабилизацию – наблюдается замедление роста продаж;
- в) участок ЕФ – заключительный период, характеризующийся снижением объема продаж и уходом продукта с рынка.

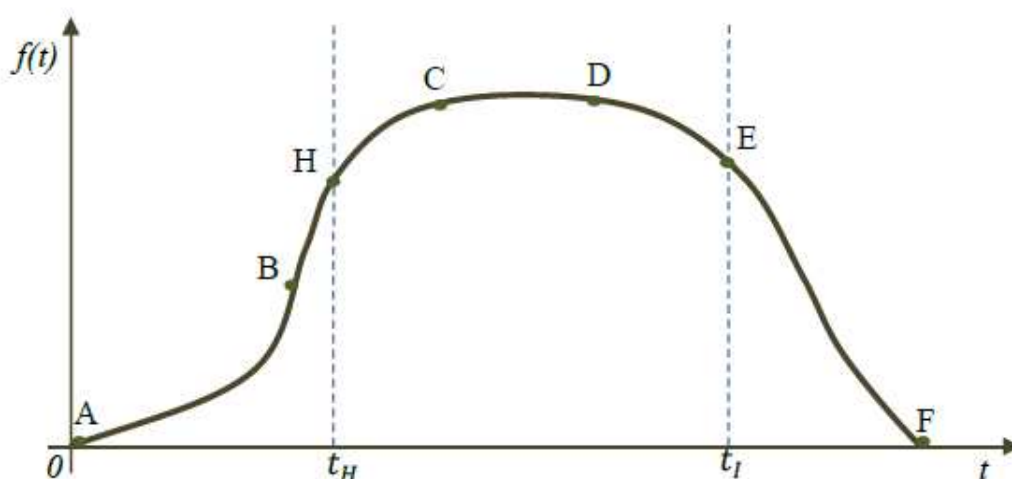


Рисунок 2 – Кривая продаж [15]

Согласно работе Н.А. Цветковой, при подробном рассмотрении процесса распространения одного инновационного продукта можно выделить 6 следующих состояний:

а) состояние АВ – довольно низкая скорость продаж, вследствие того, что инновация только вышла на рынок. Постепенно скорость продаж продукта вырастает до точки В;

б) состояние ВН – спрос растет медленнее до точки Н, после которой начинает уменьшаться среднее значение продаж

в) состояние НС – спрос замедляется с большей скоростью, пока скорость изменения продаж не будет равной нулю;

г) состояние CD – скорость продаж на этом участке постоянна, соответственно, спрос не изменяется;

д) состояние DE – после точки D спрос на инновационный продукт начинает медленно снижаться:

е) состояние EF – спрос на инновационный продукт уменьшается с большей скоростью, в точке F продажи прекращаются.

Следует обратить внимание, что функция объема продаж инноваций может быть представлена в кумулятивном виде с помощью логистической функции, как показано на рисунке 3. В данном случае E – предельный объем продаж, t-время, а  $\tau$  обозначает время, прошедшее с момента появления продукта на рынке.

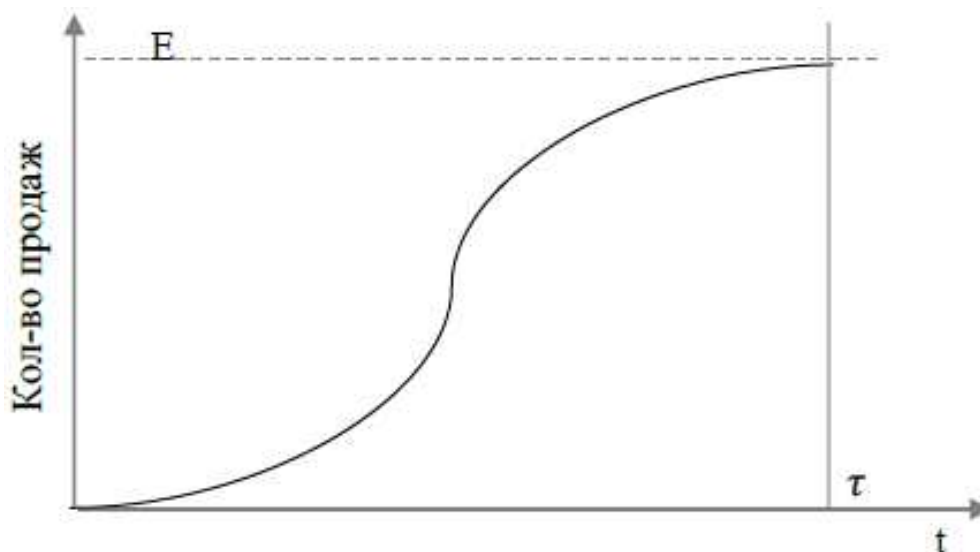


Рисунок 3 – Кумулятивная кривая продаж [15]

На основе логистических кривых построено множество моделей, отражающих процесс распространения продукта. Наиболее популярной из них считается модель Ф. Басса, которая описывается уравнением, в котором отражается зависимость роста количества последователей инновации от двух параметров: рекламы и эффекта межличностных коммуникаций.

Однако необходимо заметить, что модель Басса не является единственной и существуют другие модели диффузии инноваций. Характеристика таких моделей, не затрагивая математический аппарат, изложена ниже.

## 1.2 Обзор моделей диффузии инноваций

Еще в 1960-ых годах наметилась тенденция к моделированию и прогнозированию процесса распространения технологий. Во многом этому способствовали революционные работы за авторством таких ученых как Л. Форт и Дж. Вудлок, Э. Мэнсфилд, А. Флloyd, Э. Роджерс, Т. Хегерstrand и Ф. Басс [21].

Классы моделей распространения инноваций расширились и совершенствовались с течением времени. Причиной этому служит рост требований

к адекватности результатов, полученных в ходе исследований и разработок, с использованием таких моделей. Помимо этого, в процессе развития и усложнения задач, решаемых с помощью моделирования, появились новые характеристики и особенности, которые не учитывались существующими моделями, что требовало их совершенствования и доработки.

Ниже, на рисунке 4 изображена временная шкала появления моделей диффузии инноваций:

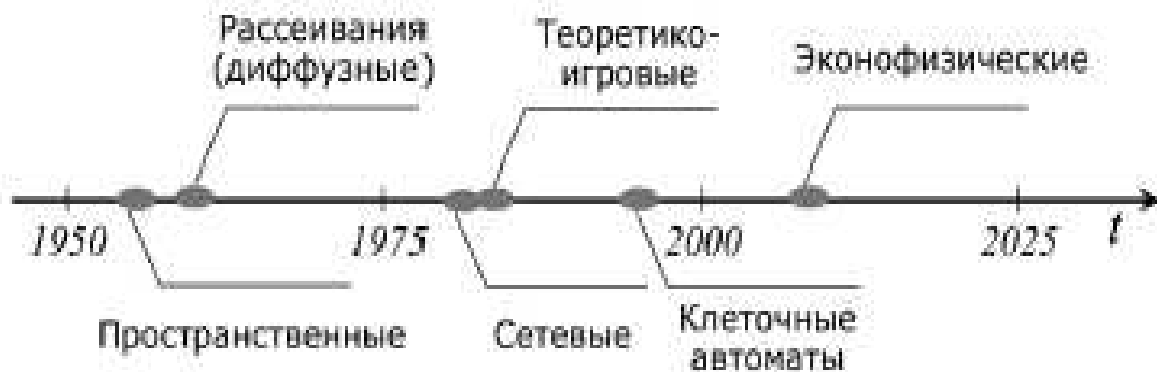


Рисунок 4 – Классы моделей распространение инноваций [16]

Наиболее ранние модели распространения, возникшие в 1950-х годах, получили название пространственных. Основоположником пространственных моделей стал географ Т. Хегерstrand, о котором в данной работе уже упоминалось выше. Напомним, что заслуга ученого состоит в описании процесса распространения продуктов с позиции волнового представления, что открывает некоторые возможности для прогноза [15]. Имитационная модель Хегерstrand носит название пространственной по той причине, что описывает структуру контакта, в котором ограничениями выступают географические барьеры и расстояние между последователями.

Следует заметить, что в пространственных моделях наибольшее ограничение вызвано именно доминирующим положением личного контакта, что ставит под сомнение распространение инноваций на большие расстояния. К примеру, при существовании горного хребта или ущелья, которые нельзя было бы преодолеть без помощи специализированной техники, уже ставит под сомнение факт передачи

инновации, поскольку коммуникация между потенциальным пользователем и тем, кто уже активно использует инновацию – минимально возможна.

С другой стороны, такая теория позволяет объяснить технологическую отсталость периферии от центра. Отделенная от центра сосредоточения всех технологических разработок, периферия теряет большое количество времени, прежде чем станет активным пользователем новшества.

Достаточно широко для описания процесса распространения продукта используются диффузные модели или модели рассеивания. Такие модели берут начало с 1962 года, когда социолог Э. Роджерс предложил модель описания процесса проникновения инновации на рынок, после чего Ф. Басс математически обосновал модель Роджерса [22] и, адаптировав уравнение Ферхюльста, применил его для прогнозирования динамики потребления новых товаров [15]. Таким образом, модель Басса является одним из примеров моделей рассеивания. Обобщая заметим, что диффузные модели показывают отношения между уровнем распространения и числом потенциальных последователей, исходя из природы инноваций, существующих каналов коммуникаций и особенностей экономической обстановки, в которой происходит обмен, но не учитывают другие инновации, присутствующие на рынке [15].

Следующий рассматриваемый класс моделей – сетевые модели. Такое название было дано этому классу из-за того, что распространение продукта начинается с одного или нескольких начальных наборов вершин (которые соответствуют ранним последователям), а продолжается «по ребрам» с заданной вероятностью. Распространение заканчивается в момент, когда все вершины в сети получают необходимую информацию, либо же в случае, когда вершин-последователей больше не остается.

Ниже, на рисунке 5 представлен простейший вариант сетевой модели:

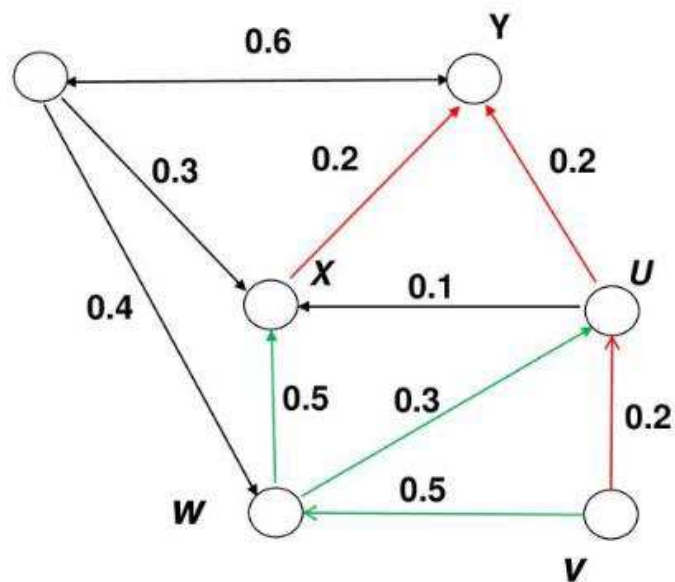


Рисунок 5 – Пример сетевой модели распространения инноваций [23]

К сетевым моделям относят следующие:

- модели с пороговыми значениями (Linear Threshold Model) [24–26], основанные на использовании пороговых значений для вершин графа, переход возможен только из неактивного состояния вершины в активное [15];
- модели независимых каскадов (Independent Cascade Model) [27, 28], когда соседние вершины могут быть с определенной вероятностью активированы [15];
- модель просачивания и заражения (SIR, Susceptible – Infected – Recovered).

Теоретико-игровые модели распространения инноваций основаны на предположении, суть которого в том, что при принятии нового поведения человек делает рациональный выбор в пользу получения максимальных выгод. Основная черта распространения инноваций в таких моделях заключается в том, что присутствует стимул к соответствию. То есть, человек перенимает определенный тип поведения в том случае, когда его соседи по социальной сети приняли его. В этом случае социальная сеть представляется графом, в котором каждый узел-это агент, который делает выбор между двумя вариантами, и вероятность принятия определенного варианта тем выше, чем больше соседей приняло этот вариант.

Принято считать, что работа Дж. Реинганум [16] является одной из первых работ, заложивших основы теоретико-игровых моделей для имитации поведения на рынке инноваций с высокой конкуренцией.

Кроме всего, исследование процесса распространения технологий с использованием методов имитационного моделирования производится на базе агентного моделирования с применением клеточных автоматов. Клеточные автоматы могут быть определены как модели, которые имитируют глобальные последствия на основании локальных правил поведения [29]. Первые публикации, ориентированные на описание моделей клеточного автомата, опубликованы в 1940-х годах за авторством С. Улама и Дж. Фон Неймана, которые описывают особенности поведения сложных систем [30].

Клеточный автомат состоит из конечной совокупности клеток, которые соединены между собой и образуют равномерную решетку. С помощью параметра задается состояние каждой клетки в момент времени, а совокупность состояний всех клеток, содержащихся в решетке, определяет состояние всей решетки в целом. Стоит учесть, что состояние решетки может меняться в соответствии с установленными правилами.

Модели на основе клеточных автоматов позволяют задать отдельные правила поведения для потенциальных последователей, тем самым дают возможность учесть эффект влияния особенностей индивидуального кандидата на процесс распространения.

Последним и наиболее молодым классом моделей распространения инноваций считается эконофизический подход, который интенсивно используется в работах в последние 10-15 лет. Модели, составленные на основе эконофизического подхода, описывают процесс распространения инноваций по аналогии с процессами, характерными для физических сред.

Для эконофизического моделирования характерна аналогия процесса распространения продукта по аналогии с моделью Изинга, которая применяется для описания намагничивания материала [31]. Также по аналогии с броуновским движением применяется агентное моделирование движения агентов, принимающих инновацию [32].

Кратко каждый из классов моделей представлен в таблице 1, расположенной ниже:



Таблица 1 – Модели процесса распространения инноваций

Название модели	Мат. аппарат	Пространство параметров	Метрики: доступность/стоимость	Характер: описательный / алгоритмический	Область (цель) использования	Начало становления и основные разработчики
Пространственная	Теория вероятности, методы Монте-Карло/ Биология (эпидемиологическая)	Инновационный процесс - косвенные параметры. Внешняя среда – прямые	Низкая / высокая	Да/нет	Наблюдение	1950-е гг. Т. Хегерstrand; В. М. Аврамчиков, А. Н. Антамошкин; Л. Бауден, Б. Йохансен, А. Клифф, Р. Моррилл, Т. Смит, Д. Стрэнг, Р. Уилл, Й. Хейнинг, Е. Шеппард
Рассеивания (диффузная)	Уравнение Ферхюльста и его модификации: нелинейное обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка/ биология (эпидемиологическая)	Инновационный процесс – косвенные параметры. Внешняя среда – прямые	Низкая / высокая	Да/нет	Наблюдение	1950-е гг. Э. Роджерс и Ф. Басс; Як. Голденберг, Ш. Калиш, В. Махаджан, Е. Мюллер, Р. Перес; П. Котлер, Г. Лилиен; Н. Мид; В. М. Московкин; Дж. Мур; С.Г. Постников и др.
Теоретико-игровая	Теория игр, цепи Маркова, методы Монте-Карло/ игровая стратегия	Инновационный процесс – косвенные параметры. Внешняя среда – прямые	Средняя/средняя	Да/Да	Наблюдение	1980-е гг. Л. Блум, А. Монтанари, А. Сабери, Р. Селтен, А. Фазели, Дж. Харсаный, Г. Эллисон, А. Ядбабайе

Окончание таблицы 1

Название модели	Мат. аппарат	Пространство параметров	Метрики: доступность/стоимость	Характер: описательный/алгоритмический	Область (цель) использования	Начало становления и основные разработчики
Клеточные автоматы	Имитационная модель на базе агентного подхода, клеточный автомат/биология(эпидемиологическая)	Инновационный процесс – косвенные параметры. Внешняя среда – прямые	Средняя/средняя	Да/Да	Наблюдение	1990-е гг. Т. Гарбер, Як. Голденберг, М. Гудолин, Б. Либай, О.Н. Лободина, С. Г. Ломакин, С. Молдован, Р.М. Нижегородцев, А. М. Федотов, Ю. Д. Шмидт
Эконофизическая	На базе естественно-научных законах: молекулярной диффузии, Изинга и др./естественно-научная квантовая физика)	Инновационный процесс – прямые параметры. Внешняя среда – прямые	Высокая/низкая	Да/Да	Управление	2010-е гг. Ж. Мехиа, Р. Бритто, О. Бьютраго; К. Ласиана; Л. Девод; Ю. Стенли; В. Харитонов; П. Н. Дробот; И. Л. Туккель, Н. А. Цветкова

Представленная выше таблица 1 содержит в себе шесть моделей моделирования процесса распространения инноваций. Авторы такого формирования: И.Л.Туккель и Н.А. Цветкова использовали для классификации следующие признаки:

- а) математический аппарат, используемый в основе работы модели;
- б) метрики основных параметров (прямые или косвенные), доступность их измерения;
- в) для хронологического отражения развития моделей приведена информация об ученых и наиболее важных датах;

г) структурирование моделей по целям использования: наблюдение или управление

Стоит заметить, что эконофизический подход имеет важное отличие, заключающееся в том, что использование этого метода позволяет ставить перед исследователем проблему управления инновациями, в отличие от первых пяти классов, рассматривающих процесс распространения продукта на основании некоторых поведенческих моделей покупателей.

### **1.3 Особенности распространения технологических инноваций**

В марте 2017 г. эксперты Банка Англии призвали компании более серьезно отнестись к темпам технологического прогресса и перестать недооценивать его риски и возможности [33]. Далее приведена цитата, отражающая обеспокоенность специалистов ростом скорости распространения технологий: «В глобальном технологическом сообществе растут тревоги, вызванные слабой готовностью развитых экономик к следующей промышленной революции. Ее наступление может значить замещение миллионов преимущественно менее квалифицированных специальностей, крах многих существующих долгое время, но медленно адаптирующихся компаний, существенное увеличение разницы в доходах общества и растущую промышленную концентрацию, связанную с резким ростом относительно небольшого количества мультинациональных технологических корпораций...»[33].

Экономисты, производя анализ событий предыдущих индустриальных революций, отмечают, что не все риски из вышеперечисленных осуществляются, но тем не менее принимают во внимание тот факт, что нельзя недооценивать существующую природу технологических достижений и возросшую скорость их распространения. Дело в том, что повсеместное внедрение технологий носит характер значительных профессиональных и индустриальных изменений, в сегодняшней действительности сотруднику необходимо все время учиться, чтобы соответствовать изменениям, происходящим в среде.

Под скоростью диффузии технологий здесь понимается время, за которое технологии начинают активно использоваться большинством потребителей [33]. Возвращаясь к модели Роджерса, описанной выше, технологией должны начать пользоваться представители раннего позднего большинства.

Ниже, на рисунке 6, отображено изменение скорости распространения технологий за последние 110 лет для потребительских технологий:

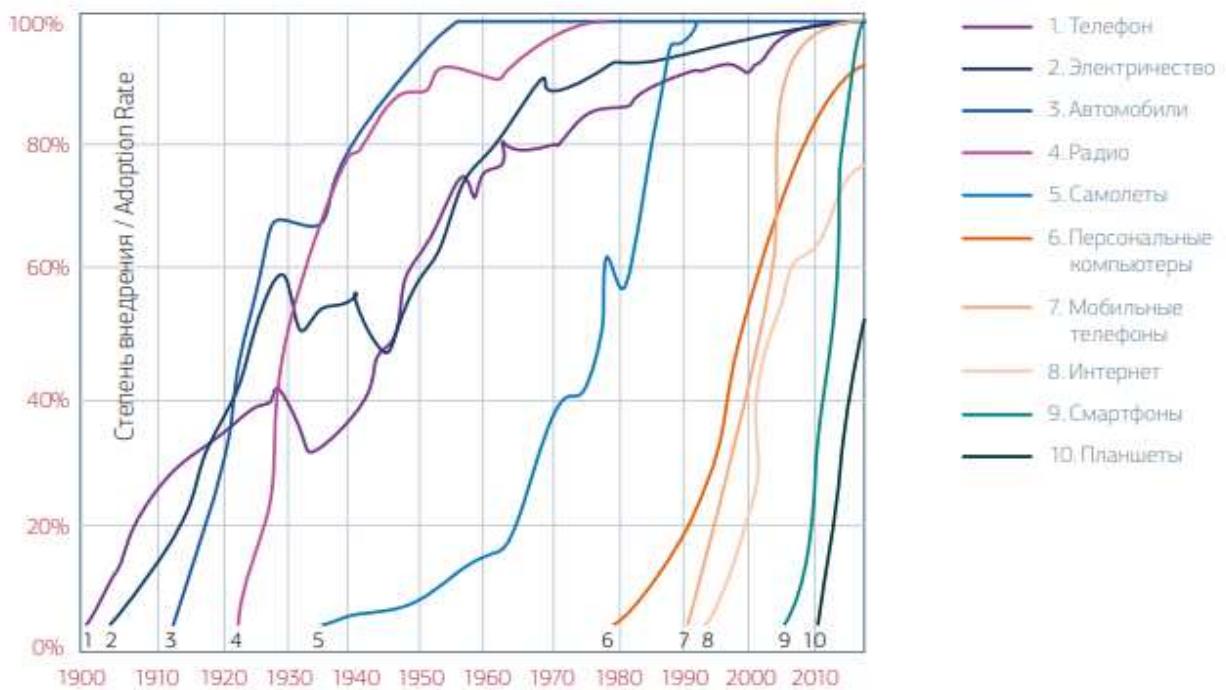


Рисунок 6 – Скорость распространения потребительских технологий за последние 110 лет [33]

Основной технологией, которая увеличивает угол наклона кривых является интернет, поскольку с его помощью потребители намного быстрее узнают об уникальных характеристиках продуктов, соответственно скорость покупки тоже возрастает.



Рисунок 7 – Падение цены на технологии [33]

Выше, на рисунке 7 изображена скорость падения стоимости технологий. Примечательно, что на сегодняшний день стоимость мобильного телефона упала в 50 раз, по сравнению с устройством с аналогичным техническим оснащением конца 1990-ых годов. Этот факт существенно влияет на скорость интеграции технологии в жизнь потребителя.

Наиболее активное влияние на процесс распространения оказывают инновации в сфере производственных технологий, поскольку именно те компании, кто активно применяет инновации в процессе производства создают конкурентоспособную прослойку. Рисунок 8, представленный ниже, отражает скорость распространения производственных технологий за ряд лет с 1940-2010гг:

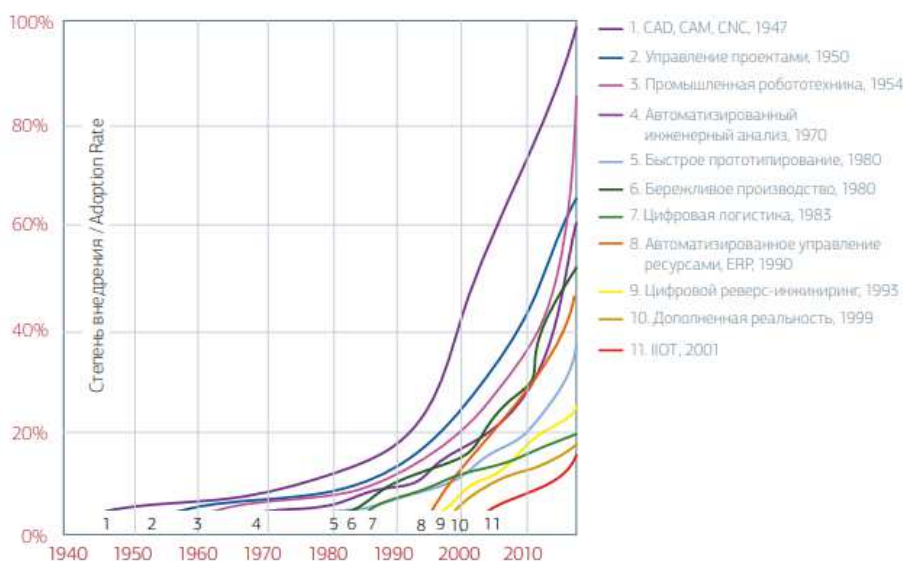


Рисунок 8 – Скорость распространения производственных технологий за последние 70 лет [33]

Помимо стоимости продукта необходимо рассмотреть и другие факторы, влияющие на процесс диффузии технологий.

Как правило, на решение об использовании технологии влияют факторы, обуславливающие существенное различие в прибыли для фирм, которые приняли технологию. Сулимые денежные выгоды от использования технологии являются в большинстве случаев основополагающим фактором. Кроме вышеуказанного фактора в части исследований [24] часто встречаются и другие, к числу которых относятся:

- а) размер компании;
- б) уровень конкуренции в отрасли;
- в) темп роста компании;
- г) межфирменное партнерство и сотрудничество;
- д) стоимость использования технологии;
- е) человеческий капитал.

Говоря о размере компании, следует заметить, что существует положительная связь между размером компании и принятием технологии. Более крупные компании, занимающие передовые положения в отрасли, раньше становятся обладателями инновации, что легко объясняется доступностью к объемам капитала.

Обращать внимание на фактор конкуренции имеет смысл лишь как на стимул к принятию новой технологии, поскольку с ростом уровня конкуренции все больше возникает необходимость в освоении новых технологий, которые бы позволили оставаться конкурентоспособным.

Принятие новой технологии наиболее применимо для компаний, находящихся на стадии роста, поскольку для них характерно увеличение производственных мощностей.

В случае, когда компания является частью группы компаний или имеет долгосрочные партнерские отношения с крупными представителями отрасли, тогда это влечет за собой бóльшую вероятность принятия ими новой технологии, поскольку в таком случае имеется доступ к капиталу. Более того, вероятность

внедрения инновации существенно подрастет, если партнер уже использует эту технологию.

Уровень обучаемости сотрудников и наличие высшего образования или опыта работы с технологией, внедряемой в производство, также существенно повышает вероятность ее внедрения.

Итак, подводя итог вышеописанным критериям, можно сделать следующие выводы, относительно факторов, влияющих на распространение технологии:

а) на скорость распространения технологии положительно влияют размер компании, рост производства и уровень конкуренции, уровень квалификации сотрудников и принадлежность компании к сети крупных игроков отрасли;

б) отрицательное влияние на скорость диффузии оказывает цена товара и слабая инфраструктура.

Говоря об эффектах, возникающих в процессе интеграции информационных технологий в глобальное экономическое пространство, необходимо выделить ключевые из них [34]:

а) рост роли технологической компоненты в создании стоимости промышленного продукта;

б) автоматизация производственных процессов с помощью инноваций, основанных на сочетании технологий искусственного интеллекта, интернета вещей и анализа больших данных;

в) рост взаимодействия хозяйствующих субъектов за счет массового использования информационно-коммуникационных технологий;

г) ускорения темпов развития и внедрения информационных технологий в производственные процессы.

Среди особенностей внедрения технологических инноваций следует отметить важную роль государства, которая выражается во всевозможных мерах поддержки инновационной составляющей экономики. В том числе это касается инициатив, направленных на повышение уровня технологической оснащенности производства. Это напрямую сказывается на скорости принятия технологических новинок.

Одним из таких направлений государственной политики является национальный проект, реализуемый на территории РФ «Цифровая экономика РФ», который предполагает:

- а) проведение ряда трансформационных мероприятий, направленных на диджитализацию процессов, осуществляемых в экономической среде;
- б) развитие использование и повсеместное внедрение инновационных технологий в различные сектора экономики;
- в) создание систем управления, направленных на взаимодействие с отраслями hi-tech.

Создание цифровых платформ обеспечивает максимально облегченный доступ бизнеса к различным сервисам или другим компаниям, которые, например, ведут свою деятельность в финансовой или налоговой сфере. Помимо этого, в рамках проекта предполагается стимулировать внедрение инноваций и в такие сферы экономики, как сельское хозяйство, торговля, энергетика и другие.

Переход к цифровой экономике открывает доступ к совершенствованию технологий в ряде следующих областей:

- а) механизмы работы с данными, к которым следует отнести туманные вычисления, искусственный интеллект, вычисления на основе квантового компьютера;
- б) производство, к нему относят аддитивные технологии, 3D печать;
- в) взаимодействие «технология-окружающая среда», к которым относят биометрические технологии или технологии беспилотного управления транспортными средствами;
- г) сфера связи и телекоммуникаций, в числе которых интернет вещей, технологии высокоскоростной передачи данные с использованием сетей связи 5G.

Говоря о процессах цифровизации, необходимо сделать акцент на совершенствовании систем безопасности и алгоритмов шифрования данных, поскольку именно эта сторона является наиболее уязвимой. Обеспечить наилучший уровень защиты представляется возможным с помощью проведения таких мероприятий, как:



- а) проведение научных исследований в области защиты данных;
- б) создание выгодных условий для ведения предпринимательской деятельности в области разработки программного обеспечения, предназначенного для защиты информации;
- в) активное взаимодействие частного и государственного секторов, направленное на совершенствование технологий, обеспечивающих защиту и конфиденциальность передаваемой информации;
- г) интенсивный обмен знаниями между представителями отрасли компьютерной безопасности.

## 2 Математический аппарат процесса диффузии

### 2.1 Эконофизический подход

Как отмечалось выше, одним из подходов, применяемых для описания процесса распространения технологий является эконофизический подход. Напомним, что модели, составленные на основе эконофизического подхода, описывают процесс распространения инноваций по аналогии с процессами, характерными для физических сред, таких как диффузия или броуновское движение.

Характерные примеры переноса физических свойств в экономическую плоскость отображены в таблице 2:

Таблица 2 – Сравнение двух типов сред [15]

Физическая среда	Социально – экономическая среда
Однородная система с большим количеством частиц.	Среда, содержащая в себе конечное число потенциальных обладателей технологии
Неравновесная среда: наличие градиентов некоторых параметров, изменяющихся во времени и пространстве.	Неравновесная среда, состоящая из спроса – количество инноваций, которые потенциальный покупатель желает приобрести, и предложения – количество инноваций, которые были выпущены на рынок.
Изотропная среда: физические свойства, не зависящие от направления.	Изотропная среда: существует параметр, описывающий состояние рынка. Параметр единый для рассматриваемого рынка, что и обеспечивает изотропность.
С точки зрения волнового подхода: взаимодействие вещества происходит в том числе через среду	Волновой характер проявляется через конкурентную борьбу за ресурсы (вещественные – на фазе разработки, объем рынка – на фазе коммерциализации).

Истоки эконофизики восходят к середине 1990-х годов, когда этот термин впервые был употреблен американскими исследователями Р.Н. Мантенья и Г.Ю. Стенли. Как считали авторы, «данный неологизм призван обрисовать область деятельности физиков, которые работают над экономическими проблемами, проверяя концептуальные подходы, заимствованные из физических наук»[35]

К основным инструментам подхода следует отнести вероятностные и статистические методы, зачастую заимствованные из теоретической физики.

В основе моделирования эконофизического подхода легла модель роста населения, опубликованная Т.Мальтусом, суть которой заключена в описании динамики численности населения Земли. Модель описывает проблему, когда рост численности населения происходит в геометрической прогрессии, в то время, как продовольственные товары растут в арифметической прогрессии, что означает наступления голодания населения. Более того, модель Мальтуса содержала в себе упущение, согласно которому рост численности населения мог происходить бесконечно, однако ошибка была устранена П.Ферхульстом [36], который адаптировал модель таким образом, что после резкого экспоненциального роста наблюдалась стабилизация численности населения. Модель П. Ферхульста получила название логистической и описывалась S-образной кривой.

Известно, что эконофизический подход активно применяется в области финансовой деятельности. Так, одним из важных результатов стало обоснование применения вероятностного распределения Леви к описанию динамики финансовых рядов [37,38]. Особенность такого распределения заключается в том, что события, которые значительно отклоняются от среднего, происходят с чаще, по сравнению с нормальным распределением.

Второй базовой моделью является модель борьбы условной информации, которая сводится к уравнению логистического роста (1), представленного ниже:

$$\frac{du_i}{dt} = \frac{1}{\tau_i} u_i - \sum_{j \neq 0}^n b_{i,j} u_i u_j - a_i u_i^2 + D_i \Delta u_i, \quad (1)$$

где  $u_i$  – число носителей  $i$ -ой информации;

$u_j$  – число носителей  $j$ -ой информации;

$\tau_i, b_{i,j}, a_i$  – параметры модели;

$D_i, \Delta u_i$  – пространственное распространение носителей информации.

В уравнении, представленном выше, первый член, находящийся в правой части, описывает воспроизведение  $i$ -ой информации, второй характеризует взаимодействие носителей, обладающих информацией разного вида, третий описывает внешние ограничения, а четвертый – миграцию носителей информации в пространстве [39].

Следует сделать акцент на том, что в процессе анализа распространения технологий активно применяются методы с применением логистических функций.

Возвращаясь к традиционным моделям, описывающим процесс диффузии инноваций, следует отметить классическую теорию нововведений Т. Хегерстранда, которая характеризуется волновым распространением нововведений.

В рамках эконофизического подхода волновой процесс диффузии инноваций описывается с помощью физического явления интерференции, смысл которого заключен в том, что при определенных условиях при сложении двух или нескольких волн, суммарная интенсивность отличается от суммы интенсивностей каждой волны и характеризуется следующим уравнением (2):

$$I = I_1 + I_2 + 2 * (I_1 I_2)^{\frac{1}{2}} * \cos(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (2)$$

Если рассматривать диффузию продуктов как волновой процесс, то в качестве источника сигнала в таком случае выступают как отдельные инноваторы, так и различные организации, а интенсивность такого волнового процесса есть величина, пропорциональная интенсивности источников волн и коэффициенту фазового согласования волн разных источников в конкретной точке пространства. Исходящие из разных источников, волны инноваций колеблются относительно друг друга в соответствии с имеющимися фазовыми сдвигами. При этом взаимодействию параметры результирующей волны находятся в зависимости от параметров взаимодействующих волн, а величина амплитуды результирующей волны зависит от фазового согласования взаимодействующих волн разных инноваций [21].

Упростить вышесказанное можно так: интенсивность полученной результирующей волны можно интерпретировать как эффективность, с которой происходит внедрение или продажа технологии.

Исследования, проведенные автором работы [21] показали, что волны диффузии двух инноваций и более – неизбежно будут дополнять друг друга и взаимодействовать. Такой же вывод получен автором работы [15]. Однако авторами отмечается, что волны, исходящие из разных центров инновационного развития, обладают разной частотой.

В приведенной выше формуле (2) третье слагаемое отвечает за степень согласованности взаимовлияния, то есть, когда это слагаемое равно нулю, картины интерференции не возникает, поскольку волны не связаны. Рассматривая с этой позиции процесс распространения инноваций, можно сделать вывод, что третье слагаемое формулы (2) отвечает за степень воздействия одной инновации на другую. В случае, когда инновации имеют различный рынок сбыта, имеет место отсутствие взаимного влияния [16].

Заметим, что рассматривать диффузию инноваций только как волновой процесс некорректно в виду того, что в рамках экономическо-физического подхода распространение инноваций трактуется как корпускулярно-волновое явление, таким образом проявляя себя либо как волна, либо как частица, в зависимости от внешних условий [15].

Исходя из вышесказанного, можно отметить, что волновое представление процесса распространения позволяет учесть то, каким образом инновации влияют друг на друга, более того, учитывают влияние окружающей среды, однако следует рассмотреть диффузионные процессы несколько подробнее.

Под диффузионными процессами называют такие процессы, в ходе которых происходит самопроизвольное перераспределение вещества в среде путем диссипации или направленного переноса под воздействием какого-либо потенциала. В простейшем случае в качестве потенциала выступает градиент концентрации [40]. Когда в системе присутствуют разнородные частицы, то процесс диффузии проявляется в стремлении установить равновесное распределение концентраций

таких частиц, поскольку законы диффузии применимы для неравновесных диссипативных сред. Диссипативной (от лат. dissipation – «рассеиваю») называется среда, которая состоит из нечетного числа частиц, взаимодействующих между собой и внешней средой [16]. Характерной особенностью таких сред является то, что в них происходит рассеивание энергии и возрастание энтропии, кроме того, необходимо заметить, что все реальные среды, в том числе социально-экономические можно охарактеризовать таким образом.

На процесс распространения инновации оказывают влияние различные факторы, к которым относятся: маркетинговые кампании, мощности коммуникативных каналов, непосредственно полезные характеристики инновации, и другие, которые можно назвать средой, в которой происходит диффузия инноваций. Для подробного и наиболее корректного представления процесса распространения необходимо ввести понятие неравновесной диссипативной среды. Под неравновесной диссипативной средой принято называть среду, в которой наблюдается какая-либо разность потенциалов, будь то разность температур, давлений или электрического напряжения. Смысл в том, чтобы в среде присутствовал градиент потенциальной энергии. Применительно для процесса диффузии инноваций градиентом потенциального напряжения будет выступать разность спроса и предложения.

Рассмотрим следующую ситуацию, когда в среде находятся инновации, по-другому «заряженные» вещества, и устаревающие продукты – различные продукты и технологии, которые можно назвать фоном. В случае, когда к такой среде прикладывается некоторая сила, которая является двигателем инновации по направлению от производителя к потребителям, то в ситуации, когда фон отсутствует, инновация бы равномерно распространялась от производителя к потребителям, пока все потребители не стали бы обладателями продукта [9]. Таким образом ведет себя прорывная инновация, однако следует заметить, что, когда существует фон, то скорость инновации растет до тех пор, пока не сталкивается с другими продуктами и не теряет своего импульса. Как следствие, инновация вынуждена распространяться по ломаной траектории, то есть дрейфовать со средней

скоростью, которая была бы пропорциональна градиенту поля [41]. В этом случае процесс распространения инновации будет тем быстрее, чем больше разность между спросом и предложением.

Проводя аналогии между процессами, протекающими между молекулами и социально-экономической средой, можно выделить много общего между такими процессами. Ввиду такого положения, необходимо проанализировать и дать исчерпывающую характеристику этим процессам.

Сравнительная таблица приведена ниже.

Таблица 3 – Сравнение процессов корпускулярной теории диффузии [15]

Название	Частица	Инновация
Среда	Среда, содержащая молекулы, например газообразная	Рынок, в котором запускаются инновации
Фон	Молекулы другого вещества	Другие технологии
Диффундирующее вещество	Вещество, распространяющееся в среде	Технология или продукт, внедряемы на рынок
Движущая сила	Концентрация или разность потенциалов	Разрыв между спросом и предложением
Концентрация	Отношение содержания вещества к объему	Отношение количества внедренных инноваций ко всему объему рынка
Коэффициент диффузии	Характеристика скорости, с которой распространяется диффундирующее вещество	Характеристика скорости распространения инновации. Величина, зависящая от самой инновации и особенностей рынка

Распространение диффундирующего вещества в физике описывается на основе законов Фика. Первый закон Фика описывает процессы, при которых проницаемая для обменивающихся частиц мембрана разделяет две среды, которые могут быть жидкими или газообразными и утверждает, что распространение вещества происходит из области с высокой концентрацией в область с низкой концентрацией, так как показано на рисунке 9, расположенном ниже:

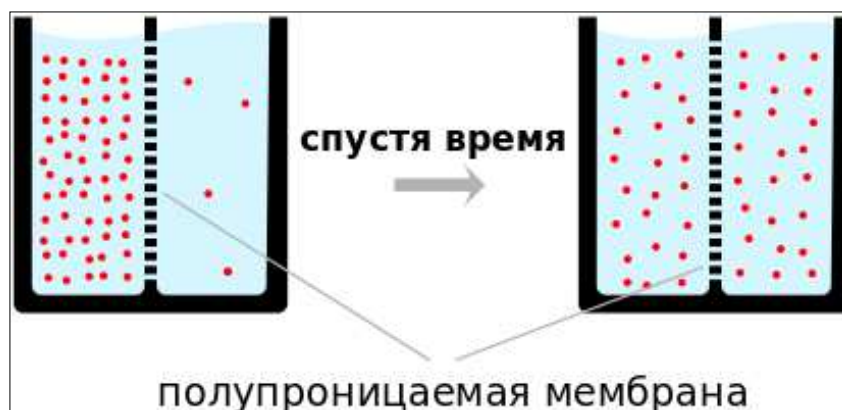


Рисунок 9 – Процесс диффузии вещества через полупроницаемую мембрану

Формулировка первого закона Фика гласит, что в отсутствии внешних воздействий диффузионный поток пропорционален его концентрации [8]

На базе экономическоего подхода осуществлен перенос математического аппарата такого закона на процесс распространения инновации. Согласно работе [16] в этом случае процесс распространения опишется следующим образом по формуле (3):

$$J = -D * \text{grad}C, \quad (3)$$

где  $J$  – плотность потока распространяемых инноваций;

$C$  – концентрация потока;

$D$  – коэффициент пропорциональности (коэффициент диффузии)

Интерпретация первого закона Фика для случая распространения инноваций выглядит следующим образом: поток распространения инноваций в отсутствии внешних воздействий пропорционален скорости распространения инноваций.

Существует также второй закон Фика, характеризующий изменение общей концентрации диффундирующего вещества в каждой точке среды. Описывается этот закон с помощью следующей формулы:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D * \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (4)$$



где  $x$  – расстояние распространения вещества;

$t$  – время распространения;

$D$  – коэффициент пропорциональности (коэффициент диффузии)

Провести аналогию между процессом распространения инноваций и вторым законом Фика можно следующим образом: скорость распространяемых инноваций тем выше, чем меньше конкурирующих инноваций.

Сравнение процесса распространения инноваций с физическим явлением диффузии позволяет глубже понять особенности такого явления и ввести математические закономерности, что сделано в модели Ф.Басса.

## 2.2 Модель Ф.Басса

Кроме Э.Роджерса, теория принятия новшества покупателями вызвала интерес у ряда других исследователей. К одним из них относится Ф.Басс, разработавший математическую модель распространения продукта на основе работ Э. Роджерса.

Ключевое отличие в работах вышеупомянутых авторов в том, что Ф.Басс разделяет общество на два больших класса пользователей, а Э.Роджерс рассматривает социум как совокупность отдельных групп с разной способностью к восприятию инновации.

Ниже представлены классы пользователей, на которые Ф.Басс разделил общество:

а) новаторы, категория пользователей, воспринимающих инновацию независимо ни от каких внешних воздействий;

б) подражатели – категория, воспринимающая технологию под воздействием уже принявших её.

Теория Ф. Басса утверждает, что вероятность совершения покупки продукта потребителем-есть линейная функция от числа прежних покупателей. Иначе говоря, происходит копирование имитаторами поведения новаторов, и, соответственно, чем

выше доля тех, кто уже приобрел продукт, тем выше вероятность того, что имитатор также приобретет продукт.

Математически вероятность внедрения инновации описывается с помощью выражения (5):

$$P(t) = p + q/F(t), \quad (5)$$

где  $p$  – коэффициент инновации, который отражает «эффект рекламы», предполагается, что новаторы узнают о новой продукции посредством СМИ;

$q$  – коэффициент имитации, выражающий эффект «сарафанного радио», так можно назвать возможность потребителя узнать об инновации от людей, которые уже приобрели данный продукт;

$F(t)$  – доля тех, кто уже приобрел продукт к моменту времени  $t$ .

Процесс распространения любого инновационного продукта, будь то технология или услуга, происходит в условиях нестабильной внешней среды. Нестабильность создают такие составляющие как конкуренция, колебания уровней цен и другие макроэкономические факторы. Разумеется, на процесс диффузии технологий значительное влияние оказывает цена продукта, а также средства, затраченные на рекламу и его продвижение. Распространение продукта происходит тем быстрее, чем приемлемее для индивида цена. В модели Басса эти факторы учитываются следующим образом: на начальном этапе жизненного цикла инновационного продукта рост количества продаж зависит напрямую от рекламы, и только затем за счет эффекта межличностной коммуникации количество пользователей продукта увеличивается. Однако следует заметить, что в случае с освоением инновации кругом подражателей влияние рекламы значительно падает, поскольку особенность имитаторов в подражании поведения новаторов.

Рассчитать вероятность нового потребителя представляется возможным путем дифференцирования выражения (5). Вычислив производную, получаем функцию, отражающую вероятность появления нового потребителя.

Математически число новых потребителей выражается с помощью формулы (6):

$$f(t) = \frac{dF(t)}{d(t)} = (p + \frac{q}{p}F(t))(\bar{F} - F(t)) \quad (6)$$

где  $f(t)$  – число новых потребителей в момент  $t$ ;

$F(t)$  – число тех, кто уже приобрел инновацию к моменту времени  $t$ ;

$\bar{F}$  – максимальное потенциальное число потребителей;

$p$  – доля новаторов на старте распространения продукта;

$q$  – имитаторы.

Для рынка инноваций в сфере информационных технологий характерна такая же схема движения потребителей продукта, какая была бы у продукта, не обладающего характеристиками технологической инновации.

Распространение продукта начинается с неохваченного рынка, когда о нем еще ничего неизвестно и на рынке присутствует «нулевой пациент», обладающий необходимой информацией. Далее происходит постепенное освоение рынка, и он переходит из статуса «потенциальный» в статус «охваченный».

Изображение такого перехода дано с помощью рисунка 10, который изображен ниже [42]:

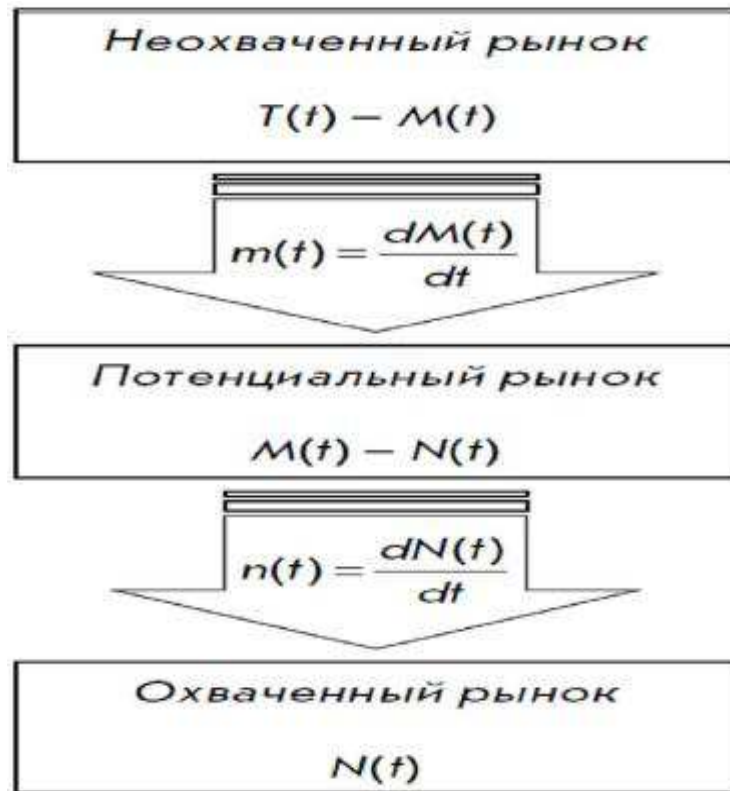


Рисунок 10 – Схема движения потребителей инновационного продукта [42]

Описание представленных на рисунке параметров дано ниже:

$T(t)$  — общее количество пользователей на рынке в момент времени  $t$ ;

$M(t)$  — количество потенциальных потребителей продукта на рынке в момент времени  $t$ ;

$N(t)$  — количество потребителей, которые уже приобрели инновационный продукт;

$m(t) = \frac{dM(t)}{dt}$  — число индивидов, переходящих с неохваченного рынка на потенциальный рынок;

$n(t) = \frac{dN(t)}{dt}$  — скорость распространения инновации — число индивидов, переходящих с потенциального рынка на охваченный.

Применяя модель Басса для рынка распространения информационно-коммуникационных технологий, можно выразить процесс распространения продукта с помощью следующей формулы (7):

$$\frac{dN(t)}{dt} = g(t, N(t))(M - N(t)) \quad (7)$$

В данной формуле общее число потенциальных потребителей некоторой технологии неизменно во времени, а скорость распространения инновации пропорциональна объему потенциального рынка, который выражается вторым слагаемым формулы 7.

Вероятность того, что потенциальный потребитель приобретет продукт, в данном случае выражается с помощью функции  $g(t, N(t))$  и характеризуется в как скорости адаптации пользователя к новинке.

Насколько быстро будет принята технология зависит от множества факторов, к которым можно отнести:

- а) степень востребованности технологии для конечного пользователя;
- б) качество работы маркетинговых и рекламных кампаний;
- в) частота коммуникаций между действующими пользователями и потенциальными обладателями технологии.

Одной из разновидностей моделей распространения продукта по Ф. Бассу является агентная модель, построенная на базе моделей клеточных автоматов, о которых уже упоминалось в главе 1 данной работы. Построение модели выполнялось с помощью программного продукта AnyLogic 8.5.2.

В качестве агентов в данной модели выступают пользователи, которые принимают решение о покупке продукта. Емкостью рынка здесь выступает изначально заданная пользователем популяция агентов. В представленной работе вся популяция агентов схематично представлена в виде овалов, при этом изначально все овалы имеют оливковый цвет, предполагая начальное состояние, когда все пользователи – потенциальные покупатели.

Первоначальное состояние изображено на рисунке 11, представленном ниже:

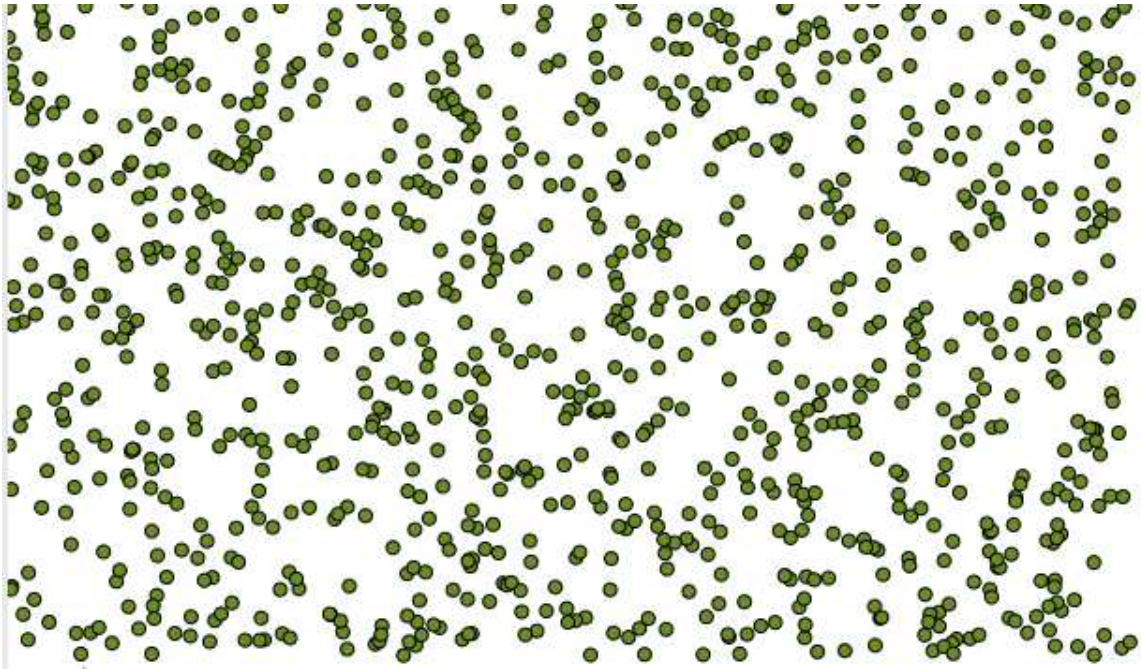


Рисунок 11 – Популяция агентов

В качестве клеточного автомата в случае с агентной моделью распространения продукта по Бассу выступает элемент палитры инструментов AnyLogic под названием «диаграмма состояний».

Диаграмма состояний предоставляет возможность графически задать пространство для отображения состояний алгоритма, по которому выстраивается поведение агента, а также включает в себя элементы, являющиеся причинами, благодаря которым происходит смена состояний.

Следует отметить, что между собой состояния в диаграмме соединены при помощи переходов, которые срабатывают при определенных условиях. Такими условиями могут стать следующие события:

- а) получение сообщения;
- б) выполнение условия, заданного составителем модели;
- в) истечение срока таймаута;

Как только выполняется одно из таких условий, происходит переход в то состояние, куда данный переход ведет.

Безусловно, диаграммы состояний используются и в более сложных моделях, описывающих состояния, выходящие за границы рассматриваемых в работе (купил/не купил, открыт/закрыт).

Ниже, на рисунке 12 изображена диаграмма состояний, используемая для построения агентной модели Ф. Басса:

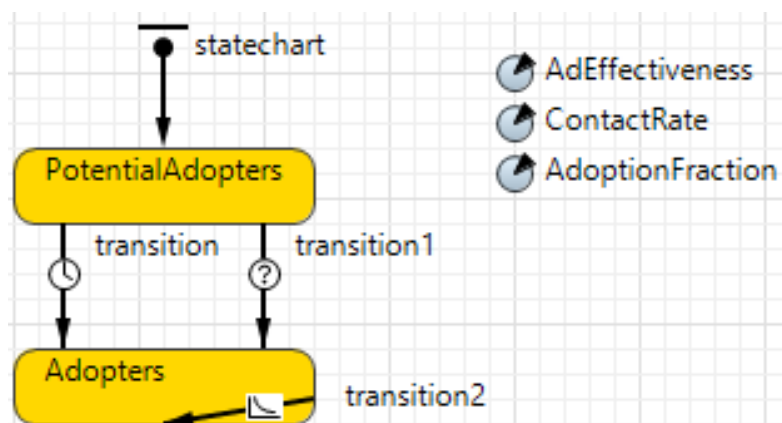


Рисунок 12-Диаграмма состояний агентной модели

Представленная диаграмма состояний содержит в себе три перехода, описание каждого из которых представлено ниже:

а) transition – с помощью данного перехода, выполняемого с интенсивностью, равной параметру *AdEffectiveness*, на процесс приобретения товара начинает воздействовать реклама, что приводит к образованию на графическом интерфейсе овалов красного цвета;

б) transition1 – с помощью данного перехода происходит моделирование процесса покупки, причем случайным образом выбирается один агент из популяции, который совершает покупку;

в) transition2 – моделирует общение потребителей и происходит с интенсивностью, равной *ContactRate*.

Представленные параметры, входящие в описание переходов (*AdEffectiveness*, *ContactRate* и *AdoptionFraction*) описывают степень влияния рекламы, силы убеждения в том, что необходимо совершить покупку и частоты контактов между

пользователями. Наиболее подробно описание данным параметрам будет дано в процессе составления классической модели Басса.

Заметим, что агентная модель, так же как и классическая модель Басса описывает процесс покупки, который потребитель совершает под влиянием рекламы и силы убеждения пользователей, купивших данный продукт. Однако, это не отменяет того факта, что представленные модели можно модифицировать, путем добавления в них иных коэффициентов, влияющих на поведение графиков распространения продукта.

Анализ подобных «модификаций» модели выполнен в главе 3 данной работы.

Следует отметить, что вышеперечисленные переменные принимают следующие значения:

- а) ContactRate (частота контактов) – 100;
- б) AdEffectiveness (коэффициент, отвечающий за влияние рекламы) -0.011;
- в) AdoptionFraction (коэффициент, влияющий на силу убеждения) – 0.015.

Ниже, на рисунке 13 изображен процесс продажи товара, в результате которого пользователь переходит из одного состояния в другое:

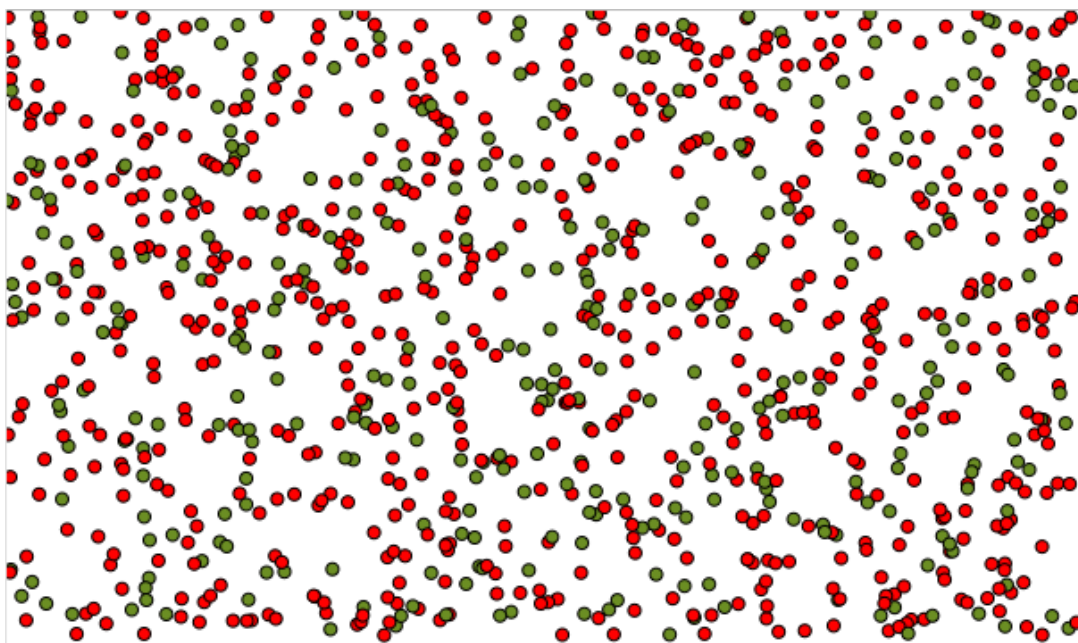


Рисунок 13 – Процесс перехода из состояния потенциального покупателя (оливковый цвет) в купивших (красный цвет)



Рисунок 13 отражает ситуацию, когда продукт купили уже 664 покупателя, остается еще 336 человек, не совершивших покупку, поскольку количество потенциальных покупателей в модели – 1000 человек.

Ниже, на рисунке 14 изображен график роста количества числа покупателей (Adopters):

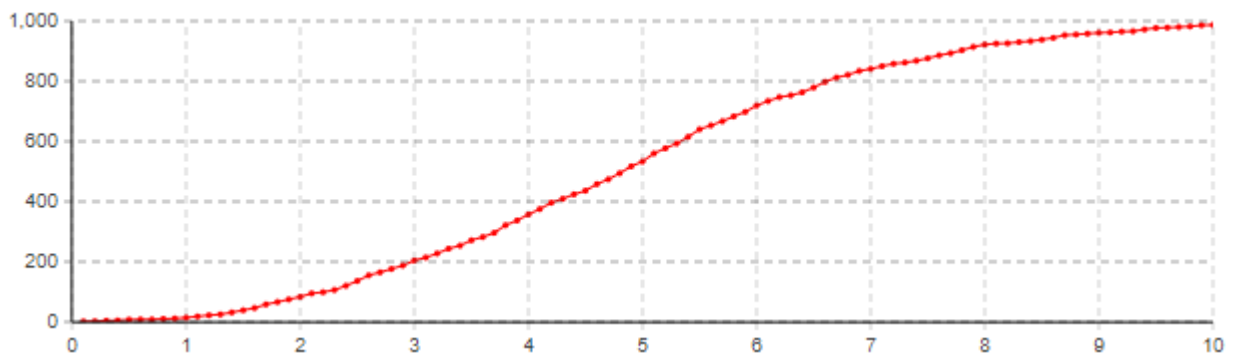


Рисунок 14 – Количество пользователей, купивших продукт

Стоит заметить, что в данной модели не предусмотрен вариант, при котором остается часть пользователей, которая отказалась от покупки. В ходе дальнейшего исследования этот недостаток будет устранен.

В рамках данной работы была также составлена классическая модель распространения продукта по Ф.Бассу и построены графики, характеризующие процесс распространения продукта. Построение модели производилось с помощью программного продукта AnyLogic 8.5.2.

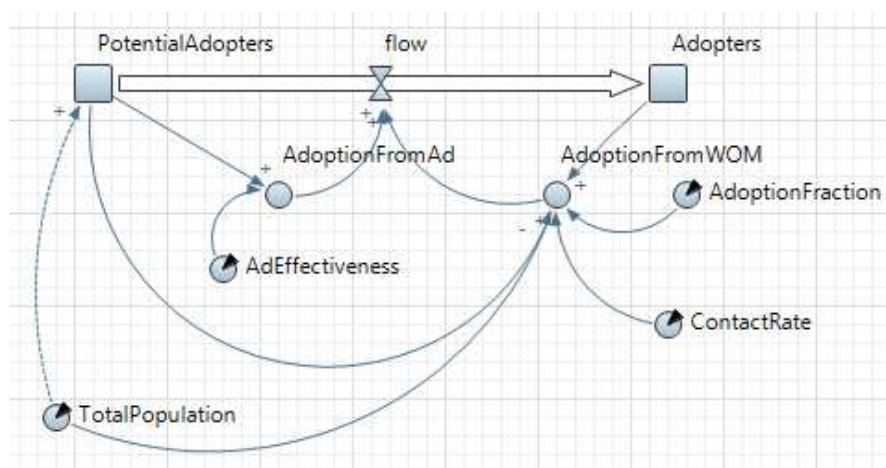


Рисунок 15 – Модель диффузии инноваций по Бассу

На рисунке 11 представлена классическая модель Басса, оперирующая двумя динамическими переменными, которые отражают степень влияния рекламы и эффекта «сарафанного радио» на процесс приобретения продукта.

Ниже, в таблице 4 представлено описание каждой составляющей, входящей в состав модели:

Таблица 4 – Описание переменных, входящих в модель Басса

Составляющая модели	Название составляющей	Описание составляющей
PotentialAdopters	Потенциальные покупатели	Содержит в себе значение количества потенциальных покупателей продукта
Adopters	Покупатели	Содержит в себе значение количества пользователей, купивших продукт
TotalPopulation	Численность популяции	Параметр, передающий количество покупателей в переменную PotentialAdopters
ContactRate	Частота контактов	Параметр, устанавливающий число контактов между покупателями
Flow	Поток продаж	Элемент, отражающий процедуру продажи продукта
AdEffectiveness	Эффективность рекламы	Параметр, устанавливающий уровень эффективности рекламы
AdoptionFraction	Сила убеждения	Параметр, отражающий силу, с которой новатор влияет на имитатора
AdoptionFromAd	Влияние рекламы на осуществление покупки	Динамическая переменная, передающая данные в элемент flow
AdoptionFromWOM	Влияние межличностных коммуникаций на осуществление покупки	Динамическая переменная, передающая данные в элемент flow

Поток flow на основании динамических переменных определяет какое количество пользователей приобрело продукт, то есть перешло из разряда потенциальных покупателей в разряд купивших.

Динамические переменные задаются с помощью следующих формул (8) и (9):

$$\text{AdoptionFromAd} = \text{AdEffectiveness} * \text{PotentialAdopters}, \quad (8)$$

$$\text{AdoptionFromWOM} = \frac{\text{ContactRate} * \text{AdoptionFraction} * \text{PotentialAdopters} * \text{Adopters}}{\text{TotalPopulation}}, \quad (9)$$

Процесс распространения продукта в модели Басса описывается с помощью логистической или S-образной кривой, такой, как показано на рисунке 16:

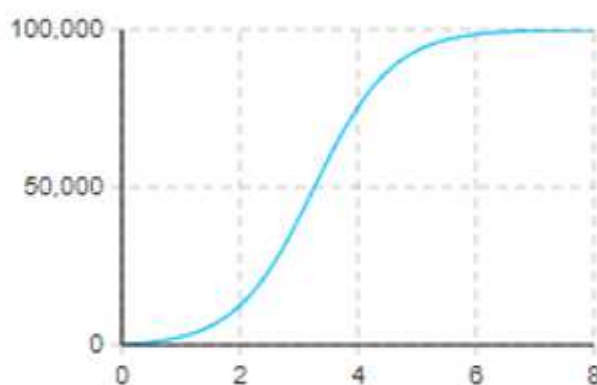


Рисунок 16 – S-кривая процесса распространения продукта

В данном случае за скорость распространения технологии отвечает параметр  $\text{ContacRate}$ , характеризующий частоту контактов между всеми потребителями. Увеличение параметра приводит к изменению кривизны кривой, так, как показано на рисунках 17а,17б,17в.

Изменение параметра  $\text{ContactRate}$ , отражает то, насколько быстро пользователи приобретут продукт и потеряют статус «потенциальных». С ростом параметра уменьшается время, необходимое для приобретения продукта всей популяцией, размером 100000 человек.

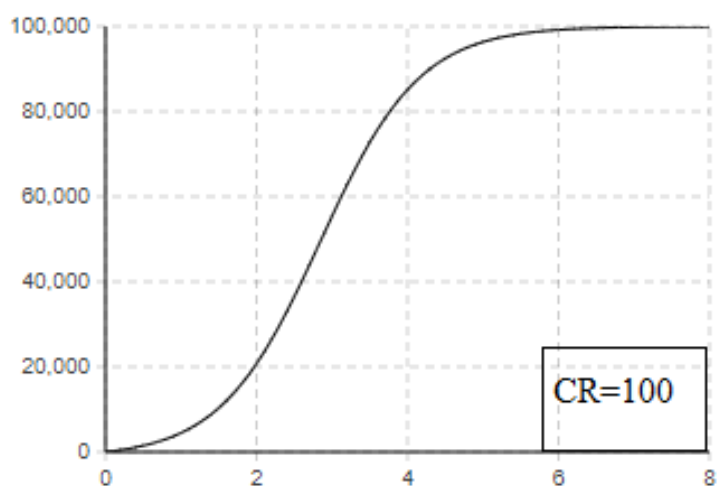


Рисунок 17а – Распространение продукта при значении ContactRate = 100

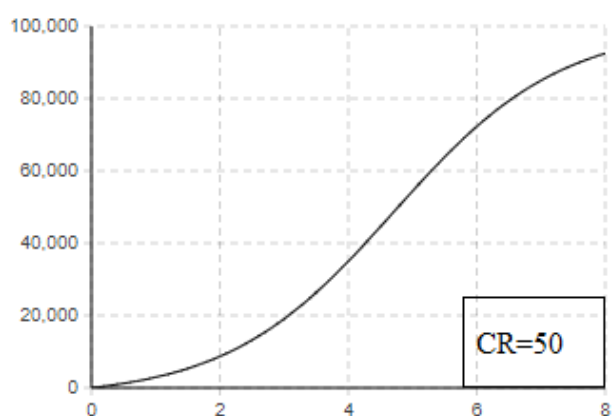


Рисунок 17б – Распространение продукта при значении ContactRate = 50

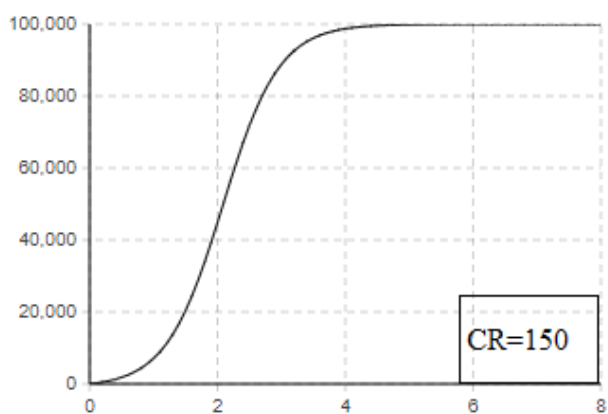


Рисунок 17в – Распространение продукта ContactRate = 150

Исходя из рисунков, представленных выше, распространение продукта будет происходить 4 года при  $CR=150$ , 8 лет при  $CR=300$  и 6 лет при  $CR=100$ .

Ниже, в пункте 2.3 будут рассмотрены приложения логистических кривых для отображения процесса распространения продукта.

## **2.3 Кривая Перла и её использование при моделировании динамических процессов**

Влияние новых технологий и инновационных процессов на состояние экономической среды может быть реализовано в полной мере только в том случае, когда нововведения находят широкое применение в экономике, иначе говоря, когда такие инновации принимаются членами социальной системы. Предсказывать поведение технологии в процессе распространения представляется возможным с помощью процедуры моделирования.

Под моделированием понимается универсальный метод получения, описания и использования знаний, построение и изучение моделей реально существующих объектов, процессов или явлений с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений, интересующих исследователя.

Процедура моделирования служит незаменимым инструментом при качественном и количественном описании экономических процессов и явлений. Цель процесса моделирования - получить наиболее приближенное к реальности представление об объекте или явлении. Особую популярность процедура моделирования получила в упомянутом выше экономическом подходе.

Существует широкий класс экономических процессов, характеризующийся тем, что скорость изменения траекторий показателей таких процессов не является постоянной. Эти процессы описываются с помощью логистических моделей динамики, к которым относятся разнообразные S-образные кривые. Особенность таких кривых в том, что изучаемый показатель проходит полный цикл развития, к примеру, медленный рост, резкий ускоренный рост и замедление.

Отметим, что применительно к процессу распространения технологии, к факторам, формирующим S-кривую, следует отнести неравномерность доходов населения, поскольку по мере распространения продукта цена становится все меньше и все больше людей могут приобрести покупку.

Говоря о логистических моделях, к которым относится S-образная кривая, следует упомянуть о существовании кумулятивных и импульсных логистических моделей.

Кумулятивные логистические модели описывают накопленные к текущему моменту времени значения определяемого показателя, а импульсные характеризуют текущие значения определяемого показателя в момент времени  $t$ .

Одной из ярких иллюстраций использования логистических моделей являются процессы, способные достигать некоторого уровня насыщения. К таким моделям можно отнести:

- а) развитие биологических систем и популяций;
- б) распространение заболевания;
- в) динамика демографических изменений;
- г) динамика насыщения рынка.

Как уже отмечалось выше, логистическая кривая имеет три фазы: фаза медленного роста, фаза ускоренного развития и фаза насыщения. Ниже, на рисунке 18 приведен пример логистической кривой с разбиением всей длины кривой на вышеупомянутые фазы:

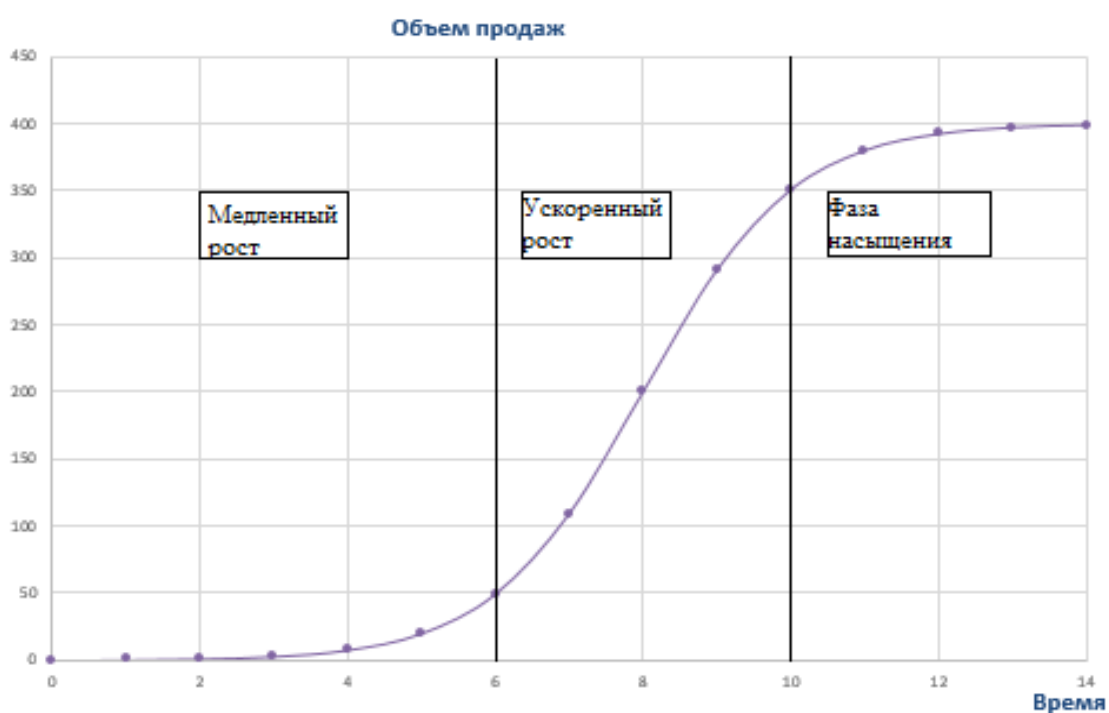


Рисунок 18 – Фазы логистической кривой

Стоит упомянуть, что по оси ординат не обязательно должны располагаться значения объемов продаж, там может быть другой полезный эффект.

Одной из наиболее известных является кумулятивная логистическая кривая Перла-Рида, которая описывается с помощью следующего уравнения:

$$y = \frac{a}{1+e^{-(b+dt)}}, \quad (10)$$

где  $a$  – максимальное значение объема продаж на рынке;

$b$  – временной лаг выхода инновации на рынок;

$d$  - коэффициент, характеризующий скорость распространения технологии.

В общем случае кривая Перла выглядит так, как показано на рисунке 19:

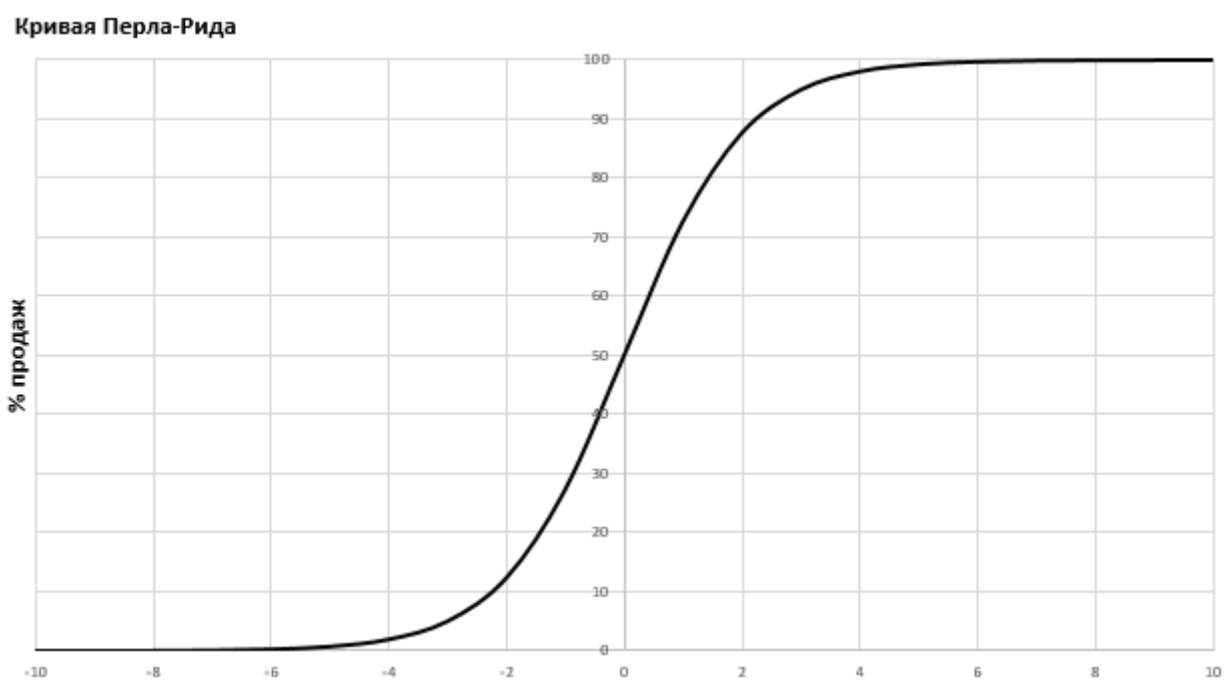


Рисунок 19 – Кривая Перла

Активное применение кривая Перла-Рида нашла в биологии. Рост популяции в условиях, когда ей ничего не угрожает и есть достаточное количество пищи и жилищ происходит строго по экспоненциальному закону. В случае, когда условия, предоставляемые внешней средой, ограничены, рост популяции будет описываться согласно кривой, представленной на рисунке 20:

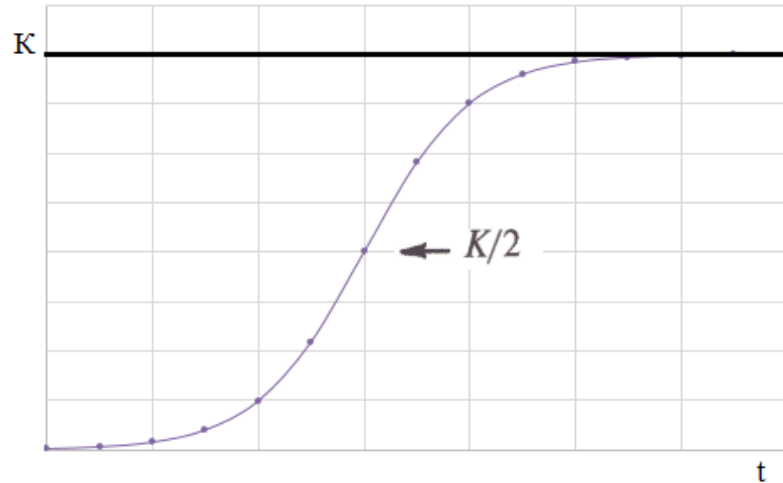


Рисунок 20 – Кривая Перла роста популяции в естественной среде, при емкости популяции равной  $K$

Как было отмечено в формуле 10, коэффициент  $d$  обозначает скорость распространения продукта. Ниже на рисунках 21, 22, 23 отражена кривая Перла с различными значениями коэффициента  $d$ :

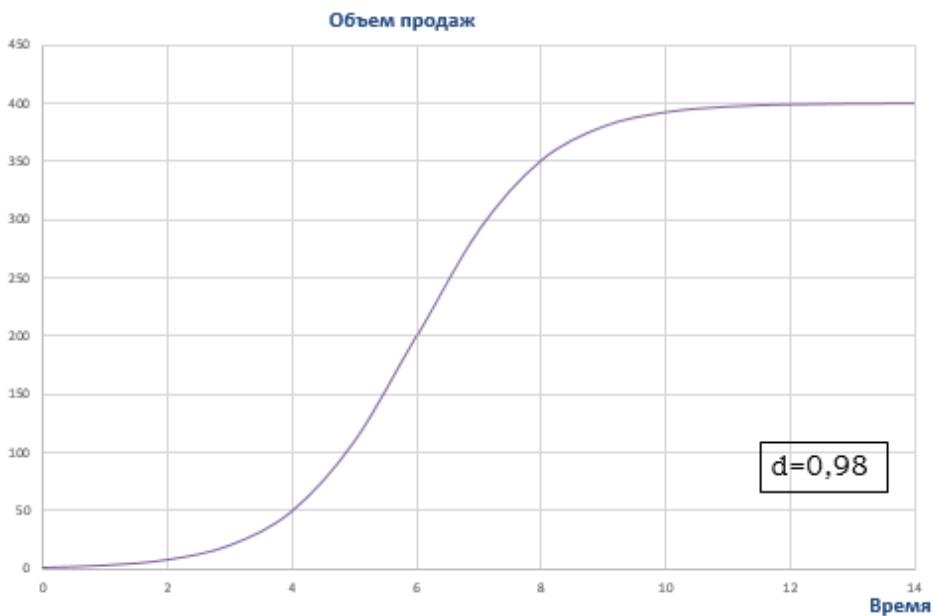


Рисунок 21 – Кривая Перла при  $d=0,98$



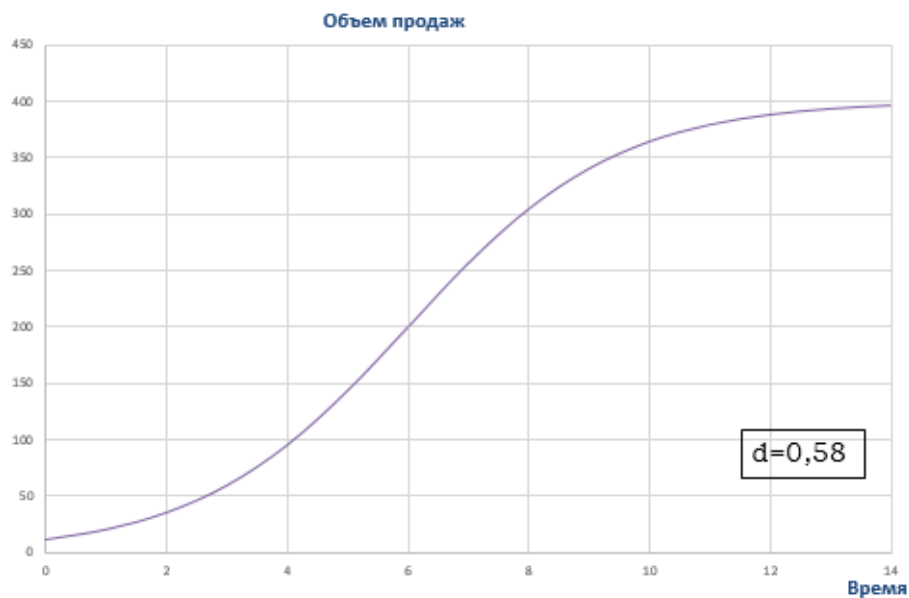


Рисунок 22 – Кривая Перла при  $d=0,58$

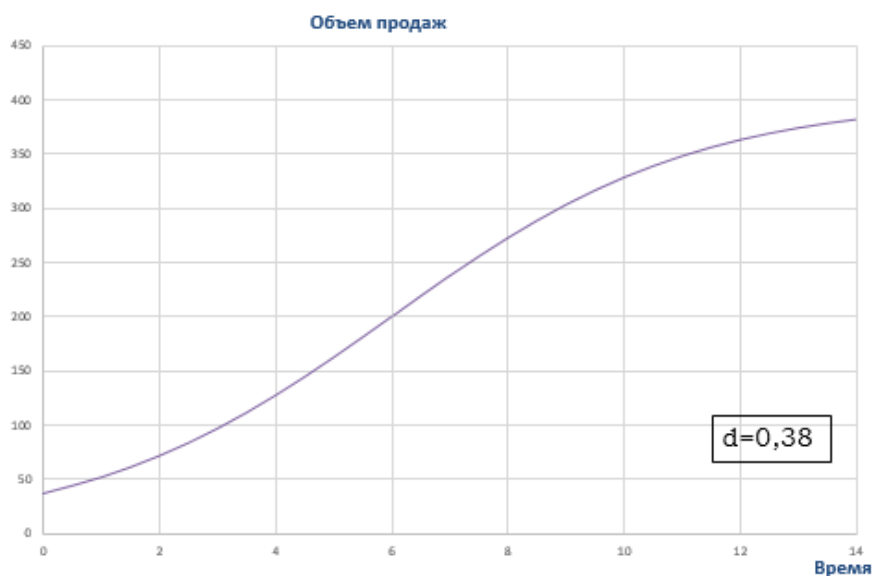


Рисунок 23 – Кривая Перла при  $d=0,38$

При уменьшении значения коэффициента  $d$ , кривая Перла стремится к прямой, что очевидно из рисунков 21-23. Напротив, при увеличении значения коэффициента, угол кривой будет увеличиваться.

Обобщить поведение кривой в зависимости от изменения коэффициентов можно с помощью рисунка 24, представленного ниже:

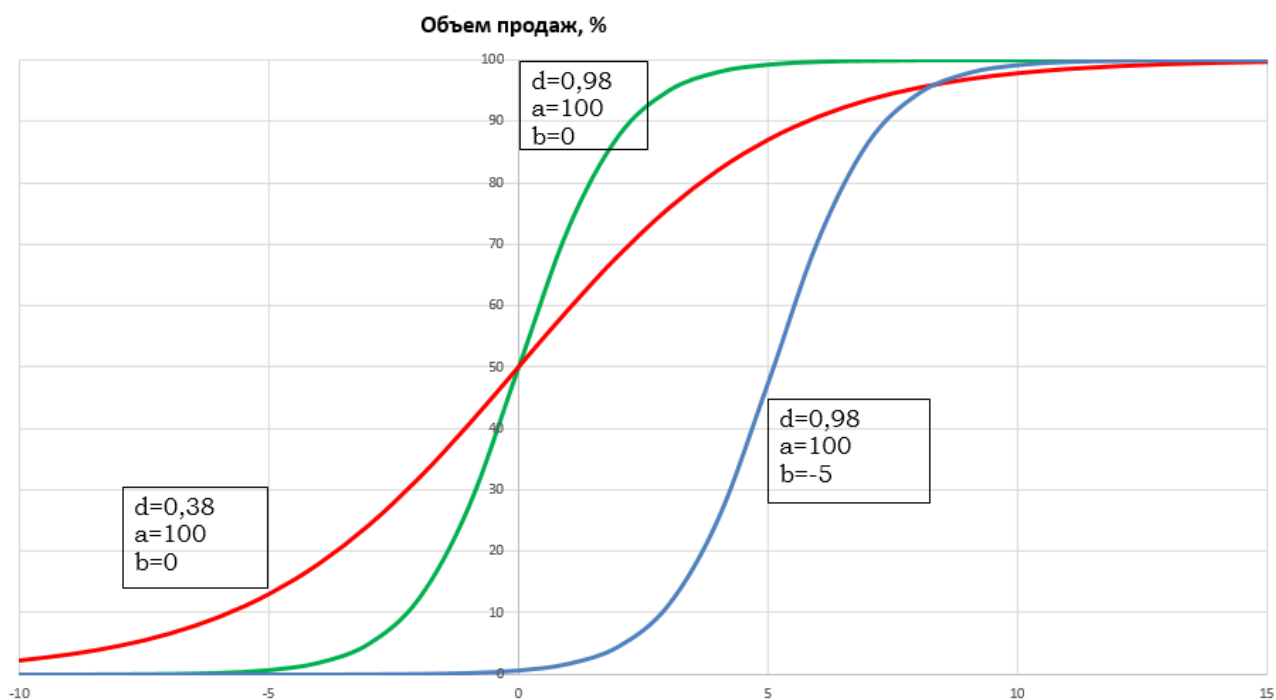


Рисунок 24 – Варьирование значений коэффициентов кривой

В представленной работе кривая Перла использовалась для построения модели процесса распространения продукта. В качестве продукта была выбрана консоль SonyPlayStation 3, кумулятивные данные продаж которой представлены в таблице 5:

Таблица 5 – Данные по продажам консоли SonyPlayStation 3:

Год	Количество проданных консолей, млн.шт.
2008	10,46
2009	23,72
2010	37,55
2011	51,97
2012	63,94
2013	72,2
2014	75,76
2015	77,1
2016	77,62

Для того чтобы определить «затравочные» показатели коэффициента  $d$ , прологарифмируем функцию Перла, в результате чего получим (11):

$$\ln y = \ln a - (b + dt), \quad (11)$$

Полученное уравнение прямой описывает поведение графиков, как указано на рисунке 25:

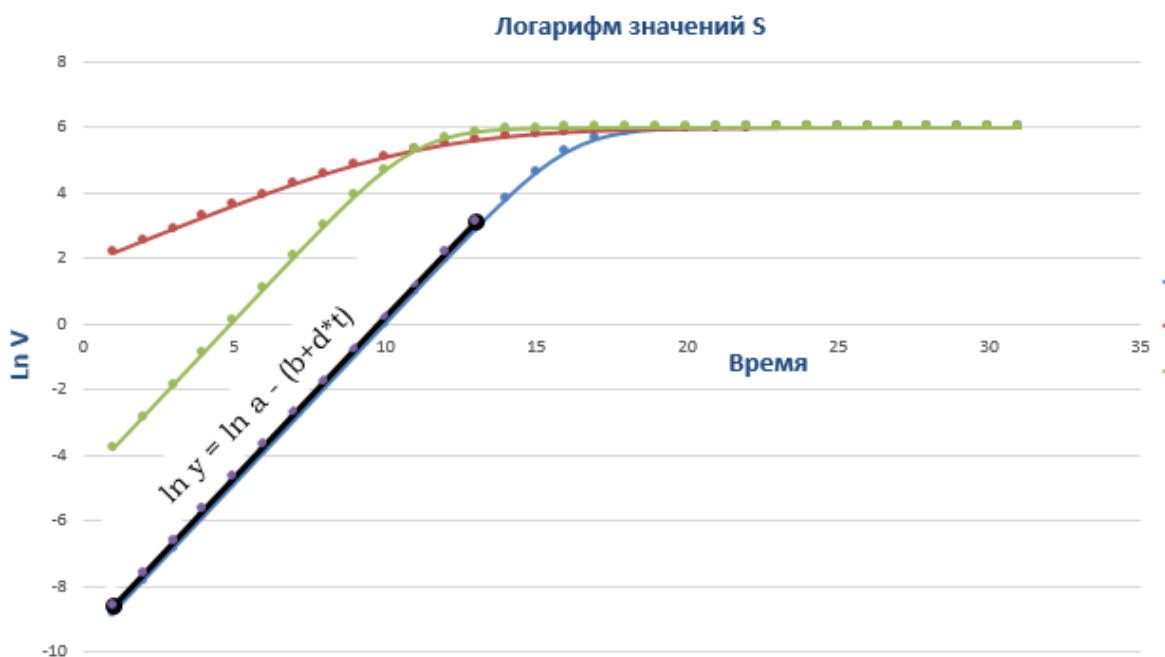


Рисунок 25 – Логарифмическая зависимость

Для того чтобы получить точные значения величин, получаемых с помощью формулы, необходимо воспользоваться методом наименьших квадратов для сравнения экспериментальных значений с теоретическими.

Используя уравнение логистической кривой Перла-Рида, был промоделирован процесс распространения продукта SonyPlayStation 3. Результаты моделирования отражены ниже с помощью рисунка 26:

### Моделирование распространения PS3

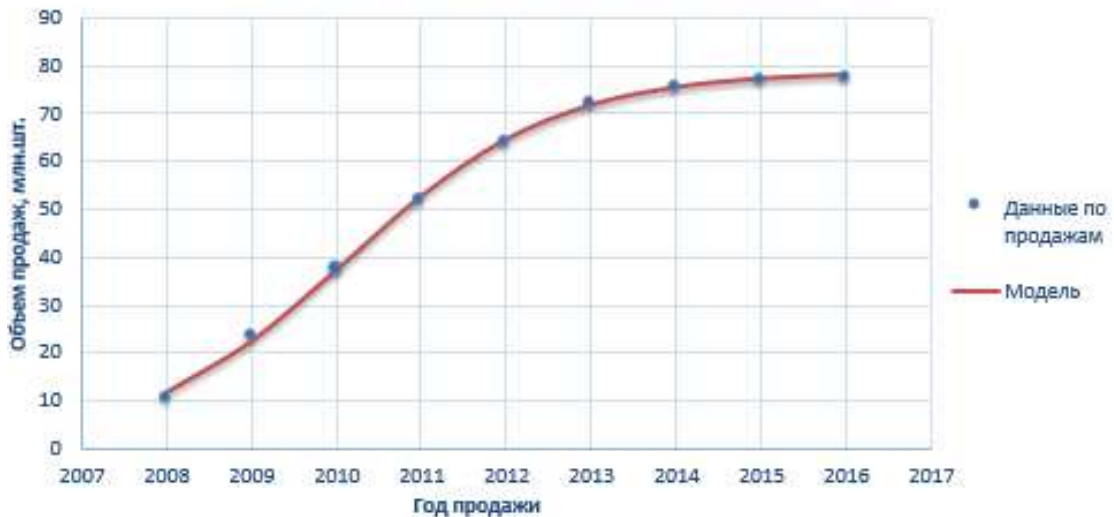


Рисунок 26 – Описание распространения SonyPlayStation3 формулой Перла

Следует заметить, что величина отклонения модели от реальных данных достаточна мала. Рисунок 27 отражает поведения среднеквадратичного отклонения в зависимости от  $d$ :

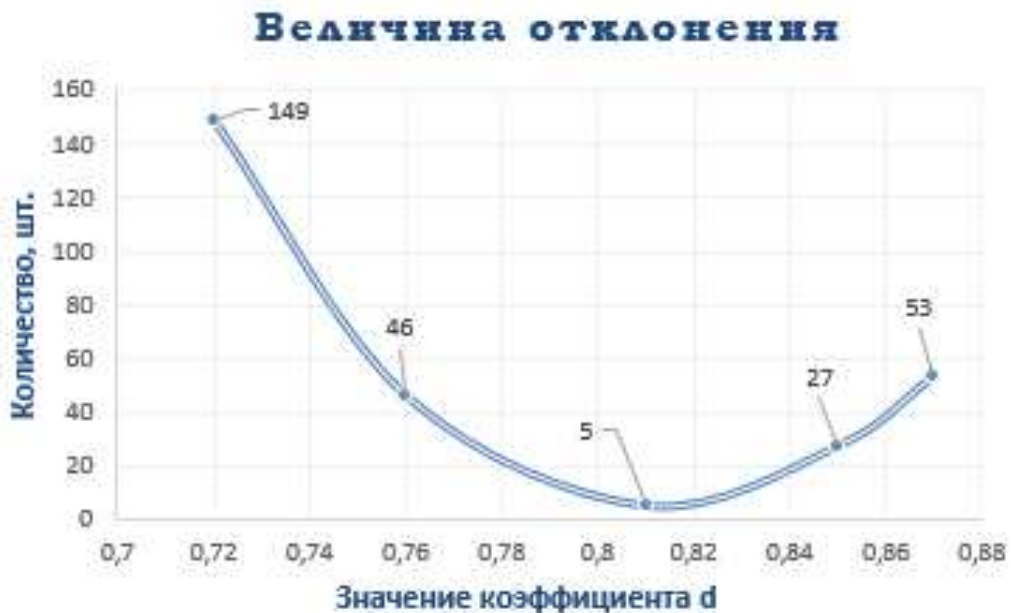


Рисунок 27 – Значение величины отклонения модели от реальных данных

Еще одним продуктом моделирования в том же приближении выступила консоль следующего поколения, а именно SonyPlayStation 4. Таблица, отражающая данные продаж консоли отражена ниже:

Таблица 6 – Таблица продаж SonyPlayStation 4:

Год	Количество проданных консолей, млн.шт.
2013	7,5
2014	22,3
2015	40
2016	60
2017	79
2018	96,8
2019	108,9

Результаты моделирования на основе данных по продажам консоли отображена на рисунке 28:



Рисунок 28 – Модель распространения SonyPlayStation 4

В случае с SonyPlayStation 4 значение среднеквадратичного отклонения составляет 22.

Наибольший интерес представляют результаты продаж консоли SonyPlayStation 2, данные по которым представлены в таблице 7:

Таблица 7 – Таблица продаж SonyPlayStation 2:

Год	Количество проданных консолей, млн.шт.
2000	6,4
2001	24,9
2002	49,59
2003	69,5
2004	81,3
2005	101,3
2006	103,7
2007	117,8
2008	131,6
2009	139,5
2010	146,8
2011	153,2
2012	156,6
2013	158,01

График описания объемов продаж в приближении одной кривой Перла, представлен на рисунке ниже:



Рисунок 29 – Модель распространения SonyPlayStation 2

Моделируемая кривая недостаточно хорошо описывает данные по продажам, это подтверждает и величина среднеквадратичного отклонения, полученная с помощью процедуры подгонки, представлена ниже, на рисунке 30:

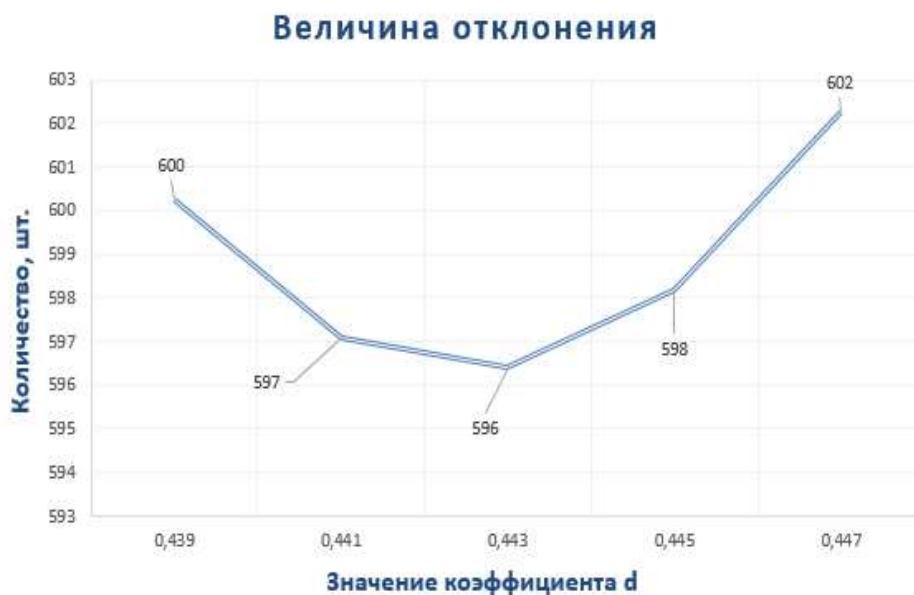


Рисунок 30 – Величина среднеквадратичного отклонения в модели SPS 2

Величина среднеквадратичного отклонения в случае с консолью SonyPlayStation 2 составила - 596 единиц, что на порядок больше, чем при расчетах для аналогов. ( $S=5$  у SonyPlayStation 3,  $S=22$  у SonyPlayStation 4). Такое отклонение указывает на упущение в процессе анализа распространения продукта, что требует дополнительной проверки, которая будет проведена в главе 3 данной работы.

### 3 Моделирование процесса распространения технологий

#### 3.1 Моделирование S-образной кривой с использованием экспериментальных данных продаж конкретного продукта

Прежде чем перейти к уточнению результатов моделирования распространения продукта SonyPlayStation 2, необходимо заметить, что на рынке технологий процесс диффузии происходит с той особенностью, что внедряемый продукт распространяется именно благодаря своим преимуществам, к которым можно отнести как более широкий спектр функциональных возможностей, так и экономическую эффективность, получаемую от его внедрения. В связи с этим, зачастую на рынке возникает ситуация, в которой происходит замещение одной технологии другой или же внутреннее усовершенствование продукта. Такие изменения отражаются на логистической кривой, в форме появления новых перегибов или возникновения характерных спадов в уровнях продаж.

В связи с этим, применение уравнения симметричной логистической кривой Перла-Рида для процессов замещения технологии становится некорректным.

Согласно исследованиям, проведенным авторами работы [43], процесс распространения инноваций может описываться с помощью каскада логистических функций, представление которого в общем виде представлено ниже с помощью формулы (13):

$$y = \frac{a_1}{1+\exp(b_1+d_1t)} + \frac{a_2}{1+\exp(b_2+d_2t)} + \dots + \frac{a_n}{1+\exp(b_n+d_nt)}, \quad (13)$$

где  $a_1, a_2, a_n$  – максимальные значения объемов продаж на рынке;

$b_1, b_2, b_n$  – временной лаг выхода технологий на рынок;

$d_1, d_2, d_n$  – коэффициенты, характеризующие скорость распространения технологий.



Приближенный случай S-образной кривой, содержащей в себе несколько перегибов изображен ниже, на рисунке 31. Изображенный рисунок характеризует ситуацию с улучшением продукта:

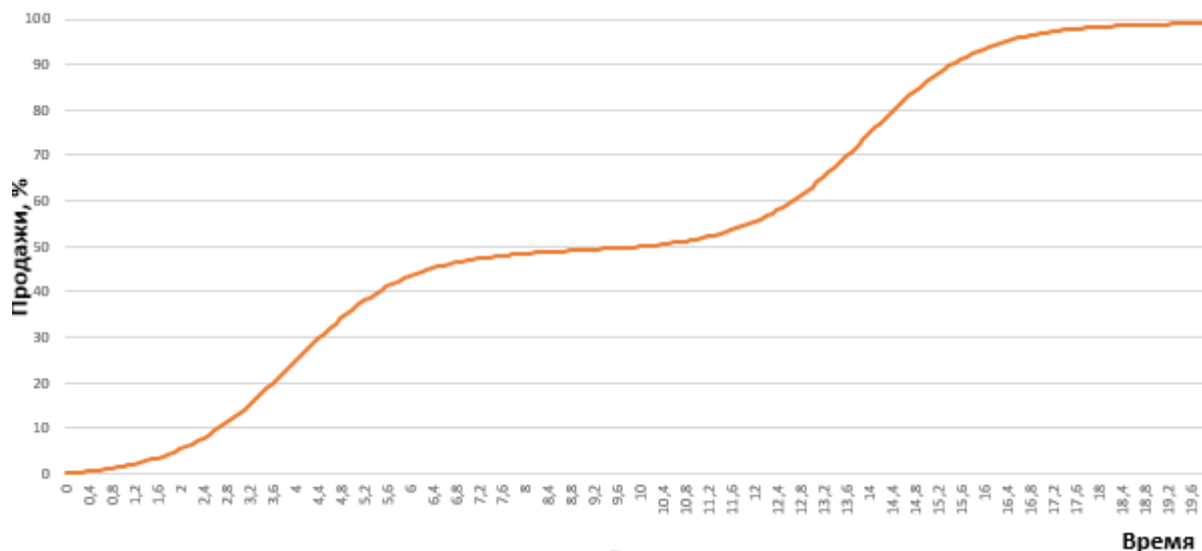


Рисунок 31 – S-образная кривая с двумя перегибами

Примером, в котором происходит улучшение продукта за счет изменения использования технологий, может служить изменение технологий связи с использованием стационарного телефона. Изначально соединение между абонентами устанавливалось с помощью телефонистки, которая соединяла пользователей только при согласии каждого на соединение, при этом затрачивалось несколько минут. В данном случае продукт один-телефон, технологии – разные.

Учитывая вышеизложенное, анализ процесса распространения консоли SonyPlayStation 2 был произведен с помощью каскада логистических кривых, при помощи суммирования нескольких логистических кривых Перла-Рида так, как это показано на рисунке 28:

Распространение PS2, описывающееся двумя S-образными кривыми, объясняется тем, что на начальном этапе инновацию освоило «раннее меньшинство» пользователей и только затем «позднее» большинство [44]. Такой трактовка анализа распространения продукта согласуется с теорией, предложенной Э.Роджерсом, которая была освещена выше, в главе 1.

Отметим, что применение метода каскада логистических кривых, позволило повысить качество аппроксимации. Таким образом, величина среднеквадратичного отклонения изменилась более чем в 5 раз, достигнув значения 97 единиц, в то время как изначально наблюдалась величина в 596 единиц.

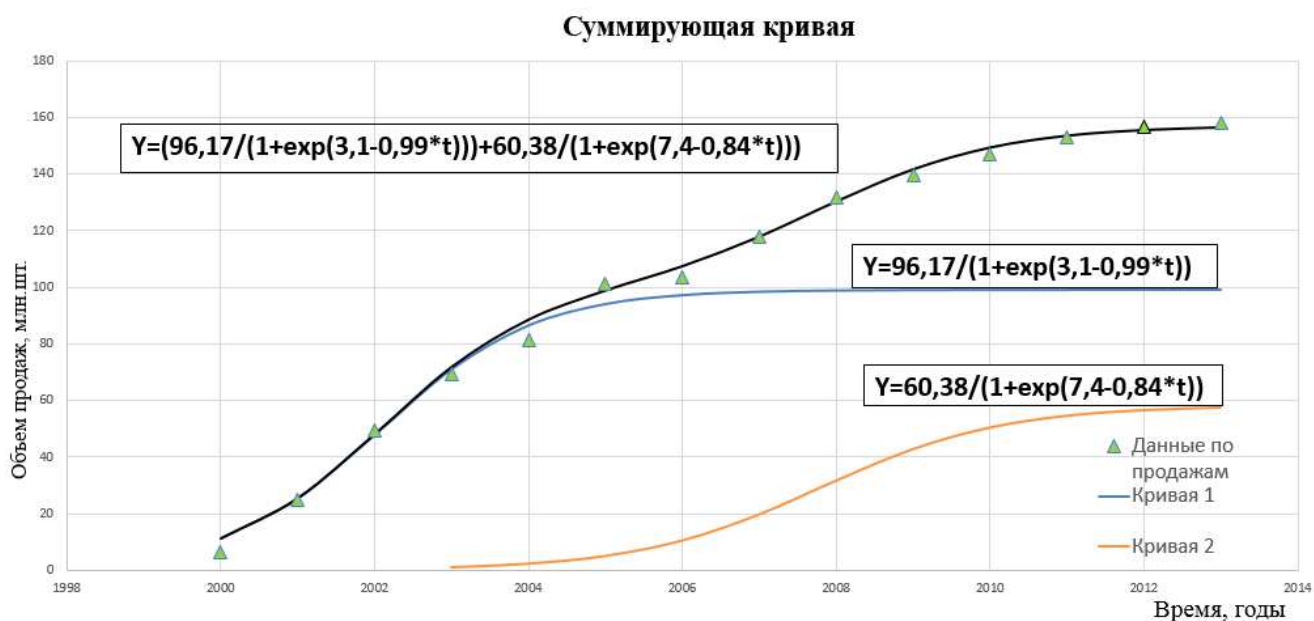


Рисунок 32 – Суммирующая кривая распространения консоли SonyPlaystation2

Ниже, в таблице 8 изображены данные, отражающие значения коэффициентов, входящих в уравнения Перла и значения среднеквадратичного отклонения применительно ко всей линейке продуктов SonyPlayStation, данные по продажам которых использовались в работе:

Таблица 8 – Значения коэффициентов линейки продуктов SonyPlayStation

Коэффициент	SonyPlayStation 2	SonyPlayStation 3	SonyPlayStation 4
$a_1$	96,17	78,6	120
$a_2$	60,38	-	-
$b_1$	3,1	-2,5	-3
$b_2$	7,4	-	-
$d_1$	0,99	0,82	0,75
$d_2$	0,84	-	-
S	97	5	25

Следует отметить, что значения коэффициента  $d$  лежат в диапазоне  $0 < d < 1$ , где 1 – максимальное значение коэффициента. Исходя из этого, консоль SonyPlayStation 2 имеет скорейшие темпы распространения, что согласуется с информацией о скорости распространения консоли в реальном мире [45].

Существование перелома можно объяснить наличием конкурентов, что привело к необходимости модернизации продукта. Еще одной причиной могли стать усовершенствования в продукте, который предлагается для использования на приставках SonyPlayStation 2. Не исключены корпоративные перемены, позитивно воздействующие на политику продвижения продукта.

Как уже было отмечено, с помощью каскада логистических функций становится возможным описывать не только процесс распространения технологии, когда он носит характер усовершенствования, но и процесс замещения технологий, когда наблюдается спад продаж у замещаемой технологии и рост продаж у замещающей.

Более того, существует возможность определения денежных потоков, которые генерирует инновационный продукт при выводе его на рынок, но для этого необходимо знать объемы его распространения, приносящие выручку. Для того чтобы их определить продифференцируем функцию (10), в результате чего находим (14):

$$\frac{dy}{dt} = dae^{b-dt}(1 + e^{b-dt})^{-2}, \quad (14)$$

Тогда за учетный период  $T$  объем распространения инновации равен:

$$V_T = T * \frac{dy}{dt} = T * dae^{b-dt}(1 + e^{b-dt})^{-2}, \quad (15)$$

В соответствии с моделью (15) выручка от реализации инновационного продукта по цене  $P$  за учетный период  $T$  составляет:

$$C_T = P * T * dae^{b-dt}(1 + e^{b-dt})^{-2}, \quad (16)$$

В таком случае, дисконтированный денежный поток, который производит инновация за N интервалов времени T, с учетом значения коэффициента дисконтирования r составляет:

$$C = \sum_{j=1}^N \frac{PTdae^{b-dtj}}{(1+e^{b-dtj})^2(1+r)^j}, \quad (17)$$

В представленной выше модели генерации денежного потока (17) j-номер учетного интервала времени [43]. Представленная модель позволяет точно оценивать эффект от коммерциализации инновации.

Отметим, что такая модель более адекватна в случае с несимметричностью фаз роста распространения инноваций и вытеснения их из коммерческого использования. Модель описывает один из важных эффектов инновационной деятельности – генерируемый инновациями денежный поток. Разновременность реализации проектов в данном случае учитывается с помощью процедуры дисконтирования.

Охарактеризовать явление замещения, а, точнее, наглядно его представить можно с помощью рисунка 29, изображенного ниже:

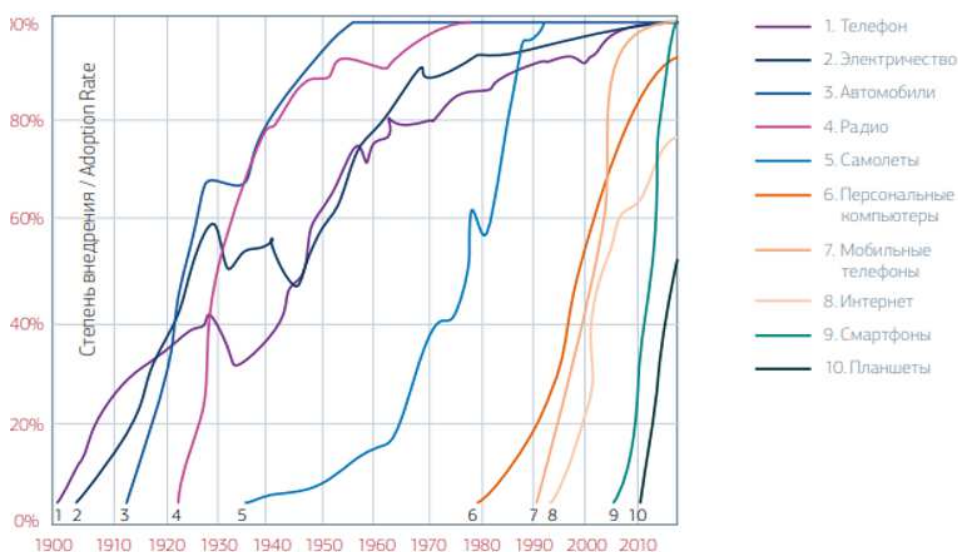


Рисунок 33 – Диффузия потребительских технологий за последние 110 лет [33]

Стоит заметить, что у всех вышеуказанных технологий присутствует элемент спада продаж, что является характерным для процесса замещения технологий. В связи с этим, следующим шагом послужило описание процесса замещения технологий с помощью кривых Перла-Рида при помощи уравнения, аналогичного уравнению 3, за исключением разности между функциями (18):

$$y = \frac{a_1}{1+\exp(b_1+d_1t)} - \frac{a_2}{1+\exp(b_2+d_2t)} - \dots - \frac{a_n}{1+\exp(b_n+d_nt)}, \quad (18)$$

где  $a_1, a_2, a_n$  – максимальные значения объемов продаж на рынке;

$b_1, b_2, b_n$  – временной лаг выхода технологий на рынок;

$d_1, d_2, d_n$  – коэффициенты, характеризующие скорость распространения технологий.

Используя данное уравнение, была построена приближенная модель распространения телефонов в период с 1910 по 2000 год, представленная на рисунке 30:

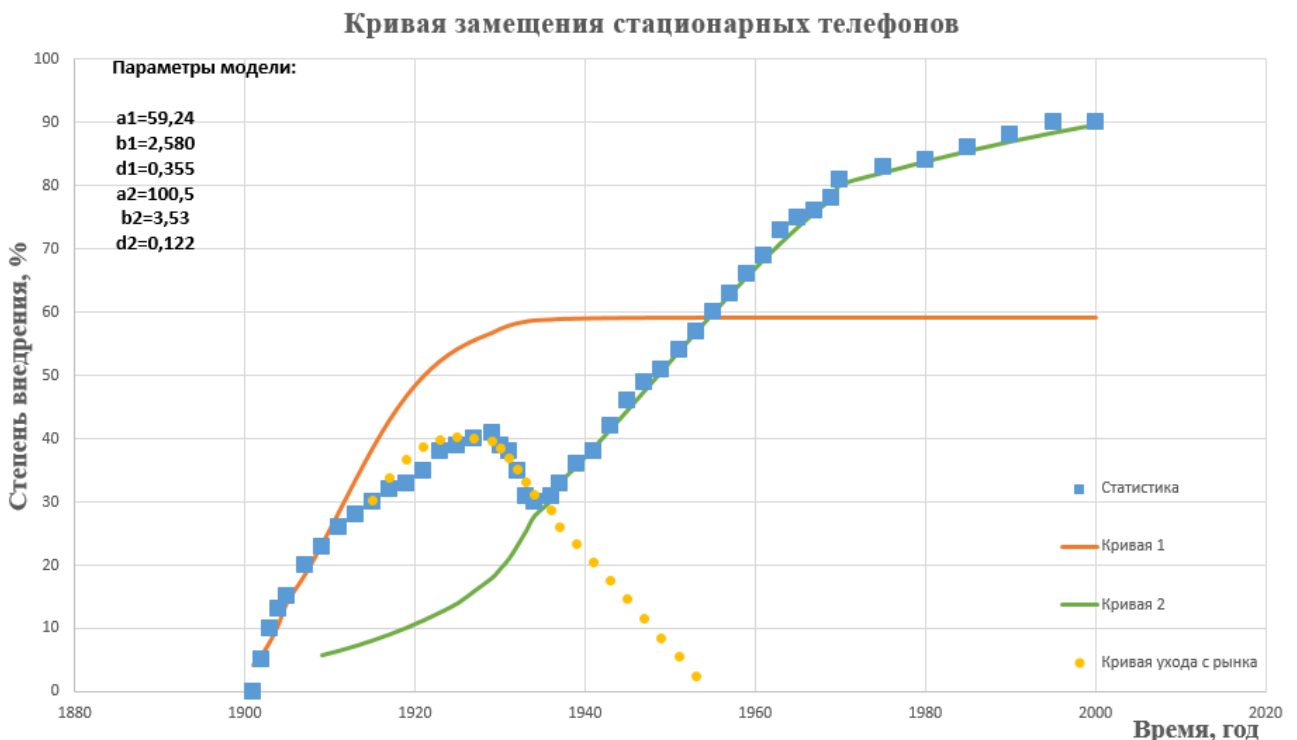


Рисунок 34 – Моделирование процесса замещения технологий

Опираясь на графики кривых, показанных на рисунке 33, была построена приближенная модель потребления электричества, изображенная на рисунке 35:

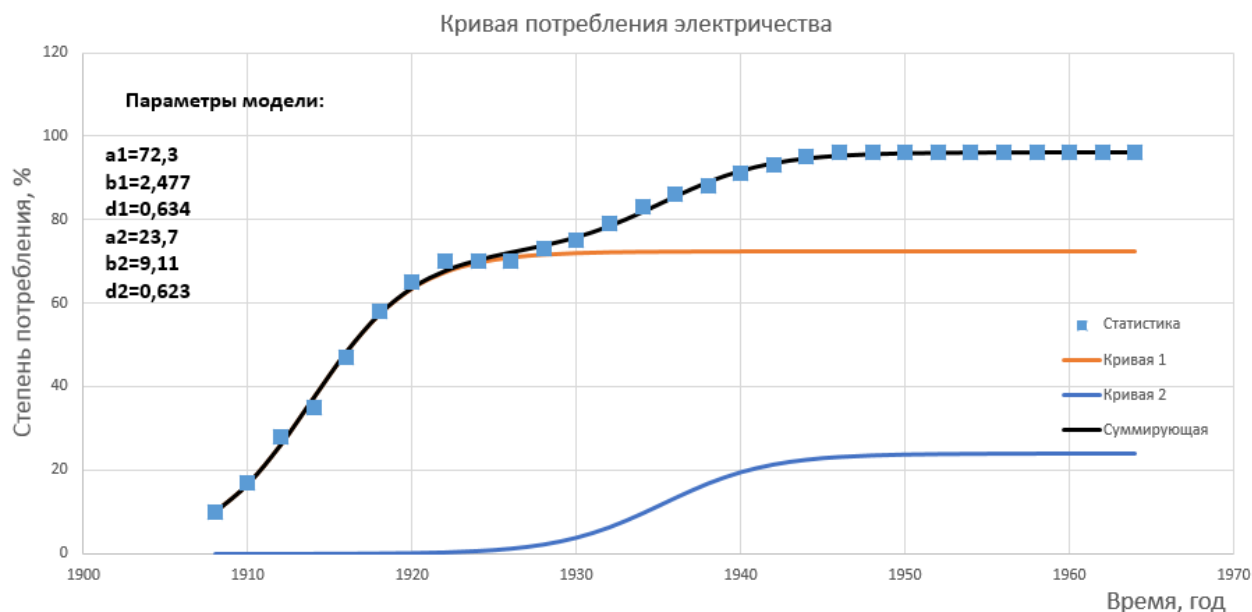


Рисунок 35 – Кривая потребления электричества

График потребления электричества по своему поведению похож на рисунок, касающийся консоли SonyPlayStation 2. Изначально распространение технологии происходило быстрее, на что указывает коэффициент скорости распространения  $d1$ . Происходящий в дальнейшем застой, который пришелся на 1920-1925 годы, можно охарактеризовать как первую границу насыщения технологией, после которого электричество стало использоваться со скоростью, чуть меньшей изначальной. Такой вывод позволяет сделать значение коэффициента диффузии  $d2$ , которое незначительно меньше  $d1$ .

Таким образом, в данном пункте было устранено упущение относительно низкого качества аппроксимации и, как следствие, значительного отклонения модели от реальных данных продаж. Значение среднеквадратичного отклонения у продукта SonyPlayStation 2 скорректировано до уровня в 97 единиц. Применен метод каскада логистических кривых для моделирования процесса ухода с рынка.

### **3.2 Моделирование процесса распространения продукта с помощью программного средства AnyLogic**

Основной моделью, которая описывает процесс распространения продукта, является, описанная во второй главе данной работы, модель Ф.Басса, основанная на том, что распространение продукта зависит от двух составляющих: эффекта межличностной коммуникации, который по-другому называется эффектом «сарафанного радио» и мощности рекламных кампаний, под влиянием которых потенциальные пользователи узнают о продукте.

Учитывая, что результатом построения базовой модели распространения продукта по Бассу является симметричная S-образная кривая с одним перегибом, изображенная на рисунке 10, необходимо модифицировать модель, поскольку в реальной жизни почти не встречается ситуаций, описывающих процесс диффузии с при помощи абсолютно симметричной кривой.

Изначально необходимо внести в модель возможность для формирования повторных покупок, поскольку классическая модель Басса не учитывает того факта, что у каждого продукта есть определенный срок использования, после истечения которого необходимо его повторное приобретение. В результате этого пользователи, купившие продукт (Adopters) снова становятся потенциальными пользователями (PotentialAdopters).

Реализовать такое поведение в модели возможно при помощи добавления еще одного потока, под названием DiscardRate и параметра AverageProductLife, характеризующего среднее время жизни продукта. Заметим, что в модели количество пользователей, возвращающихся после истечения среднего времени жизни продукта рассчитывается как отношение количества уже купивших продукт ко среднему времени жизни товара.

Заметим, что для построения корректной модели необходимо ввести в модель параметр, отвечающий за степень использования технологии на рынке. В данном случае этот параметр называется Technology.

Учитывая, что логистическая кривая распространения продукта может включать в себя процесс замещения, необходимо добавить в модель второй продукт.

Таким образом, на рисунке 35 изображена модель, отражающая процесс распространения двух продуктов, построенная на основе модели Ф.Басса

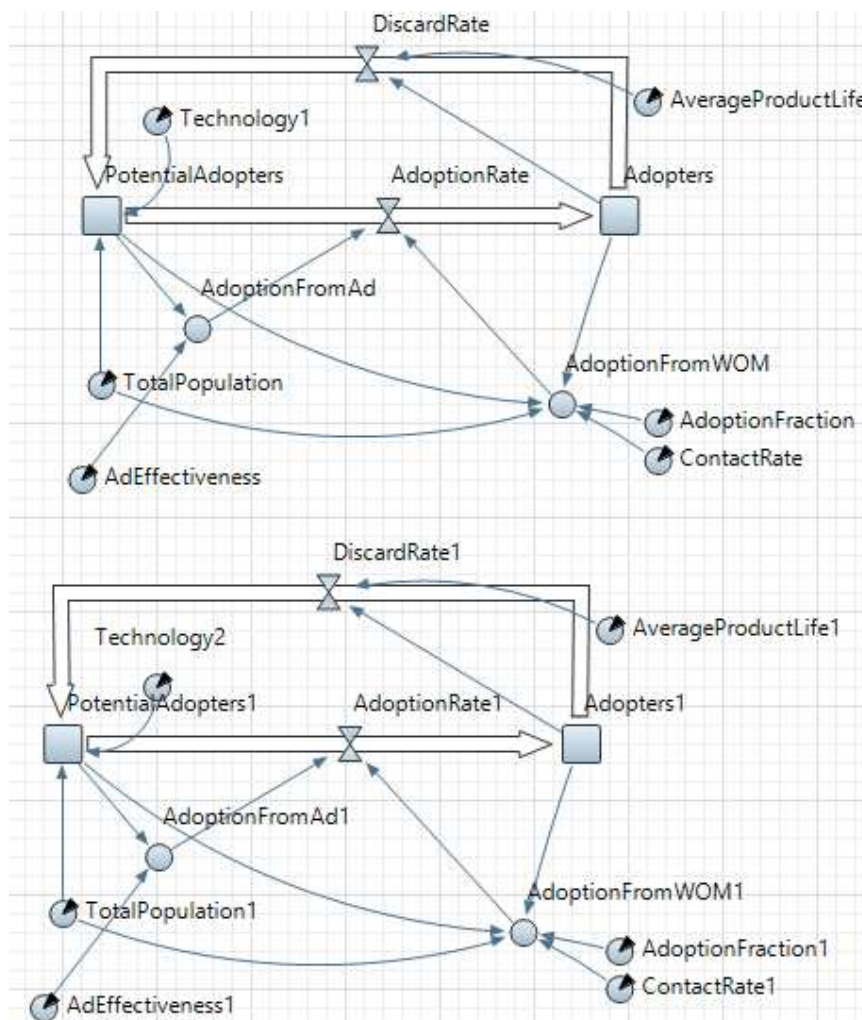


Рисунок 36 – Модель распространения продуктов в AnyLogic

Ниже, в таблице 9 приведены характеристики и численные величины для каждого из параметров модели:

Таблица 9 – Описание параметров модели

Параметр	Параметр в модели	Численное значение
Степень использования технологии	Technology1	0,3
	Technology2	0,6
Объем рынка	TotalPopulation	1000000
	TotalPopulation1	1000000



## Окончание таблицы 9

Параметр	Параметр в модели	Численное значение
Средняя продолжительность жизни продукта	AverageProductLife	2
	AverageProductLife1	2
Частота контактов потребителей	ContactRate	200
	ContactRate1	100
Сила убеждения	AdoptionFraction	0.023
	AdoptionFraction1	0.011
Сила рекламных компаний	AdEffectiveness	0.029
	AdEffectiveness1	0.015

Добавление повторных покупок позволило смоделировать ситуацию, при которой число потенциальных потребителей не уменьшается до нуля с течением времени, а постоянно пополняется за счет повторных покупок продукта.

В таком случае интенсивность приобретения продукта не остается величиной постоянно растущей, а носит меняющийся характер: падает, растет и, в конечном итоге, принимает значение, которое напрямую зависит от срока жизни продукта и параметров, определяющих интенсивность потока продаж.

Более того, в модели предусмотрена ситуация, когда часть объема рынка, выраженного переменной PotentialAdopter, всегда будет оставаться в числе потенциальных покупателей и не перейдет в разряд купивших. Такой подход к моделированию делает модель приближенной к реальности.

Ниже на рисунке 37 изображен график, отражающий логистическую кривую числа пользователей технологии, а на рисунке 38 описан процесс динамики продаж:

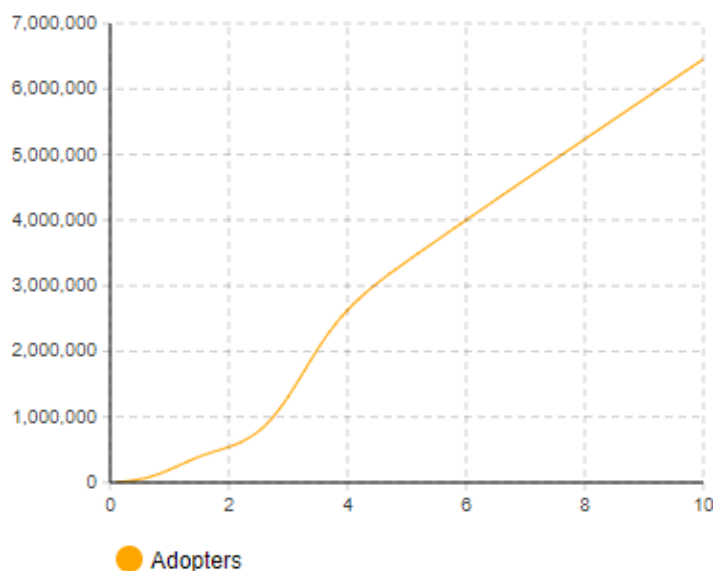


Рисунок 37 – Количество пользователей продукта

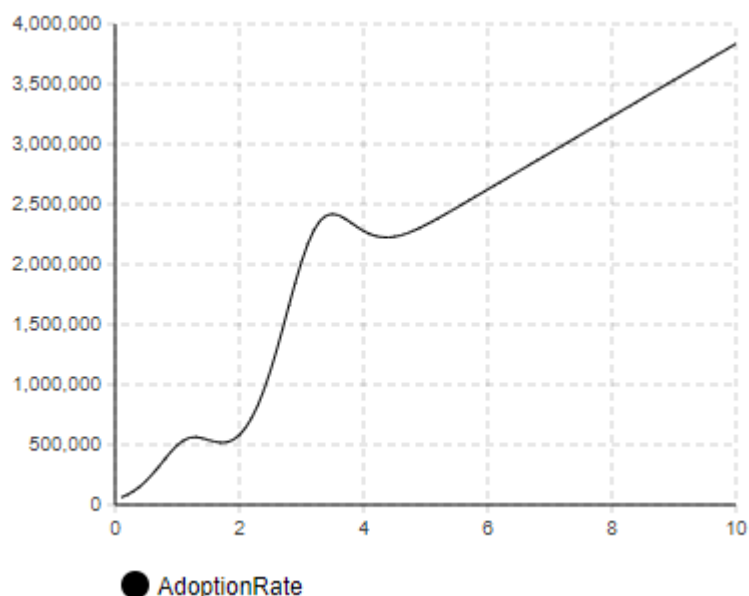


Рисунок 38 – Описание динамики продаж

Заметим, что общий уровень, к которому стремится кривая, находится на отметке в 3,8 млн пользователей, в то время как общий совокупный объем рынков – 2 млн. Такое расхождение объясняется как раз-таки возможностью пользователей производить повторные покупки, которые в данном случае совершил практически каждый из потенциальных покупателей.

На рисунке 39, расположенном ниже, приведен примеры изменения кривизны логистической кривой, путем варьирования параметров:

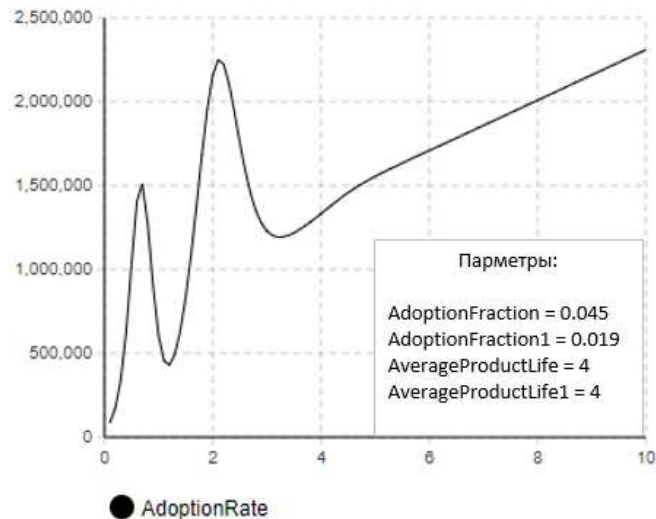


Рисунок 39 – Описание динамики продаж с представленными значениями параметров

Динамика продаж в данном случае изменилась, поскольку был увеличен период использования продукта и увеличено значение коэффициента, отвечающего за силу убеждения потенциальных пользователей совершить покупку.

За счет увеличения параметра AdoptionFraction для обеих технологий, наблюдается ускоренный рост продаж, после чего наступает фаза падения спроса и снова ускоренный рост.

Таким образом, с помощью усовершенствованной модели Басса были получены графики логистических кривых с различным поведением, отражающим рост и спады продаж.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы были проанализированы существующие модели и методы распространения технологий. Анализ показал, что наиболее достоверным и, сравнительно новым, является эконофизический подход, на базе которого и производилось дальнейшее исследование.

В рамках решения задачи рассмотрения существующих моделей, использующихся для описания процесса распространения технологий, были рассмотрены следующие модели:

- а) пространственные;
- б) рассеивания;
- в) сетевые;
- г) теоретико-игровые;
- д) клеточных автоматов.

Кроме того, были исследованы стандартные модели распространения продукта по Ф.Бассу, построены и проанализированы классическая модель Басса и модель распространения продукта на основе популяции агентов, которая в данной работе получила численность в 1000 человек.

Установлено, что применение логистической S-образной кривой для моделирования распространения продукта приводит к адекватным результатам.

Следующим шагом стало построение моделей распространения технологий, основанное на статистических данных продаж линейки продуктов SonyPlayStation, состоящая из 2,3 и 4 поколений.

В ходе исследования установлено:

а) коэффициенты, свидетельствующие о наибольшей скорости распространения, получены у продукта SonyPlayStation 2, следующей по темпам распространения выступает SonyPlayStation 3 и на последнем месте SonyPlayStation 4;

б) для наибольшей точности аппроксимации следует применять метод каскада логистических кривых, в результате использования которого удалось снизить

величину среднеквадратичного отклонения для продукта SonyPlayStation 2 более чем в 5 раз.

Учитывая, что в действительности форма логистической кривой почти не бывает симметричной, с помощью каскада логистических функций была построена модель распространения, учитывающая эффект «ухода с рынка», характеризующаяся спадом продаж.

Используя программный продукт AnyLogic 8.5.2 была построена модель распространения двух технологий, в основе которой лежит модель распространения продукта по Ф.Бассу.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации: нац. проект Российской Федерации от 01 декабря 2016 года №642 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/71451998/>
2. Стратегия инновационного развития Российской Федерации: нац. проект Российской Федерации от 08 декабря 2011 года №2227-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/71451998/>
3. Цифровая экономика РФ [Электронный ресурс]: сайт Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации .- Режим доступа: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/>
4. Дубинина, М. Г. Исследование современных подходов к моделированию процессов распространения технологий в наукоемких отраслях / М. Г. Дубинина // Труды ИСА РАН. – 2015. – № 3. – С. 43–54.
5. Варшавский, А. Е. Наукоемкие отрасли и высокие технологии: определение, показатели, техническая политика, удельный вес в структуре экономики России/ А. Е. Варшавский // Экономическая наука современной России. – 2000. – № 2. – С. 61–83.
6. Диффузия веществ в физических средах [Электронный ресурс]: сайт электронной энциклопедии - Википедии .-Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%84%D1%84%D1%83%D0%B7%D0%B8%D1%8F>.
7. Диффузия [Электронный ресурс]: сайт о физических явлениях Phscs.- Режим доступа: <https://phscs.ru/physics7/diffusion>
8. Гусятников, В.Н. Стандартизация и разработка программных систем/В.Н. Гусятников, А.И. Безруков. – Москва: Финанс, 2015. – 201 С.
9. Фирсова, Н. Ю. Предвестник исследований диффузии инноваций Габриель Тард: «Общество – это подражание» / Н. Ю. Фирсова // Социология власти – 2012. – № 6-7. – С. 298–313.

10. Аврамчиков, В. М. Инструменты управления распространением инноваций в региональной социально-экономической системе: дис. ... д-ра экон. наук : 08.00.05 / Аврамчиков Вячеслав Михайлович. – Красноярск, 2013. – 178 с.
11. Яковец, Ю.В. Эпохальные инновации 21 века. / Ю.В. Яковец. - Москва. : ЗАО Издательство «Экономика», 2004. - 437 с.
12. Hagerstrand, T. Innovation diffusion as a spatial process / T. Hagerstrand.- New-York.: The Free Press, 1967. – 334 p.
13. Киселева, В. В. Диффузия новых технологий / В. В. Киселева, А. Г. Фонтанов // Инновации. – 2013. – № 7(177). – С. 9–14.
14. Rogers, E. Diffusion of innovations / E. Rogers. – New-York.: The Free Press, 2010 - 300 p.
15. Цветкова, Н. А. Модели и метод управления процессом распространения инноваций с учетом их взаимного влияния в социально-экономических системах: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.10 / Цветкова Надежда Андреевна. – Санкт-Петербург, 2018. – 155 с
16. Цветкова, Н.А. Модели распространения инноваций: от описания к управлению инновационными процессами / Н.А. Цветкова, И.Л. Туккель // Инновации. – 2017. – №11. – С. 106-111.
17. Авсянников, Н.М. Инновационный менеджмент / Н.М. Авсянников. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: РУДН, 2011. – 189 С.
18. Rogers, E. M. Diffusion of innovations [Electronic resource] / E. M. Rogers. – 4th ed. – N. Y. : The Free Press, 1995. – Режим доступа: [www.glossary.ru](http://www.glossary.ru)
19. Шмидт, Ю. Д. О некоторых подходах к моделированию пространственной диффузии инноваций / Ю. Д. Шмидт, О. Н. Лободина//Пространственная экономика. – 2015. – № 2. – С. 103-115.
20. Береговская, Т. А. Экономико-математическая модель входящего денежного потока от инновационного продукта / Т. А. Береговская // Известия Академии упр-ния: теория, стратегии, инновации. – 2012. – №4 (11). – С. 46-50.



21. Аврамчиков, В. М. Интерференция волн диффузии инноваций / В. М. Аврамчиков, А. Н. Антамошкин // Экономика и менеджмент систем управления. – 2013. – № 2 (8). – С. 4-8.
22. Bass, F. M. Why the Bass model fits without decision variables / F. M. Bass, T. V. Krishnan, D. C. Jain // Marketing Science. – 1994. – Vol. 13. – № 3. – Pp. 204-223.
23. Клеточные автоматы [Электронный ресурс]: портал slideserve.-Режим доступа: <https://www.slideserve.com/sani/epidemics-in-social-networks>
24. Granovetter, M. Threshold models of collective behavior / M. Granovetter // American Journal of Sociology. – №83(6). – 1978. – Pp. 1420-1443.
25. Morris, S. Contagion / S. Morris // The Review of Economic Studies. -2000. - Vol. 67, №1. – Pp. 57-78.
26. Valente, T. Social network thresholds in the diffusion of innovations / T. Valente // Social Networks. – 1996. – Vol. 18. – Pp. 69-89.
27. Kempe, D. Maximizing the Spread of Influence through a Social Networks / D. Kempe, J. Kleinberg, E. Tardos // Proceedings of the 9th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – Washington, D. C. – 2003. –Pp. 137-146.
28. Goldenberg, J. Talk of the network: a complex systems look at the underlying process of word- of-mouth / J. Goldenberg, B. Libai, E. Muller // Marketing Letters. –2001. – 12(3). – Pp. 209-221.
29. Guseo, R. Modelling a dynamic market potential: A class of automata networks for diffusion of innovations / R. Guseo, M. Guidolin // Technological Forecasting and Social Change. – 2009. – Т. 76. – №. 6. – Pp. 806-820.
30. Fennell, P. G. Limitations of discrete-time approaches to continuous-time contagion dynamics / P. G. Fennell, S. Melnik, J. P. Gleeson // Physical Review E. –2016. – Vol. 94. – №. 5.
31. Laciana, C. E. Ising-like agent-based technology diffusion model: adoption patterns vs. seeding strategies / Carlos E. Laciana, S. L. Rovere // Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 390. – Pp. 1139-1149.

32. Benhabib, J. The growth dynamics of innovation, diffusion, and the technology frontier / J. Benhabib, J. Perla, C. Tonetti // Report, New York University. – 2016.

33. О распространении технологий [Электронный ресурс]: официальный сайт Московской школы управления СКОЛКОВО –Режим доступа: [http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11\\_november/17/tsifrovoe\\_proizvodstvo\\_112017.pdf](http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf)

34. Трачук, А. В. Распространения инструментов электронного бизнеса в России: результат эмпирического исследования / А. В. Трачук, Н. В. Линдер // Российский журнал менеджмента. – 2017. – № 15 (1). – С. 27-50.

35. Хавинсон, М. Ю. Эконофизика: от анализа финансов до судьбы человечества / М.Ю.Хавинсон // Пространственная экономика. – 2015. – № 1. – С. 144-166.

36. Романовский, М. Ю. Введение в эконофизику: статистические и динамические модели / М.Ю.Романовский // Институт компьютерных исследований. – 2015. 340с.

37. Cockshott, W.P. Classical Econophysics/W.P.Cockshott.- Chicago.: Routledge, 2009 - 364 p.

38. Mantenga, R.N. Introduction to Econophysics: Correlations and Complexity in Finance/ R.N.Mantenga. - London.: Cambridge University Press, 2000-147 p.

39. Чернавский, Д.С. Об эконофизике и ее месте в современной теоретической экономике / Д.С. Чернавский// Успехи физических наук.- 2011. -№ 7.- С. 767–773.

40. Маслобоев, А. В. Имитационное моделирование развития инновационных процессов на основе метода системной динамики и агентных технологий / А. В. Маслобоев // Качество, инновации, образование. – 2017. – № 9. – С. 34–42.

41. Вендров, А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем / А.М. Вендров. – Москва: Финанс, 2015. – 343 С.

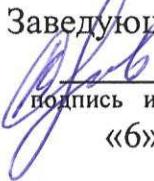
42. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине математическое моделирование: учебное пособие/ Замятин Н. В. – Томск :Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2017. – 61 с

43. Минаков, В. Ф. Обобщенная экономико-математическая модель распространения и замещения инноваций / В. Ф. Минаков, Т.Е. Минакова // Экономико-математическое моделирование. – 2012. – № 47. – С. 49–54

44. Bass, F. A new product growth model for consumer durables/ F.Bass// ManagementScience.-1969. -№15.-P. 215-227

45. Рекорд продаж консоли SonyPlayStation 2 [Электронный ресурс]: Официальный издания DGL.ru. –Режим доступа: [https://www.dgl.ru/news/nazvanavtoraya-po-populyarnosti-igrovaya-pristavka-v-istorii-no-rekord-sony-playstation-2-vse-ravno-ne-pobit\\_16449.html](https://www.dgl.ru/news/nazvanavtoraya-po-populyarnosti-igrovaya-pristavka-v-istorii-no-rekord-sony-playstation-2-vse-ravno-ne-pobit_16449.html)

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт инженерной физики и радиоэлектроники  
Кафедра экспериментальной физики и инновационных технологий




УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
  
В.А.Орлов  
подпись инициалы, фамилия  
«6» июля 2020 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Моделирование процесса диффузии инноваций в сфере IT-технологий

27.04.05 – Инноватика

27.04.05.01 – Управление инновациями

Научный руководитель	 _____	<u>доцент, канд. физ. – мат. наук</u>	<u>А. К. Москалев</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	 _____		<u>С. В. Богоченко</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	 _____	<u>профессор, д-р техн. наук</u>	<u>В.А.Охорзин</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2020

Нормоконтроль  
10.07.2020  
