

*На правах рукописи*



**Дубинина Марина Геннадьевна**

**ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДИФФУЗИИ  
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 5.2.2.

«Математические, статистические и инструментальные методы в  
экономике» (экономические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата экономических наук

Москва 2024

Работа выполнена в лаборатории моделирования экономической стабильности Федерального государственного бюджетного учреждения науки Центрального экономико-математического института Российской академии наук (ЦЭМИ РАН)

<b>Научный руководитель:</b>	<b>Варшавский Леонид Евгеньевич</b> , доктор экономических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Центрального экономико-математического института Российской академии наук
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Лугачев Михаил Иванович</b> , доктор экономических наук, профессор, научный руководитель кафедры «Экономическая информатика» экономического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ им. М.В. Ломоносова); <b>Архипова Марина Юрьевна</b> , доктор экономических наук, профессор, ведущий научный сотрудник факультета экономических наук (департамент статистики и анализа данных) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Научно-исследовательского университета Высшая школа экономики (НИУ ВШЭ)
<b>Ведущая организация:</b>	Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования "Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации"

Защита состоится «13» мая 2024 г. в 15.00 на заседании Диссертационного совета 24.1.266.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Центральном экономико-математическом институте Российской академии наук по адресу: 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47, ауд. 522, 524.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУН ЦЭМИ РАН и на сайте ФГБУН ЦЭМИ РАН: <http://www.cemi.rssi.ru/>

Сведения о защите диссертации и автореферат диссертации размещены на сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak.minobrnauki.gov.ru/>

Автореферат разослан «\_\_\_» марта 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 24.1.266.01,  
кандидат экономических наук



А. И. Ставчиков

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Бурное развитие информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), происходящее в последние десятилетия, привело к серьёзным преобразованиям в экономике. ИКТ являются основой автоматизации производства, которая позволяет снизить операционные издержки и повысить производительность труда. ИКТ являются также основой цифровой трансформации, которая расширяет возможности граждан во влиянии на общественное развитие. Однако слабо контролируемое распространение ИКТ может привести и к негативным последствиям в виде роста киберпреступности, сокращения занятости, вредного воздействия электромагнитного излучения на здоровье людей.

Для использования всех преимуществ цифровой трансформации и снижения рисков ее негативных последствий становится актуальной разработка стратегии развития цифровой экономики на государственном уровне, которая должна быть направлена на расширение внедрения цифровых технологий не только в экономике, но и во взаимодействии между гражданами, бизнесом и государством.

Важность развития информационных технологий для Российской Федерации подчеркнута в принятой в июле 2017 г. программе «Цифровая экономика России». В ней обосновывается ключевая роль ИКТ в росте валового внутреннего продукта (ВВП) страны, в повышении благосостояния и качества жизни граждан России, в повышении конкурентоспособности страны на мировом рынке. В майском указе Президента России (от 07.05.2018) в качестве одной из важнейших задач для развития цифровой экономики ставится «создание устойчивой и безопасной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры высокоскоростной передачи, обработки и хранения больших объёмов данных, доступной для всех организаций и домохозяйств»<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Указ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» - 07.05.18.

URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/57425> (дата обращения - 26.06.18).

Пандемия коронавируса, охватившая многие страны мира в начале 2020 г., еще в большей степени выявила важность развития ИКТ, которые смогли обеспечить связь между людьми, своевременное их информирование о мерах безопасности, позволили продолжать удаленную работу и функционирование инфраструктуры. Цифровые технологии стали важным средством для повышения устойчивости экономики и общества.

В Указе Президента Российской Федерации от 21.07.2020 была объявлена Национальная цель «Цифровая трансформация», согласно которой к 2030 г. ставилась задача достигнуть «цифровой зрелости» ключевых отраслей экономики, увеличить в 4 раза по сравнению с 2019 г. вложения в отечественные решения в сфере ИКТ, увеличить долю массовых социально значимых услуг, доступных в электронном виде, до 95%.<sup>2</sup>

Все это делает особо актуальным исследование проблем развития ИКТ. в частности, прогнозирование распространения новых информационных технологий в России и за рубежом, выявление ключевых факторов распространения ИКТ, количественную оценку их воздействия на скорость диффузии, на потенциал рынка новых технологий, а также анализ эффективности затрат на ИКТ на повышение уровня «цифровизации» экономики федеральных округов и отраслей экономики России.

**Теоретические и методологические основы исследования, степень разработанности проблемы.** Основу исследований по технологическому прогнозированию составляют труды Мартино Дж. (Martino J.P.), Сахала Д. (Sahal D.), Варшавского А.Е. и др. В этих работах предполагается, что технологические системы развиваются по своим законам (законам «повышения идеальности»), последовательно преодолевая этапы своего жизненного цикла, и эти этапы описываются кривыми развития показателей эффективности данных технологических систем. Другое направление исследований связано с распространением новых технологий на рынке (работы Роджерса Э. (Rogers E.),

---

<sup>2</sup> Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474 О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года

Гриликеса Ц. (Griliches Z.), Мэнсфилда Э. (Mansfield E.), Басса Ф. (Bass F.), Махайана В. (Mahajan V.), Мюллера Е. (Muller E.), Мида Н. (Meade N.), Ислама Т. (Islam T.) и др.). В этих исследованиях изучаются каналы проникновения на рынок новых технологий, процессов или товаров среди членов социальных систем.

Теоретические аспекты диффузии инноваций на современном этапе, процессы трансфера технологий и их коммерциализации рассматриваются в работах Голиченко О.Г., Секерина В.Д., Тихомировой О.Г., Айерста Ст. (Ayerst St.), Стоки Н. (Stokey N.), Палма А. (Palm A.) и других авторов.

Проблемы, связанные с развитием ИКТ, исследуются в работах Бабурина В.Л., Варшавского Л.Е., Земцова С.П., Делицына Л.Л., Щепиной И.Н., Фенга Г.Ч. (Feng G.C.), Кима С. (Kim S.H.), Ли С. (Lee S.), Ли Д. (Lee D.), Лина (Lin M.-S.) Турка Т. (Turk T.), Тркмана П. (Trkman P.), Золлы Дж. (Zolla G.A.) и других.

Различным аспектам развития цифровой экономики России и проблемам измерения ее влияния на экономическое развитие посвящены работы Айвазяна С.А., Афанасьева М.Ю., Кудрова А.В., Козырева А.Н., Лугачева М.И., Архиповой М.Ю., Сиротина В.П., Нуреева Р.М., Карапаева О.В., Клейнера Г.Б., Дементьева В.Е., Попова Д.В., Тинькова С.А. Региональные особенности инновационной деятельности рассматриваются в работах Лысенковой М.А., Никоновой М.А.

Используемые в диссертации варианты моделей, называемые в физических исследованиях моделями «реакция-диффузия» («reaction-diffusion» models), были введены Фишером Р. (Fisher R.A.), Колмогоровым А.Н., Петровским И.Г., Пискуновым Н.С. для описания процессов диффузии популяции генов в биологически активных средах. Свойства таких моделей изучались в работах Мюррея Дж. (Murray J.D.), Свирежева Ю.М., Нидхэма Д. (Nidjkamp P.) и др. Для описания различных социально-экономических процессов модели этого типа использовались в работах Полтеровича В.М., Хенкина Г.М., Кендлера А. (Kandler A.), Стила Дж. (Steele J.).

В отличие от приведенных выше работ в диссертации предлагается системный подход к анализу диффузии новых технологий (на примере ИКТ),

основанный на исследовании конкурирующих технологий и позволяющий с помощью модификаций традиционных моделей диффузии построить сценарии распространения ИКТ в зависимости от макроэкономических показателей для регионов и стран с разным уровнем доходов населения. С использованием пространственно-временных моделей получены оценки отставания разных стран и федеральных округов (ФО) России от «полюсов роста».

Инструментальной основой диссертационного исследования являются методы экономико-математического моделирования, эконометрического анализа. Анализ данных и моделирование проводились с помощью MS Excel, EViews, Statistica.

#### **Цели и задачи диссертационного исследования:**

Целью исследования является совершенствование моделирования диффузии новых технологий на примере распространения ИКТ в федеральных округах и отраслях экономики Российской Федерации, в отдельных странах и регионах с помощью динамических и пространственно-временных моделей, анализ факторов, влияющих на скорость и масштаб распространения ИКТ для обоснованной разработки прогнозов.

**Объектом исследования** являются отрасли экономики и федеральные округа Российской Федерации, регионы мира и группы стран, характеризующиеся разным уровнем экономического развития.

**Предметом исследования** - показатели распространения новых ИКТ, основные экономические показатели сектора ИКТ Российской Федерации, ее отраслей экономики и федеральных округов, а также развитых и развивающихся стран мира.

При этом поставлены следующие **задачи**:

разработать индекс «цифровизации» для отраслей и федеральных округов (ФО) Российской Федерации с целью исследования эффективности затрат на ИКТ, выявить взаимосвязь между затратами на ИКТ и индексом «цифровизации»;

разработать модификации существующих моделей диффузии с учетом макроэкономических факторов и технико-экономических характеристик новых технологий, построить на их основе прогноз распространения отдельных технологий на краткосрочный период;

определить факторы, влияющие на скорость и масштаб распространения новых информационных технологий, и произвести их количественную оценку;

исследовать свойства и обосновать возможность применения пространственно-временных моделей для описания диффузии ИКТ во времени и пространстве;

построить приближенное решение для пространственно-временной модели, в которой динамическая составляющая описывается нелинейной функцией, а в качестве «пространственной» характеристики процесса диффузии рассматриваются различные социально-экономические показатели стран и регионов;

с помощью построенного приближенного решения выявить ключевые факторы, влияющие на скорость и масштаб распространения ИКТ по ФО РФ, странам одного региона и странам с разным уровнем доходов населения.

### **Область исследования**

Настоящее исследование соответствует следующим разделам паспорта научной специальности 5.2.2. «Математические, статистические и инструментальные методы в экономике»:

2. Типы и виды экономико-математических и эконометрических моделей, методология их использования для анализа экономических процессов, объектов и систем.

3. Разработка и развитие математических и эконометрических моделей анализа экономических процессов (в т.ч. в исторической перспективе) и их прогнозирования.

**Информационную базу исследования** составляют материалы Росстата, («Российский статистический ежегодник», «Регионы России. Социально-

экономические показатели», выборочное федеральное статистическое наблюдение по вопросам использования населением информационных технологий и информационно-телекоммуникационных сетей, итоги федерального статистического наблюдения по ф. № 3-информ «Сведения об использовании информационных и коммуникационных технологий и производстве вычислительной техники, программного обеспечения и оказании услуг в этих сферах», мониторинг развития информационного общества в Российской Федерации), сборники НИУ ВШЭ в партнерстве с Минцифры России и Росстатом («Индикаторы цифровой экономики», «Цифровая экономика»), статистические базы данных Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), Европейского союза (Eurostat); отчеты Национального научного фонда США (NSF), базы данных Всемирного банка (World Bank), Конференции ООН по торговле и развитию (UNSTAD), Международного союза электросвязи (ITU), патентные данные Всемирной организации интеллектуальной собственности (WIPO).

### **Научная новизна результатов исследования**

1. Разработан мультипликативный комплексный показатель - индекс «цифровизации», который оценивает уровень распространения цифровых технологий в отраслях экономики и ФО России. Данный показатель, в отличие от уже существующих и направленных на исследование показателей распространения ИКТ для населения, характеризует распространение ИКТ в организациях за период 2003-2021 гг. и позволяет выделить группы ФО по отношению к среднероссийским показателям, оценить эффективность затрат на ИКТ в целом и отдельных статей этих затрат для роста индекса цифровизации.

2. Разработан ряд модификаций используемых на практике моделей диффузии инноваций. Эти модификации, в отличие от базовых моделей, учитывают влияние ряда макроэкономических факторов и технико-экономических показателей новых ИКТ, что позволяет разрабатывать сценарии



распространения технологий в зависимости от этих показателей для разных субъектов исследования.

3. Разработан комплексный подход к моделированию диффузии конкурирующих технологий, включающий ряд последовательных этапов: моделирование без учета и с учетом конкурирующих технологий, учет преимуществ одной технологии по сравнению с другими и степени удовлетворения потребностей пользователей, учет влияния сопутствующих и взаимодействующих технологий, учет зависимости распространения технологий от уровня экономического развития исследуемых субъектов. Этот подход, в отличие от существующих подходов, основанных на использовании базовых моделей диффузии, позволяет учитывать влияние как конкурирующих, так и сопутствующих и взаимодействующих технологий.

4. Разработана модель пространственно-временной диффузии ИКТ, основанная на использовании варианта модели «реакция-диффузия», применяемой в биологии, физике и социологии. В отличие от традиционно используемой для описания динамики процесса логистической функции, обосновано применение модели Басса для временной составляющей диффузии ИКТ, показано существование решения пространственно-временной модели в виде бегущей волны, на основе сингулярной теории возмущений получено приближенное решение для этой модели.

5. Полученное в диссертации приближенное решение пространственно-временной модели диффузии ИКТ было применено для исследования распространения интернета, широкополосного доступа в интернет, фиксированной и мобильной связи, облачных вычислений в ФО и отраслях экономики Российской Федерации, на примере стран одного региона, а также в группе стран с разным уровнем дохода населения, в зависимости от различных макроэкономических показателей, выступающих в качестве «пространственных» характеристик процесса диффузии. Получены оценки скорости волны для каждой технологии и каждой группы субъектов.

6. В отличие от экстраполяционных моделей, учитывающих только фактор времени, разработанная пространственно-временная модель позволила выявить макроэкономические показатели, в наибольшей степени влияющие на скорость и масштабы распространения ИКТ для исследуемых субъектов, сравнить скорости распространения различных технологий, а также оценить время, необходимое отстающим субъектам для достижения текущего уровня регионов-лидеров. По результатам моделирования с помощью построенных моделей диффузии цифровых технологий в организациях ФО России проведена оценка влияния доли затрат на ИКТ и на НИОКР в ВРП ФО на время отставания показателей распространения технологий в ФО от региона-лидера.

#### **Теоретическая и практическая значимость исследования.**

Теоретическая значимость исследования состоит в разработке подхода к анализу распространения ИКТ по отраслям экономики и ФО Российской Федерации на основе индекса их «цифровизации», в модификации моделей диффузии технологий с учетом их технико-экономических показателей, а также социально-экономических индикаторов развития субъектов исследования, в обосновании применимости пространственно-временных моделей диффузии для описания процессов распространения новых ИКТ, в выявлении основных факторов, влияющих на скорость и масштабы их распространения.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные в ней модели могут быть использованы при прогнозировании распространения ИКТ и других передовых технологий, а также при принятии решения о государственной поддержке их развития и распространения.

**Апробация результатов исследования.** Результаты диссертационного исследования были использованы в проекте РФФИ «Разработка методологии анализа и прогнозирования показателей развития и распространения передовых технологий на этапе цифровизации и четвертой промышленной революции» (20-010-00065 А), а также были представлены в качестве докладов на Международной

конференции «Математика. Компьютер. Образование» (г. Пущино: 2017, 2019, 2021 гг., Дубна: 2020, 2024 гг.).

**Публикации.** Основные положения и выводы по теме диссертационного исследования опубликованы в 23 печатных работах общим объемом 20,1 п. л. (вклад автора - 19,1 п. л.), из которых 10 статей общим объемом 10,9 п. л. (из них авторский вклад 10,3 п. л.) опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации основных результатов научных исследований.

**Структура и объем диссертационного исследования.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, состоящего из 167 российских и зарубежных источников, а также пяти приложений. Основной текст работы изложен на 171 странице, включает 59 таблиц и 25 рисунков.

## **II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

**1. *Для экономического анализа цифровой дифференциации ФО и отраслей экономики Российской Федерации разработан индекс «цифровизации», учитывающий степень распространения цифровых технологий на предприятиях и их влияние на экономическое развитие, а также влияние затрат на ИКТ в целом и их отдельных статей на рост индекса.***

В качестве показателя уровня «цифровизации» отраслей экономики и федеральных округов РФ в настоящей диссертации предлагается мультипликативный комплексный показатель  $D$ , характеризующий использование ИКТ организациями исследуемых отраслей и федеральных округов:

$$D=D_1*D_2*D_3*D_4,$$

где  $D_1$  - доля организаций, использующих интернет, в общем числе обследованных организаций;  $D_2$  - доля организаций, использующих персональные компьютеры, в общем числе обследованных организаций;  $D_3$  - доля организаций, использующих локальные вычислительные сети, в общем числе обследованных организаций;  $D_4$  -

доля организаций, имеющих веб-сайты в интернете, в общем числе обследованных организаций ФО, за период 2003-2021 гг. Мультипликативность индекса объясняется высокой положительной корреляцией отдельных показателей, используемых в нем.

Такой показатель характеризует основные технические возможности организаций ФО и отраслей экономики Российской Федерации по использованию ИКТ в своей хозяйственной деятельности, в том числе, для ведения финансовых операций, электронной коммерции, повышения уровня квалификации своих работников, и позволяет проследить динамику «цифровизации» ФО с точки зрения использования организациями и бизнесом преимуществ ИКТ.

В соответствии с динамикой индекса «цифровизации» за 2003-2020 гг. были выделены 3 группы ФО по отношению к среднероссийскому показателю: первую группу составили ЦФО, СЗФО и УФО с индексом выше среднероссийского, вторую – ПФО с индексом, почти совпадающим со среднероссийским, третью – ЮФО, СКФО, СФО и ДВФО с показателем ниже среднероссийского.

Группа 1 (индекс цифровизации в 2019 г. составлял 0,312) характеризуется самой высокой долей занятых в экономике, самыми высокими среднедушевыми денежными доходами населения и заработной платой, самой высокой долей затрат на НИОКР и ИКТ в ВРП.

Группа 2 (0,297), занимая по всем индексам развития цифровой экономики второе место, в 2019 г. имела самую высокую долю затрат на инновации в ВРП, самое большое количество используемых передовых производственных технологий в расчете на 1 тыс. занятых в экономике, но самые низкие из трех групп среднедушевые денежные доходы населения и среднюю заработную плату.

Группа 3 (0,227) по всем другим индексам цифрового развития (индекс готовности регионов к информационному обществу, «Цифровая Россия» и др.) в среднем отстает от групп 1 и 2.

Проведенный анализ показал, что прирост индекса «цифровизации» за 2003-2020 гг. для Российской Федерации положительно связан с приростом затрат

организаций на ИКТ в целом, а также на приобретение вычислительной техники и оргтехники и на оплату услуг электросвязи.

**2. Разработаны модификации традиционных динамических моделей диффузии, с помощью которых построены сценарии распространения ИКТ в странах с разным уровнем доходов населения.**

В диссертации предложены модификации логистической модели и модели Гомпертца. При модификации логистической кривой вводится переменный верхний предел распространения исследуемой технологии  $L \cdot x(t)$ :

$$F(t) = L \frac{x(t)}{1 + b e^{-k(t-1989)}}, \quad (1)$$

где  $F(t)$  – количество пользователей интернета в расчете на 1 человека,  $L$ ,  $b$ ,  $k$  – параметры логистической модели,  $t$  – год;  $x(t)$  – социально-экономический индикатор, в качестве которого рассматривались:

- а) логарифм ВВП на душу населения в постоянных ценах 2017 г.;
- б) логарифм прямых иностранных инвестиций;
- в) плотность населения;
- г) доля городских жителей в населении страны;
- д) доля экспорта высокотехнологичной продукции;
- е) доля безработных в стране.

На основе вариантов этой модифицированной модели были оценены параметры уравнения диффузии интернета по группам стран с разным уровнем доходов населения. Для стран с высоким уровнем доходов населения наилучшая зависимость (с наибольшим коэффициентом детерминации  $R^2$  и наименьшим значением суммы квадратов ошибок) была получена для показателя плотности населения. Для стран со средними доходами, с доходами выше и ниже среднего наилучшее приближение было получено для показателя уровня безработицы в стране, для стран с низким уровнем дохода – для логарифма ВВП на душу населения. Предложенная модификация логистического уравнения диффузии позволяет не только улучшить качество приближения на ретроспективе, но и выявить факторы, в наибольшей степени влияющие на распространение

технологии. Рассматривая возможные изменения этих факторов в будущем, можно строить прогнозы, соответствующие различным сценариям изменения показателей.

В частности, для стран с низким уровнем доходов базовая логистическая модель, построенная по данным World Bank за 1994-2020 гг., дает прогноз распространения интернета к 2030 г. до уровня 27,1%, тогда как учет постоянства логарифма ВВП на душу населения на уровне 2015-2021 гг. повышает прогноз до 42,3%, а предположение о возможном линейном росте логарифма ВВП на душу населения в ценах 2017 г. увеличивает этот прогноз до 54,2%. Данные Международного союза электросвязи за 2021-2023 гг. наиболее близки к сценарию 2.

Модификация модели Гомпертца также включает переменный верхний предел распространения технологии, но предполагается, что он зависит от технико-экономических показателей исследуемой технологии. С помощью модифицированной модели была исследована диффузия фиксированного широкополосного доступа в интернет (ФШДИ) для стран разных регионов мира. Модель имеет вид:

$$\frac{dF(t)}{dt} = kF(t) \ln \left( \frac{\alpha P(t)^{a_1} S(t)^{a_2} G(t)^{a_3}}{F(t)} \right),$$

где  $F(t)$  – число пользователей ФШДИ на 100 человек населения в стране в момент времени  $t$ ,  $P(t)$  – средняя месячная стоимость ФШДИ по ППС,  $S(t)$  – средняя скорость скачивания информации из интернета по технологиям ФШДИ,  $G(t)$  – валовый национальный доход на душу населения в млн. долл. в текущих ценах,  $\alpha$  и  $k$  – параметры кривой,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  – эластичности по технико-экономическим показателям.

В результате исследования выявлена значимая отрицательная эластичность количества пользователей ФШДИ по стоимости абонентской платы (кроме Японии и Южной Кореи), положительная эластичность по скорости скачивания из интернета и по валовому национальному доходу на душу населения.

Наиболее высокая отрицательная эластичность ежемесячной абонентской платы получена для США и Канады (-0,23); скорость загрузки оказывает наибольший эффект на рост количества пользователей ФШДИ в азиатских и европейских странах (эластичность 0,14 и 0,12 соответственно), а влияние роста доходов на душу населения наиболее значительно в североамериканских (2,25).

***3. Предложен подход к анализу и прогнозированию распространения новых ИКТ с учетом сопутствующих и конкурирующих технологий, а также с учетом патентного анализа.***

Этот подход включает следующие последовательные этапы:

анализ распространения технологий с учетом и без учета взаимного влияния;

анализ характера взаимодействия технологий с помощью модифицированных моделей конкуренции (с учетом уровня развития сопутствующих технологий, с учетом патентной деятельности);

анализ факторов, оказывающих влияние на скорость распространения технологий, с помощью эконометрических моделей;

анализ патентной активности как по данной технологии, так и по сопутствующим технологиям.

Разработанный подход был применен для анализа конкуренции фиксированного и мобильного подключения к интернету, поколений технологий мобильной связи, распространения облачных вычислений.

При моделировании конкуренции фиксированного и мобильного широкополосного доступа в интернет выделены следующие технологические факторы, определяющие рыночный потенциал этих технологий: соотношение цен на их на установку, тарифных планов и скоростей передачи данных.

С помощью системы эконометрических уравнений выявлена значимая положительная эластичность количества пользователей ФШДИ по средней скорости скачивания данных (0,050), по ВВП на душу населения (0,077); значимая отрицательная эластичность количества пользователей ФШДИ по доле

абонентской платы за него в ВВП на душу населения по ППС (-0,079) и по количеству пользователей мобильного доступа в интернет (-0,043).

Так как в большинстве стран ОЭСР скорость загрузки фиксированного доступа выше скорости мобильного, то этот показатель оказывает положительное влияние на распространение ФШДИ.

Для мобильного широкополосного доступа в интернет (МШДИ) получены положительная эластичность количества ее пользователей по доле городских жителей в общей численности населения страны (0,528) и количеству передаваемых данных (0,197); показатель эластичности по ВВП на душу населения (0,084) выше, чем у ФШДИ.

В результате проведенного анализа выявлено, что, несмотря на высокую конкуренцию со стороны МШДИ, технологии ФШДИ сохраняют свою долю рынка, прежде всего, в европейских странах, в основном, за счет обеспечения высокой скорости скачивания и загрузки данных при более низкой стоимости ежемесячной абонентской платы, отсутствия лимита на трафик, меньших расходов на установку. Спрос на ФШДИ определяется также более развитым спектром услуг (он часто используется в пакете с кабельным телевидением и мобильным телефоном). Однако рост мобильности граждан, доходов на душу населения, рост числа мобильных телефонов и смартфонов неизбежно повышает спрос на технологии МШДИ, что способствует дальнейшим исследованиям и совершенствованиям этих технологий.

Исследование взаимного влияния поколений технологий мобильной связи (2G-4G) проведено по данным за 2000-2018 гг. из отчетов и баз данных WorldBank, ОЭСР, Росстата и Евросоюза по странам ОЭСР и России. В качестве основы исследования была использована модифицированная модель Нортон-Басса, учитывающая влияние сопутствующих технологий (интернета и МШДИ) вида:



$$\begin{cases} \frac{dg_2(t)}{dt} = \left( p_1 + \frac{q_{11}}{M_1} g_2(t) + \frac{q_{21}}{M_1} (mph(t) - g_2(t)) \right) (M_1 - g_2(t)) + a_1 \Delta int(t) \\ \frac{dg_3(t)}{dt} = \left( p_2 + \frac{q_{21}}{M_2} g_3(t) + \frac{q_{22}}{M_2} (mph(t) - g_3(t)) \right) (M_2 - g_3(t)) + a_2 \Delta mbbb(t) \\ \frac{dg_4(t)}{dt} = \left( p_3 + \frac{q_{31}}{M_3} g_4(t) + \frac{q_{32}}{M_3} (mph(t) - g_4(t)) \right) (M_3 - g_4(t)) + a_3 \Delta mbbb(t), \end{cases} \quad (2)$$

где  $g_i(t)$  – доля пользователей технологии поколения  $i$  в году  $t$  в общей численности населения ( $i=2,3,4$ );

$mph(t)$  – доля пользователей мобильных телефонов в общей численности населения в год  $t$ ;

$\Delta int(t)$  – прирост доли пользователей интернета в общей численности населения в году  $t$  по сравнению с годом  $t-1$ ;

$\Delta mbbb(t)$  – прирост доли пользователей МШДИ в общей численности населения в году  $t$  по сравнению с годом  $t-1$ ;

$p_i$  – коэффициент инновации для поколения  $i$ ,

$q_{ij}$ , – коэффициенты имитации  $j$  на поколение  $i$ ,

$M_i$  – верхний предел распространения поколения  $i$ ,

$a_i$  – параметры модели для поколения  $i$ .

Оценка параметров системы уравнений была осуществлена с помощью приближения дифференциальных уравнений разностными, полученные значения представлены в табл.1.

**Таблица 1** - Оценка параметров системы уравнений (2)

Параметр	2G		3G		4G	
	значение	t-stat	значение	t-stat	значение	t-stat
$p_i$	0,27	3,8	0,56	4,0	0,001	нет
$q_{i1}$	0,36	4,8	-0,16	-3,0	0,035	0,6
$q_{i2}$	-0,07	-7,9	-0,15	-4,9	0,037	2,1
$M_i$	0,19	3,8	0,36	3,9	0,93	2,5
$a_i$	0,14	2,2	0,57	9,3	0,48	4,3
$R^2$	0,51		0,58		0,42	
SSR	4,15		2,04		0,33	

В результате выявлено значимое отрицательное влияние новых поколений технологий мобильной связи на предшествующие, т.е. вытеснение их с рынка. При

этом отмечается рост рыночного потенциала  $M_i$  каждого поколения технологий мобильной связи. Кроме того, выявлено положительное влияние сопутствующих технологий: распространения интернета на сети 2G (за счет распространения интернета вещей и технологий межмашинного взаимодействия, которые используют сети 2G, систем аварийной сигнализации на GSM-модемах, терминалов и кассового оборудования) и прироста пользователей МШДИ на сети 3G и 4G. Наибольший коэффициент инновации ( $p_i$ ), отражающий привлекательность технологии для новаторов, получен для поколения 3G (0,56), что связано с переходом на мобильную передачу данных помимо передачи голоса. Наибольший коэффициент имитации ( $q_i$ ), характеризующий скорость распространения технологии среди остальных потребителей, получен для технологии 2G (0,36).

В настоящей диссертации было проведено исследование распространения облачных вычислений на основании данных патентной статистики. Поиск осуществлялся в базе патентов World Intellectual Property Organization (WIPO) по ключевым словам «Grid Computing», «Utility Computing», «Web 2.0», «Virtualization», «Virtual Appliances», «Service-Oriented Architecture», «Cloud Computing», «SaaS», «IaaS» и «PaaS» в заглавных страницах описания.

Проведенный анализ за период 1995-2020 гг. показал, что количество патентов по технологиям «Service-Oriented Architecture» и «Web 2.0» достигло максимума в 2010 г., количество патентов по тэгу «Virtualization» - в 2017 г., патентование по остальным технологиям продолжает расти. Это говорит о том, что технологии облачных вычислений пока не достигли стадии зрелости.

Для моделирования динамики рынка облачных вычислений были использованы данные патентной статистики и оценки рынка компании Forrester Research за период 2008-2020 гг.<sup>3</sup> Наиболее точно взаимосвязь показателей

---

<sup>3</sup> Hybrid Customer Insight. Data Collection and Analysis On-premise And In the Cloud. - Forrester Research Inc. [Электронный ресурс] URL: <http://licensinglive.com/wp-content/uploads/2012/03/Hybrid-Customer-Insight-Data-Collection-and-Analysis-from-on-premise-in-the-cloud.pdf> (дата обращения: 12.02.2024).

патентования и объема рынка публичных облаков описывается кривой Гомпертца:  $Y = 172,5e^{-2,7e^{-0,08x}}$ ,  $R^2=0,995$  (t-статистики для коэффициентов 31,4; -20,1; -15,2), где Y – оценка мирового рынка облачных вычислений компании Forrester Research, млрд долл.;

x – накопленное количество патентов, найденных в WIPO по ключевому слову «cloud computing» и сопутствующим технологиям.

Аналогичное исследование патентования по облачным вычислениям было проведено по данным Японского патентного бюро (JPO<sup>4</sup>). Согласно собранной информации, некоторые из смежных и предшествовавших облачным вычислениям технологий уже достигли стадии зрелости (например, по технологиям Web 2.0, коммутаторам и распределенным вычислениям пик патентования пришелся на 2002 г., по сетевым вычислениям - на 2006 г.).

За период 2011-2020 гг. между долей предприятий, использующих облачные сервисы в Японии, и накопленной суммой патентов, зарегистрированных в JPO по облачным вычислениям, отмечается линейная зависимость. На основе экстраполяции накопленной суммы патентов с помощью данных линейной модели:

$$y = -66,19 + 115,11(t - 2007), R^2 = 0,99$$

(-2,2)      (35,1)

где y – накопленная сумма патентов, зарегистрированных в JPO по облачным вычислениям, t – год, получена оценка доли японских предприятий, использующих облачные сервисы. К 2025 г. она может составить более 95%.

**4. *Разработан пространственно-временной подход к моделированию диффузии ИКТ, предложен двухшаговый метод спецификации параметров волнового уравнения.***

Условия для создания, принятия и адаптации инноваций неравномерно распределены в пространстве: социокультурные, географические, экономические, политические факторы оказывают влияние на распространение новых технологий,

---

<sup>4</sup> Japan Platform for the Patent Information J-PlatPat [Электронный ресурс] URL: <https://www19.j-platpat.inpit.go.jp/PA1/cgi-bin/PA1LIST>, (дата обращения: 24.12.2023).

создавая благоприятные условия для их распространения или, наоборот, барьеры, препятствующие процессу диффузии (например, высокие расходы на внедрение инновации).

Поэтому в диссертации использован пространственно-временной подход к диффузии ИКТ. Он основан на применении уравнения Фишера-Колмогорова-Петровского-Пискунова (ФКПП):

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = F(Y) + D \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2}. \quad (3)$$

В работах Фишера<sup>5</sup> и Колмогорова, Петровского, Пискунова<sup>6</sup> было показано, что это уравнение при выполнении определенных условий имеет решение в виде бегущей волны, т.е. волны, распространяющейся с постоянной скоростью, сохраняя при этом свою форму в пространстве. Решение уравнения (3) вида  $Y(x,t)=W(x\pm ct)=W(z)$  устанавливает связь между временной  $t$  и пространственной  $x$  координатами и представляет собой автоволновое решение. При изменении  $x$  форма кривой, изображающей зависимость  $W(z)$ , не меняется, а сама эта кривая перемещается со скоростью  $c$ . При этом скорость распространения волны в пространстве существенно больше, чем скорость диффузии при фиксированном  $x$ .

В данной диссертации нелинейная функция  $F(Y)$  описывается моделью Басса:

$$F(Y, t) = \left(p + \frac{q}{M} Y(t)\right)(M - Y(t)).$$

Таким образом, рассматривается следующий вид пространственно-временной модели:

$$\frac{\partial Y(t)}{\partial t} = \left(p + \frac{q}{M} Y(t)\right)(M - Y(t)) + D \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} \quad (4)$$

Для этого уравнения с помощью линеаризации изучены его положения равновесия и на основе сингулярной теории возмущений получено приближенное решение в виде бегущей волны:

$$\frac{Y(z)}{M} = \frac{pe^{(p+q)z-p}}{pe^{(p+q)z+q}} + \frac{1}{c^2} \left[ \operatorname{Ln} \frac{((pe^{(p+q)z+q})^2)}{(p+q)^2 e^{(p+q)z}} + \frac{1}{2p} \right] \frac{p(p+q)^2 e^{(p+q)z}}{(pe^{(p+q)z+q})^2} \quad (5),$$

<sup>5</sup> Fisher R.A. The wave of advance of advantageous genes. - Ann. Eugenics, 7:353–369, 1937.

<sup>6</sup> Колмогоров А.Н. Исследование уравнения диффузии, соединенной с возрастанием вещества, и его применение к одной биологической проблеме / А.Н. Колмогоров, И.Г. Петровский, Н.С. Пискунов // Бюл. МГУ. Сер. А. Математика и механика. — 1937. — Т. 1. — 6. — с. 1-16.

где  $Y(t)$  – количество пользователей технологии в момент времени  $t$  в расчете на 1 жителя;  $p, q$  – параметры инновации и имитации модели Басса;  $M$  – верхний предел распространения технологии;  $c$  – скорость волны;  $D$  – волновой показатель. Волновая переменная  $z$  задавалась формулой:

$$z = \frac{x}{\sqrt{MD}} - c(t - t_0),$$

где в качестве  $t_0$  брался начальный период распространения технологии ( $t_0 = 2000$ ),  $x$  – «пространственная» переменная, характеризующая распределение «плотности» показателя.

Приближенное решение (5) использовалось для моделирования диффузии ИКТ в ФО РФ, в странах одного региона (в 9 странах Азии), в странах с разным уровнем доходов населения.

В качестве переменной  $x$  рассматривались макроэкономические индикаторы, отражающие степень различия между исследуемыми объектами. В каждом случае выбирались «полюсы роста», первыми внедрившими новые технологии (Москва для ФО РФ, Сингапур и Южная Корея для стран Азии, страны с высоким уровнем доходов населения для других групп стран), относительно которых рассчитывались некоторые показатели.

Расчеты параметров моделей проводились с помощью пакета Statistica в два шага. На первом шаге с помощью модели Басса оценивался рыночный потенциал технологии  $M$  (для каждой технологии и каждой группы субъектов), находились приближенные значения параметров  $p$  и  $q$ . На втором оценивались параметры приближенного решения пространственно-временного уравнения при заданном значении потенциала рынка  $M$  и найденных  $p$  и  $q$  в качестве начальных значений.

**5. Приближенное решение пространственно-временной модели диффузии технологий применено для выявления основных факторов, влияющих на скорость распространения мобильной связи среди населения в ФО РФ, а также цифровых технологий в организациях ФО.**

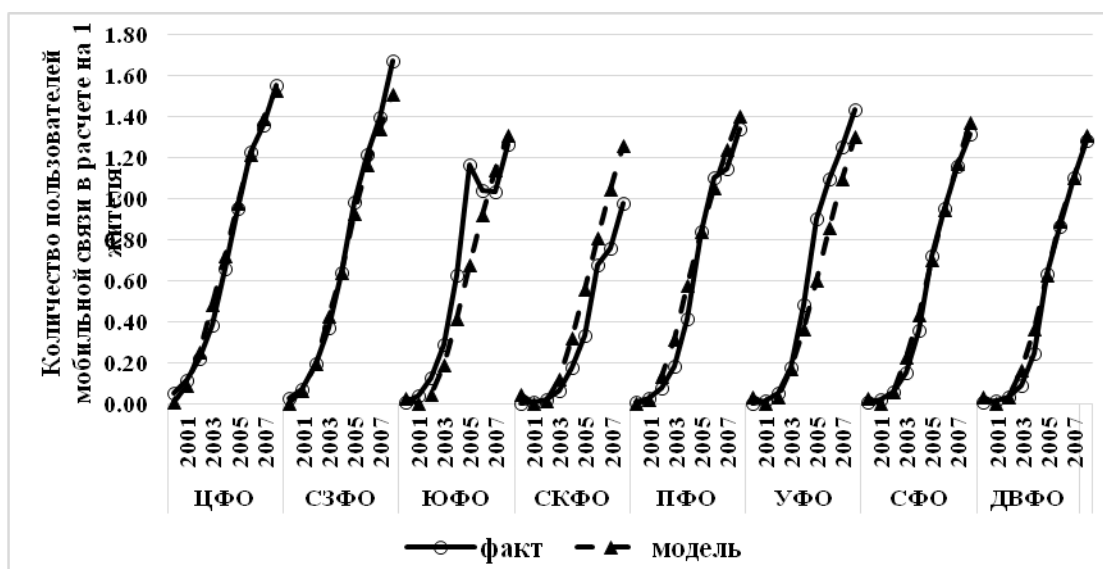
Для ФО РФ была изучена диффузия мобильной связи, в качестве  $x$  рассматривались следующие показатели:

- логарифм среднего значения ВРП на душу населения ФО за период 2000-2019 гг. в тыс. руб.;
- отношение среднего значения ВРП на душу населения ФО к среднему значению ВРП на душу населения Москвы;
- среднее значение доли внутренних затрат на НИОКР в ВРП;
- отношение среднего значения доли внутренних затрат на НИОКР в ВРП ФО к соответствующему показателю Москвы;
- среднее значение затрат на ИКТ в ВРП ФО за период 2000-2020 гг.;
- доля городских жителей в общей численности населения ФО;
- доля инновационно активных организаций в общей численности организаций ФО.

Для относительных «пространственных» переменных (относительно показателей Москвы) оценка скорости волны оказалась близкой ( $|c| \approx 1,35-1,39$ ). Наилучшее приближение к исходным данным было получено для отношения доли затрат на НИОКР в ВРП к показателю Москвы, среднего за период 2000-2008 гг. (наибольший коэффициент детерминации 0,92 и наименьшая сумма квадратов ошибок 7,32). На рис. 1 представлено фактическое и расчетное значение количества пользователей мобильной связи по ФО РФ.

Рассчитаны также оценки времени отставания распространения технологий в регионах от «полюса роста», полученные из следующих соображений. Если в момент времени  $t=0$  в полюсе роста значение «пространственной» переменной равно  $x_0$ , то в регионе со значением  $x_1$  тот же самый уровень распространения технологии будет достигнут в момент времени  $t^*$ :

$$t^* = \frac{x_1 - x_0}{c}$$



**Рисунок 1** - Распространение мобильной связи по ФО РФ с пространственной переменной, равной среднему за период отношению доли затрат на НИОКР в ВРП региона к соответствующему показателю Москвы, 2000-2008 гг.

В результате расчетов было получено, что для УФО на начальном этапе распространения мобильной связи отставание от Москвы (в 2000-2008 гг.) составило менее одного года, для ЦФО, СЗФО –1,4 года, для ПФО, СФО, ЮФО и ДВФО – менее двух лет, для СКФО – немногим более 2-х лет.

Однако за период 2009-2021 гг. различия в диффузии мобильной связи по ФО РФ стали значительно больше за счет ускоренного развития новых поколений технологий в центральных регионах, поэтому скорость волны, рассчитанная для отношения ВРП ФО к ВРП Москвы, среднего за период, для 2000-2008 гг. оказалась выше, чем для 2009-2021 гг. (0,302 и 0,008 соответственно).

Следовательно, увеличился временной разрыв между показателями распространения ИКТ в Москве и в ФО РФ. Например, показатель для Москвы и Московской области в 2 пользователя мобильной связи на 1 жителя региона (2009 г.) был достигнут в СЗФО в 2011 г., в ЦФО – в 2012 г., в УФО – в 2016 г., в ПФО – в 2021 г. В остальных ФО этот показатель пока не достигнут.

Для моделирования распространения цифровых технологий в организациях ФО были оценены три вида моделей: 1 – динамическая модель Басса; 2 –

пространственно-временная модель с показателем логарифма ВРП на душу населения ФО в качестве пространственной переменной; 3 - пространственно-временная модель с показателем доли затрат на ИКТ в ВРП, средняя за период 2010-2020 гг. в качестве «пространственной» переменной. Полученные оценки параметров свидетельствуют о том, что использование пространственно-временных моделей приводит к повышению точности оценивания по сравнению с обычными динамическими моделями (более высокий коэффициент детерминации  $R^2$  и меньшая сумма квадратов ошибок). Наиболее высокая абсолютная скорость распространения по двум «пространственным» переменным получена для экстранета и распространения web-сайтов в организациях, самая низкая – для распространения ERP-систем. Кроме того, получены оценки времени запаздывания распространения цифровых технологий, применяемых организациями ФО РФ, относительно показателей ЦФО (табл.2).

**Таблица 2** - Количество лет, через которое показатели распространения цифровых технологий достигнут показателей ЦФО

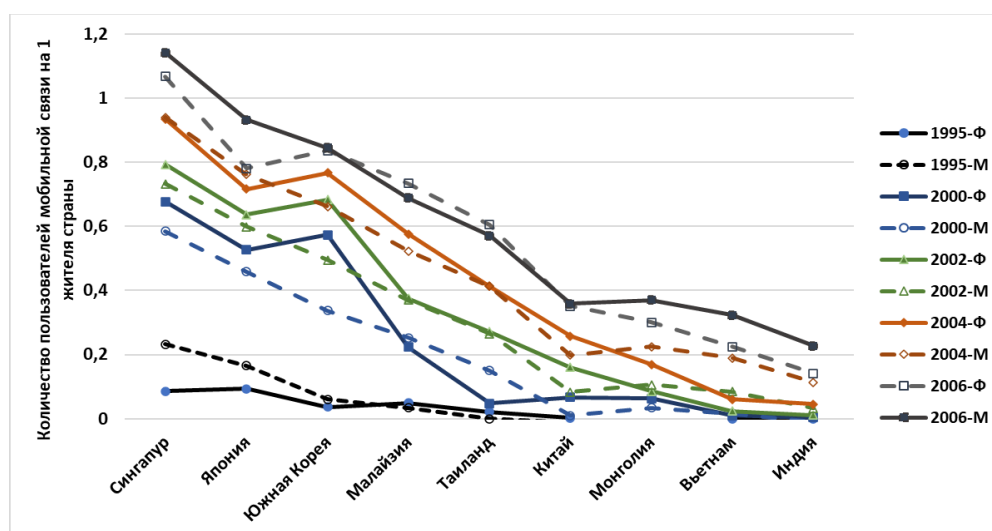
Округ	Средняя за период доля затрат на ИКТ в ВРП ФО	Экстранет	Веб-сайт	Инtranет	CRM-системы	ERP-системы
ЦФО	2,325	0	0	0	0	0
СЗФО	1,352	1,44	1,73	2,91	3,00	4,05
ЮФО	1,178	1,70	2,04	3,43	3,54	4,77
СКФО	0,679	2,44	2,92	4,92	5,08	6,85
ПФО	1,294	1,53	1,83	3,08	3,18	4,29
УФО	1,228	1,62	1,95	3,28	3,39	4,56
СФО	1,264	1,57	1,88	3,17	3,28	4,41
ДВФО	1,039	1,90	2,28	3,85	3,97	5,35
Абсолютная скорость волны		0,68	0,56	0,33	0,32	0,24

Таким образом, для распространения экстранета задержка относительно показателей ЦФО для остальных ФО составила 1,4-2,44 года, для распространения CRM-систем – 3-5 лет.



## 6. Приближенное решение волнового уравнения применено для анализа диффузии ИКТ на примере стран одного региона

Для 9 стран Азии (Монголия, Таиланд, Индия, Малайзия, Китай, Сингапур, Япония, Южная Корея, Вьетнам) проведена оценка пространственно-временных моделей распространения ИКТ на примере интернета, мобильной и фиксированной связи, фиксированного и мобильного широкополосного доступа в интернет, где в качестве «пространственных» переменных исследовались как социально-экономические (логарифм ВВП на душу населения, среднее отношение доли затрат на НИОКР в стране к показателю Южной Кореи, индекс развития электронного правительства, индекс человеческого капитала и др.), так и географические факторы (расстояние между столицами стран и Сингапуром). Сингапур и Южная Корея выделены в качестве главных полюсов роста и распространения ИКТ в этом регионе. Самая высокая по модулю скорость распространения рассмотренных технологий относительно показателя логарифма ВВП на душу населения была получена для технологии мобильной связи (0,288). Таким образом, для этой технологии быстрее преодолевался разрыв между странами региона (рис.1).



**Рисунок 2** – Распространение мобильной связи по 9 странам Азии с пространственной переменной логарифма ВВП на душу населения, среднего за период 1990-2008 гг. (ф – фактическое значение, м – рассчитанное по модели)

В то же время технология мобильного доступа в интернет распространяется с наименьшей по модулю скоростью среди всех рассмотренных технологий, что

может быть связано с отсутствием данных за более ранний период, а также с относительно большими требованиями по развитию инфраструктуры систем мобильной связи 4-го поколения и выше.

При использовании в качестве пространственного показателя логарифма расстояния между столицей страны и Сингапуром получено положительное значение скорости волны, для всех остальных показателей - отрицательное. Таким образом, распространение ИКТ по выбранным странам в меньшей степени зависит от географической удаленности от «полюса роста».

Проведенный количественный анализ показал, что имеет место зависимость скорости распространения ИКТ от социально-экономических региональных факторов, что согласуется с объяснением диффузии в виде бегущей волны.

#### ***7. Приближенное решение волнового уравнения применено для анализа диффузии ИКТ на примере групп стран с разным уровнем доходов населения***

Аналогичное исследование было проведено для групп стран с разным уровнем доходов на душу населения по классификации World Bank: страны с высоким уровнем доходов (НІС), страны с доходом выше среднего (UМС), страны со средним уровнем доходов (MІС), страны с уровнем доходов ниже среднего (LМС), и страны с низким уровнем доходов (LІС).

В этом случае в качестве «пространственной» характеристики процесса диффузии ИКТ ( $x$ ) в выражении для волновой переменной:  $z=x-c(t-t_0)$  была выбрана величина логарифма ВВП на душу населения группы стран, млн долл., в постоянных ценах 2017 г.

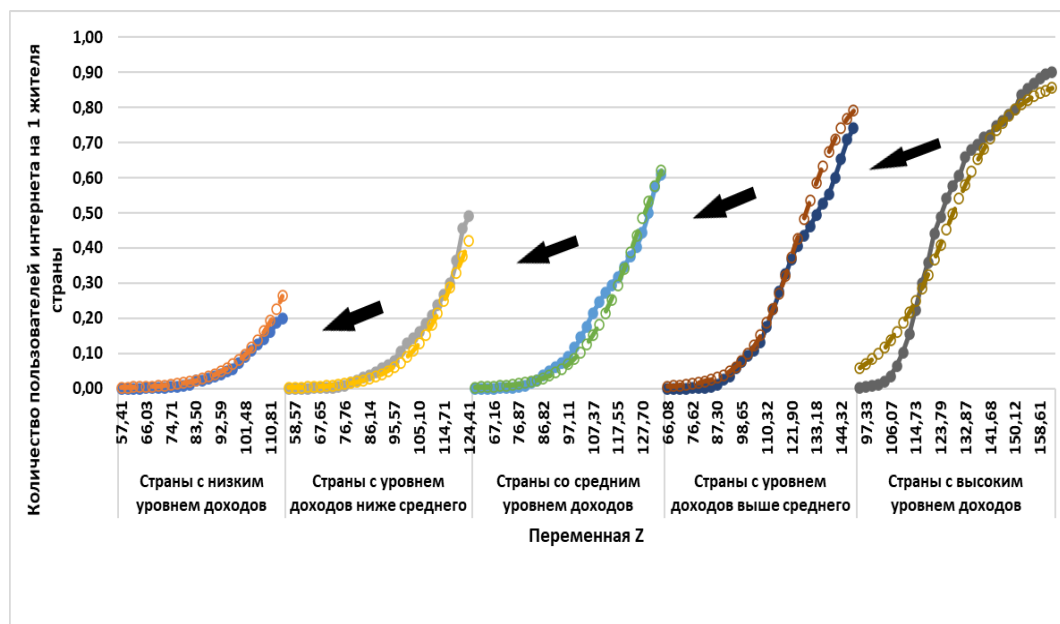
Наибольшая абсолютная скорость волны  $c$  для рассмотренных групп стран была получена для диффузии мобильной связи (0,268), что свидетельствует о более быстром темпе распространения технологии. Наименьшее значение  $c$  (0,164) за указанные в таблице периоды получено для фиксированной телефонной связи (табл.3).

**Таблица 3** - Оценки параметров волнового уравнения (3) с «пространственной» характеристикой в виде логарифма ВВП на душу населения, млн долл., в постоянных ценах 2017 г., среднего за период

Параметр	Интернет, 1990-2021 гг.	Мобильная связь, 1980-2021 гг.	МШДИ, 2015-2022 гг.	ФШДИ, 2000-2021 гг.	Фиксированная телефонная связь, 1980-2021 гг.
c	-0,241*	-0,268*	-0,194*	-0,222*	-0,164*
p	0,119*	0,156*	0,069*	0,106*	0,050*
q	0,115*	0,171*	0,529*	0,129*	0,033*
M	1,885*	1,869*	1,737*	0,89*	0,810*
R <sup>2</sup>	0,97	0,96	0,98	0,94	0,93
Количество наблюдений	151	183	40	101	209
SSE	0,316	1,32	0,10	0,065	0,37

\*p-value <0.01

Фактические и расчетные значения количества пользователей интернета по группам стран с разным уровнем доходов населения представлены на рис.3.



**Рисунок 3** - Приближение в виде бегущей волны распространения интернета по странам с разным уровнем доходов населения ( $z=x+1.94*(\text{Год}-1979)$ ,  $x$  – доля городских жителей, %), сплошная линия – фактическое значение, пунктирная – модельное.

Расчет времени задержки распространения ряда технологий ИКТ относительно высокоразвитых стран по показателю логарифма ВВП на душу населения представлен в табл. 4.

**Таблица 4** - Рассчитанное время отставания групп стран от показателей распространения ИКТ для высокоразвитых стран, лет

Группа стран	Логарифм ВВП на душу населения, среднее значение за период	Время отставания от стран с высоким уровнем доходов населения (НИС), лет				
		Интернет	Мобильная связь	Мобильный широкополосный доступ в интернет	Фиксированный широкополосный доступ в интернет,	Фиксированная телефонная связь
Скорость волны		-0,241	-0,268	-0,194	-0,222	-0,164
НИС	3,715	0	0	0	0	0
ЛИС	0,484	13,41	12,06	16,65	14,55	19,70
ЛМС	1,526	9,08	8,17	11,28	9,86	13,35
МИС	1,935	7,39	6,64	9,18	8,02	10,85
УМС	2,273	5,98	5,38	7,43	6,50	8,79

Так, если мобильная телефонная связь в странах группы НИС начала распространение в 1980 г., то в странах с низким уровнем доходов населения (ЛИС) – только в 1992 г., в странах с уровнем доходов ниже среднего – в 1987 г., в странах со средним уровнем доходов – в 1986 г., в странах с уровнем доходов выше среднего – в 1985 г. Уровень распространения интернета в 1% в странах НИС был достигнут в 1993 г., в странах ЛИС – в 2006 г., в странах ЛМС – в 2002 г., в странах МИС – в 2000 г., в странах УМС – в 1999 г.

Согласно проведенным в диссертации расчетам, 100%-ый уровень распространения МШДИ, достигнутый в странах НИС в 2015 г., в странах ЛИС будет достигнут в 2031-2032 гг., в странах ЛМС – в 2026-2027 гг., в странах МИС – в 2024 г., в странах УМС – в 2022 г. (для этой группы стран прогноз оправдался, уровень

распространения этой технологии для стран с доходами населения выше среднего в 2022 г. составил 104,2%, а в 2021 г. – 96,8%).

### **III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

Разработан комплексный мультипликативный индекс «цифровизации» отраслей экономики и федеральных округов России, в соответствии с которым были выделены отличающиеся по уровню цифровизации три группы ФО, а также проведена оценка эффективности затрат на ИКТ по ФО и отраслям экономики России.

Разработаны подходы к анализу и прогнозированию распространения новых ИКТ, на основе которых исследовано распространение технологий доступа в интернет.

Разработаны модификации базовых уравнений диффузии ИКТ с учетом макроэкономических факторов и технико-экономических показателей новых технологий, позволившие повысить точность оценок параметров диффузии.

Разработан подход к оценке распространения конкурирующих технологий, позволивший оценить их взаимосвязи, который был применен для анализа конкуренции фиксированного и мобильного широкополосного подключения к интернету, поколений технологий мобильной связи.

Разработана пространственно-временная модель распространения ИКТ, обосновано существование ее решения в виде бегущей волны, распространяющейся в пространстве с постоянной скоростью.

На основе теории сингулярных возмущений построено приближенное решение для пространственно-временной модели с нелинейным членом, соответствующим уравнению Басса, продемонстрирована методика идентификации пространственно-временных моделей диффузии ИКТ.

С помощью двухшагового подхода построены пространственно-временные модели диффузии интернета, мобильной связи и ряда других ИКТ для ФО РФ и групп стран с различным уровнем доходов населения. Для каждой группы объектов

получена оценка скорости волны в зависимости от различных «пространственных» переменных.

На основе пространственно-временной модели получены прогнозные оценки времени задержки распространения цифровых технологий в организациях ФО РФ относительно показателей Москвы, а также ИКТ для групп стран с невысоким уровнем дохода относительно стран с высоким уровнем доходов населения.

Разработанные подходы могут быть применены при моделировании и прогнозировании диффузии других прогрессивных технологий на начальном этапе принятия решения о целесообразности государственной поддержки их развития и распространения.

#### **IV. СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

##### ***Работы, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК***

- 1) Дубинина, М. Г. Моделирование динамики взаимосвязи макроэкономических показателей и показателей распространения ИТ в развитых и развивающихся странах // Труды Института системного анализа Российской академии наук. – 2015. – Т. 65, № 1. – С. 24-37. – EDN VLYBMF.
- 2) Дубинина М.Г. Исследование современных подходов к моделированию процессов распространения технологий в наукоемких отраслях // Труды Института системного анализа Российской академии наук. – 2015. – Т. 65. – № 3. – С. 43-54.
- 3) Дубинина М.Г. Моделирование диффузии широкополосного доступа в Интернет // Труды Института системного анализа Российской академии наук. – 2016-66-4. – С. 54-68.
- 4) Дубинина М.Г. Анализ и моделирование диффузии облачных вычислений в России и за рубежом // Труды Института системного анализа Российской академии наук. – 2017 – Том 67 – выпуск 4. – С.22-34.

- 5) Дубинина М.Г. Использование цифровых технологий при обучении в период пандемии коронавируса // Информационное общество. – 2020 - №5. С. 48 – 60. <http://infosoc.iis.ru/article/view/516/423>.
- 6) Дубинина М. Г. Моделирование влияния цифровых технологий на качественные показатели образования// Управление наукой и наукометрия. 2020. Т. 15, № 4. С. 528–557. DOI: <https://doi.org/10.33873/2686-6706.2020.15-4.528-557>.
- 7) Варшавский А.Е., Комкина Т.А., Кочеткова Е.В., Дубинина М.Г., Дубинина В.В., Кузнецова М.С. Анализ показателей развития и распространения высокотехнологичной продукции (на примере робототехники и мобильных устройств) // Экономический анализ: теория и практика. – 2022. – Т. 21, № 10. – С. 1951 – 1978. <https://doi.org/10.24891/ea.21.10.1951>.
- 8) Дубинина М.Г. Динамика количества абонентов мобильной связи телекоммуникационных компаний // Информационное общество. – 2023 - №3. С. 108-119. [https://doi.org/10.52605/16059921\\_2023\\_03\\_10](https://doi.org/10.52605/16059921_2023_03_10)
- 9) Дубинина М.Г. Пространственно-временные модели распространения информационно-коммуникационных технологий // Компьютерные исследования и моделирование. 2023. Т. 15 № 6 С. 1697–1714. DOI: 10.20537/2076-7633-2023-15-6-1697-1714.
- 10) Дубинина М.Г. Моделирование распространения информационно-коммуникационных технологий во времени и пространстве // Инновации и инвестиции. 2024.

***Работы, опубликованные в других научных изданиях***

- 11) Дубинина М.Г. Эконометрический анализ взаимосвязи макроэкономических показателей и показателей распространения ИТ в развитых и развивающихся странах//Сборник: Теория и практика институциональных преобразований в России под ред. Б.А.Ерзнкяна. М.: – ЦЭМИ РАН. – 2013. – вып. 27. – С. 137-150.

- 12) Дубинина М.Г. Сектор информационно-коммуникационных технологий в Индии: особенности развития и основные показатели//Сборник: Теория и практика институциональных преобразований в России под ред. Б.А.Ерзнкяна. М.: — ЦЭМИ РАН. — 2014 — вып. 29, стр. 121-136.
- 13) Дубинина М.Г. Занятость в сфере информационно-коммуникационных технологий в Европе: современные тенденции и профессиональные компетенции // Научно-практический журнал "Концепции". - Москва. – 2015. - №1 (33). С. 55-67.
- 14) Дубинина М.Г. Анализ факторов, влияющих на динамику численности занятых в секторе ИКТ в России //Научно-практический журнал "Концепции". - Москва. –№1(35). - 2016. – С. 47-55.
- 15) Дубинина М.Г. Влияние информационных технологий на динамику занятости в России и за рубежом // Наука. Инновации. Образование. – 2017, №2 (24). – С. 109 – 133.
- 16) Дубинина М. Г. Моделирование диффузии прогрессивных технологий (на примере технологий фиксированного и мобильного широкополосного подключения к интернету) // *Вестник ЦЭМИ РАН (электронная публикация)*. — 2018. — № 2.
- 17) Дубинина М.Г. Факторы, влияющие на диффузию новой мобильной техники (на примере смартфонов). // Анализ и моделирование экономических и социальных процессов / Математика. Компьютер. Образование: Сб. научн. трудов (выпуск 26). № 2. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2019. – С.– .132-140. DOI: 10.20537/mce2019econ12.
- 18) Дубинина М. Г. Неравномерность развития цифровой экономики в федеральных округах России // Управление наукой и наукометрия. 2019. Т. 14, № 3. С. 368–399. DOI: 10.33873/2686-6706.2019.14-3.368-399.
- 19) Дубинина М.Г. Моделирование диффузии поколений технологий мобильной связи // Анализ и моделирование экономических и социальных процессов / Математика. Компьютер. Образование: Сб. научн. трудов. Выпуск 27.



– М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2020. с. 95–103. DOI: 10.20537/mce2020econ09.

20) Дубинина М.Г. Современные тенденции мирового телекоммуникационного рынка // Научно-практический журнал "Концепции". - Москва. – 2020. С.18 – 27. DOI: 10.34705/КО.2020.39.1.002

21) Дубинина М.Г. Моделирование диффузии технологий беспроводной связи // Анализ и моделирование экономических и социальных процессов / Математика. Компьютер. Образование: Сб. научн. трудов. Выпуск 28. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2021. с. 108–116. DOI: 10.20537/mce2021econ10.

22) Дубинина М. Г. Анализ влияния цифровизации и инновационной активности регионов России на рост их ВРП // Вестник ЦЭМИ URL: <http://ras.jes.su/cemi/s265838870026487-8-1> [10.33276/S265838870026487-8](https://doi.org/10.33276/S265838870026487-8) (дата обращения: 04.07.2023).

23) Дубинина М.Г. Роль сектора ИКТ в экономическом росте Вьетнама // Концепции. – №1 (42). 2023. С. 55-63. DOI: 10.34705/КО.2023.75.56.006.