

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Центральный экономико-математический институт  
Российской академии наук

*На правах рукописи*

Кочеткова Екатерина Владимировна

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА  
СБАЛАНСИРОВАННОСТИ СПРОСА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ТРУДА  
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Специальность:

08.00.13 «Математические и инструментальные методы экономики»

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата экономических наук

Научный руководитель:  
Варшавский Александр Евгеньевич,  
доктор экономических наук,  
профессор

Москва – 2021

## Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ СПРОСА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ.....</b>	<b>8</b>
1.1. ПРОБЛЕМЫ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ СПРОСА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО- ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ .....	8
1.1.1. <i>Инженерно-технические специалисты как профессиональная категория....</i>	<i>8</i>
1.1.2. <i>Подходы к определению и анализу сбалансированности спроса и предложения инженерно-технических специалистов .....</i>	<i>12</i>
1.1.3. <i>Проблемы несбалансированности спроса и предложения труда инженерно- технических специалистов.....</i>	<i>14</i>
1.1.4. <i>Причины несбалансированности спроса и предложения труда ИТС в России после распада СССР.....</i>	<i>20</i>
1.2. АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ И МОДЕЛИРОВАНИЮ СПРОСА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ТРУДА ИТС .....	27
1.2.1. <i>Балансовые и матричные модели для прогнозирования потребности в кадрах.....</i>	<i>30</i>
1.2.2. <i>Многофакторные и лаговые модели спроса и предложения труда.....</i>	<i>31</i>
1.3. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	36
1.3.1. <i>Основные источники информации .....</i>	<i>36</i>
1.3.2. <i>Методологическая основа исследования.....</i>	<i>39</i>
ВЫВОДЫ .....	42
<b>ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ ЗАНЯТЫХ И ВЫПУСКА ИНЖЕНЕРНО- ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ.....</b>	<b>43</b>
2.1. ВЫЯВЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОКАЗАТЕЛИ СПРОСА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ТРУДА ИТС .....	43
2.1.1. <i>Факторы, влияющие на показатели спроса и предложения ИТС.....</i>	<i>43</i>
2.1.2. <i>Выявление факторов, влияющих на численность занятых ИТС, с использованием эконометрического анализа.....</i>	<i>45</i>
2.1.3. <i>Выявление факторов, влияющих на выпуск ИТС, с использованием эконометрического анализа .....</i>	<i>53</i>
2.2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ЗАНЯТЫХ ИТС .....	57

2.3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫПУСКА ИТС С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ВЫПУСКА ПО НАПРАВЛЕНИЯМ ПОДГОТОВКИ.....	61
2.3.1. Модель динамики выпуска ИТС с учетом выпуска по другим направлениям подготовки .....	61
2.3.2. Модель динамики выпуска ИТС с учетом выпуска по другим направлениям подготовки и отсева в процессе обучения.....	74
Выводы .....	79
<b>ГЛАВА 3. СЦЕНАРНЫЙ АНАЛИЗ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ СПРОСА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ.....</b>	<b>80</b>
3.1. МАКРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ СПРОСА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ТРУДА ИТС .....	80
3.1.1. Основные блоки модели.....	80
3.1.2. Результаты моделирования.....	86
3.2. АНАЛИЗ СТЕПЕНИ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ СПРОСА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ИТС ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СЦЕНАРИЕВ.....	89
3.2.1. Показатель степени возможной сбалансированности спроса и предложения ИТС .....	90
3.2.2. Анализ и прогноз возможной степени сбалансированности спроса и предложения ИТС в 2020–2024 гг. для различных сценариев.....	91
3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ СБАЛАНСИРОВАННОСТИ СПРОСА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ИТС С ПОМОЩЬЮ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ.....	99
Выводы .....	115
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>118</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>121</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....</b>	<b>140</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....</b>	<b>143</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....</b>	<b>155</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....</b>	<b>158</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 5.....</b>	<b>163</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 6.....</b>	<b>164</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 7.....</b>	<b>165</b>

## **Введение**

Данная диссертация посвящена исследованию и моделированию спроса и предложения инженерно-технических специалистов (ИТС), а также разработке методологии анализа степени сбалансированности спроса и предложения ИТС.

**Актуальность темы исследования.** Структурная несбалансированность спроса и предложения инженерно-технических специалистов (ИТС) в России в настоящее время негативно сказывается на развитии научно-технологической сферы, промышленности и экономики в целом. Потребность в высококвалифицированных рабочих и ИТС наблюдается также за рубежом, что подтверждают рейтинги наиболее востребованных специалистов для Франции, Норвегии, Швеции, Нидерландов, Японии, а также Китая и Индии. Как в развитых странах, так и в России процессы деиндустриализации в значительной степени способствовали дестабилизации рынка труда ИТС и усугублению диспропорций спроса и предложения, а также снижению мотивации абитуриентов выбирать инженерно-технические профессии. Все это подчеркивает актуальность задачи разработки моделей и подходов для осуществления сценарного прогнозирования возможной степени сбалансированности спроса и предложения труда ИТС.

**Степень разработанности проблемы.** Методы прогнозирования потребности в кадрах специалистов разрабатывались в работах Э.Ф. Баранова, Б.Д. Бреева, А.Г. Коровкина, Л.Е. Варшавского, В.А. Гуртова, Е.А. Питухина, С.В. Сиговой, Дж.Эванса (G. Evans), Р.Бездека (R. Bezdek), Д.Бартоломью (D. Bartholomeu), Дж.Псахаропулоса (G. Psacharopoulos). Проблемам российского рынка труда посвящены работы А.Г. Коровкина, Л.Е. Минца, Р.И. Капелюшниковой, В.Е. Гимпельсона, А.Л. Лукьяновой, Е.С. Вакуленко, Н.Т. Вишневской, С.Ю. Рощина, А.М. Нанавян, Т.С. Разумовой, Н.Н. Волковой, Е.Я. Варшавской, Е.С. Узяковой, С.В. Сиговой, Е.С. Красинца, В.Н. Бобкова; проблемам рынка труда высококвалифицированных кадров, в том числе научно-технических и инженерно-технических, — работы А.И. Анчишкина, А.Е. Варшавского и др. Модели динамики численности трудовых ресурсов были рассмотрены в работах А.Г. Коровкина, Г.Г. Малинецкого, В.А. Буланичева, Л.А. Серкова, В. Вайдлиха, М.Ю. Хавинсона. Разработ-

ке динамических моделей для исследования рынка труда инженеров посвящены работы Р. Фримана (R. Freeman), М. Нойгарта (M. Neugart), Ш. Розена (S. Rosen) и других исследователей.

**Цели и задачи исследования.** Целью настоящей работы является разработка моделей для анализа и прогнозирования возможной степени сбалансированности спроса и предложения ИТС России. Для этого ставились следующие задачи:

выявление факторов, влияющих на показатели спроса и предложения ИТС с использованием ретроспективного анализа, межстрановых сопоставлений, эконометрического моделирования;

разработка моделей численности выпуска ИТС, численности занятых ИТС;

разработка макроэкономической модели для анализа и прогнозирования спроса и предложения ИТС;

разработка подхода к оценке уровня возможной сбалансированности спроса и предложения ИТС;

проведение сценарного анализа и исследование условий сбалансированности спроса и предложения труда ИТС с помощью решения оптимизационных задач.

Объектом исследования является рынок труда ИТС. Предмет исследования включает показатели спроса и предложения труда ИТС, сбалансированности спроса и предложения труда ИТС, методы и модели для их анализа и прогнозирования.

Область исследования соответствует требованиям паспорта специальности ВАК 08.00.13 Математические и инструментальные методы экономики:

*1.9. Разработка и развитие математических методов и моделей анализа и прогнозирования развития социально-экономических процессов общественной жизни: демографических процессов, рынка труда и занятости населения, качества жизни населения и др.*

**Научная новизна исследования.** Все основные результаты диссертационной работы являются новыми и впервые опубликованы в работах диссертанта. Наиболее значимые результаты, полученные в ходе исследования и составляющие элементы новизны, сводятся к следующему.

Разработаны экономико-математические модели для анализа и прогнозирования спроса и предложения труда ИТС:

модель численности занятых ИТС,

модель выпуска ИТС с учетом изменения предпочтений в пользу других специальностей,

модель выпуска ИТС с учетом динамики выпуска по другим специальностям и отсева во время обучения,

макроэкономическая модель для исследования степени сбалансированности спроса и предложения ИТС.

Разработанные модели были использованы для проведения предварительного анализа степени сбалансированности спроса и предложения труда ИТС на краткосрочную перспективу, а также нахождения условий сбалансированности спроса и предложения ИТС на среднесрочную перспективу с помощью решения оптимизационных задач.

**Теоретическая и практическая значимость исследования.** Теоретическая значимость исследования заключается в разработке подходов, основанных на исследовании и моделировании показателей спроса и предложения труда ИТС, а также методологии для анализа степени сбалансированности спроса и предложения труда ИТС. Практическая значимость исследования состоит в возможности применения разработанных моделей и подходов к анализу и прогнозированию спроса и предложения труда ИТС.

**Методология и методы диссертационного исследования.** Информационной базой исследования были статистические данные Росстата (Российский статистический ежегодник, данные обследований "О численности и потребности организаций в работниках по профессиональным группам" и "Сведения о распределении численности работников по размерам заработной платы"), статистические ежегодники "Народное хозяйство СССР" за 1955-1990 гг., "Труд в СССР" за 1988 г., "Народное образование, наука и культура в СССР" за 1971 и 1989 гг., статистические базы данных МОТ; статистические данные национальных агентств; данные отчетов UNESCO; базы данных OECD, Eurostat; отчеты и статистические

публикации Национального научного фонда США (NSF), отчеты и база данных Бюро статистики труда США (Bureau of Labor Statistics, BLS); отчеты и база данных Бюро переписи населения США (Current Population Survey, CPS); отчеты Национального центра статистики образования (National Center of Education Statistics, NCES); базы данных Бюро экономического анализа США (Bureau of economic analysis, BEA); базы данных World Bank; а также публикации отечественных и зарубежных исследователей, информационно-аналитические материалы сети Интернет. При проведении исследования применялись методы статистического анализа, эконометрического моделирования, экономико-математического моделирования. Анализ данных и моделирование проводились с помощью MS Excel, EViews, отдельные расчеты выполнены с использованием языков Python и R.

**Степень достоверности и апробация результатов исследования.** Достоверность результатов исследования может быть подтверждена достаточно высокой точностью аппроксимации, обеспечиваемой разработанными моделями. Результаты выполненного исследования были представлены в качестве докладов на восьми международных научно-практических конференциях «Математика. Компьютер. Образование» (Дубна: 2014, 2016, 2018, 2020 гг., Пущино: 2015, 2017, 2019, 2021 гг.). Полученные в ходе исследования результаты опубликованы в 15 статьях, в том числе, в 3 статьях в научных журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук (в которых соискателю принадлежит 2 п.л.).

**Структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и 7 приложений. Объем основной работы составляет 139 страниц. Список литературы содержит 182 наименования. Основной текст содержит 19 рисунков и 26 таблиц.

# **Глава 1. Современные проблемы и подходы к исследованию сбалансированности спроса и предложения инженерно-технических специалистов**

В данной главе рассмотрены особенности учета инженерно-технических специалистов (ИТС) как профессиональной категории, подходы к определению сбалансированности спроса и предложения труда специалистов, проведен анализ проблемы сбалансированности спроса и предложения труда ИТС за рубежом и в России, выявлены основные факторы, способствовавшие формированию дефицита ИТС, а также исследованы основные подходы к моделированию показателей спроса и предложения ИТС.

## ***1.1. Проблемы сбалансированности спроса и предложения инженерно-технических специалистов***

### **1.1.1. Инженерно-технические специалисты как профессиональная категория**

Проведение прямых сопоставлений численности инженеров и техников в СССР (РСФСР) и в России, а также численности выпуска по инженерно-техническим специальностям затруднительно в связи со значительными изменениями в методологии учета рассматриваемой профессиональной группы.

В источниках статистической информации СССР были представлены не только профессиональные категории инженеров и техников, как специалистов, имеющих соответствующее профессиональное образование, но также специфическая профессионально-квалификационная группа инженерно-технических работников (ИТР, до 1987 г. [1]), в число которых входили лица, занятые техническим руководством производства и организацией деятельности работников на предприятии. К ним относились: руководители объединений, их служб и подразделений (участков, цехов, смен, отделений и т.п.), главные специалисты (включая главных экономистов), непосредственные руководители и организаторы работ по перемещению грузов, начальники (заведующие), инженеры, техники, нормировщики,



экономисты и др. Основанием для отнесения работника к ИТР являлось не образование, а занимаемая должность, для исполнения обязанности в соответствии с которой требовалась квалификация инженера или техника [2]. В статистических документах ИТР рассматривались как категория промышленно-производственного персонала.

Из-за отсутствия однозначного определения профессиональной категории инженера [3,4], а также существенных различий в методологии статистического учета ИТС в различных странах, предварительно был выполнен анализ системы учета численности ИТС в статистических данных других стран. Результаты анализа свидетельствуют, что определение статуса инженера за рубежом и в международной статистической отчетности может отличаться от принятого в России.

По определению UNESCO [5], инженерами могут считаться работники, имеющие квалификацию или опыт работы в должности инженера, прошедшие лицензирование и формально зарегистрированные в статусе профессионального инженера. Наличие лицензии для инженера означает возможность самостоятельного предложения инженерных услуг, профессиональная сертификация нацелена на подтверждение статуса специалиста. Ввиду того, что в экономике заняты также не сертифицированные специалисты (как правило, необходимым условием является работа под руководством профессионального инженера), в том числе техники, а практика профессионального лицензирования распространена далеко не во всех странах и не по всем направлениям специальностей, в диссертационной работе рассматривалась вся совокупность ИТС, включающая специалистов, занятых в должности ИТС или имеющих инженерно-техническое образование.

В настоящий момент нет определенности и в том, какую степень высшего образования считать достаточной для получения категории инженера или техника. Например, большинство работающих инженеров начинают работать по специальности со степенью бакалавра инженерно-технических наук (США, а также Китай, Индия) или со степенью специалиста в некоторых европейских странах (Германия), однако некоторые исследовательские должности могут требовать магистерской степени. Должность техника требует квалификации младшего специали-

ста (associate's) или бакалавра, либо специального среднего образования (engineering technologies в США, Fachhochschule в Германии). Таким образом, следует учитывать особенности системы образования в различных странах, которые могут приводить к искажениям в итоговых оценках численности инженеров и техников. Тем не менее, относительно общепринятым является определение инженера как специалиста с высшим образованием и техника/технолога как специалиста со средним профессиональным образованием или аналогичной квалификацией.

Таким образом, при проведении анализа показателей численности занятых ИТС в рамках межстрановых сопоставлений следует учитывать различия в методологии статистического учета профессионально-квалификационных групп в разных странах. Следует отметить проблему недостаточности и несогласованности статистических данных за отдельные периоды (см. также [5]).

Включение отдельных профессиональных групп в категорию ИТС в данной диссертационной работе было проведено с учетом методологии стандартной классификации профессий (аналогично используемой Бюро статистики труда США и Международной организацией труда); при этом в узкую группу инженерных работников, как правило, не включаются специалисты в области естественных наук, математики, компьютерных наук, социальных наук, а также управленческие кадры соответствующей профессиональной квалификации. В численности ИТС были учтены ИТС высшего уровня квалификации и архитекторы, техники и технические специалисты среднего уровня квалификации, а также ряд групп операторов на производстве и техников на транспорте, квалификация которых предполагает профессиональное техническое образование.

По причине недостаточно подробных статистических данных по численности специалистов по профессиональным группам в период 1991–2005 гг. в России, для периода 2000–2005 гг. была проведена экстраполяция доли ИТС в общей численности занятых, основанная на предположении об относительной стабильности доли ИТС в численности занятых специалистов, далее для периода 2005–2016 гг. рассматривалась численность ИТС, полученная агрегированием численности отдель-

ных групп специалистов (по данным [6,7]), а также с помощью интерполяции для отдельных лет, для которых не было данных.

Проведенный анализ показал, что доля ИТС (без учета специалистов в области компьютерной техники и информационных технологий (ИТ)) в численности населения и занятых для России в среднем выше, чем для европейских стран и США (см. Приложение 1). Значения показателей, характеризующих удельную численность техников, в России весьма близки уровню западноевропейских стран, однако, резкое снижение данного показателя при переходе от данных по РСФСР к данным по России (с 5552 тыс. человек в 1985 г. до 1172 тыс. человек в 2008 г., см. табл.П2.1 в Приложении 2) может свидетельствовать о недостаточной достоверности данных по численности техников в России. Ввиду этого в данной диссертационной работе сопоставления отдельно по численности техников не проводились. Более достоверным может быть проведение сопоставлений удельной численности инженеров с учетом специалистов в области компьютерной деятельности и информационных технологий (в СССР и США специалисты в области компьютерной техники и ИТ включались в группу инженеров). В данной диссертационной работе рассматривалась численность ИТС как без учета, так и с учетом специалистов в области компьютерной техники и ИТ.

Для проведения сопоставлений численности выпуска ИТС в РСФСР и России в диссертационной работе были рассчитаны агрегированные показатели численности выпуска специалистов инженерно-технических специальностей из вузов и технических специальностей из ссузов по отдельным группам специальностей. По сравнению с системой учета специальностей в СССР, в статистических данных Росстата из структуры специальностей исключены такие специальности, как механизация сельского хозяйства, электрификация сельского хозяйства, гидромелиорация, но выделена новая группа — междисциплинарные естественно-технические специальности. В списке специальностей учебных заведений высшего и среднего профессионального образования, в данных Росстата, были выделены аналогичные специальности, дополненные с учетом анализа присвоения специальностей по Общероссийскому классификатору специальностей по образова-

нию (ОКСО) [8]. Структура инженерно-технических специальностей дополнена специальностями, связанными с компьютерными науками и информационными технологиями; исключены из рассмотрения технические специальности сельского хозяйства (ввиду отсутствия детализации специальностей сельского хозяйства); исключены из рассмотрения специальности, отнесенные к естественнонаучным (гидрология, метеорология, картография).

Таким образом, к инженерно-техническим специальностям в диссертации были отнесены: геология, разведка и разработка полезных ископаемых; машиностроительные специальности (энергетика, машиностроение (включая аэрокосмическое машиностроение, морскую технику, технологическое машиностроение и приборостроение), электротехника и транспорт); специальности, связанные с компьютерной техникой и ИТ (электронная техника, радиотехника и связь, автоматика и управление, информатика и вычислительная техника, информационная безопасность), специальности легкой промышленности (технология продовольственных продуктов и потребительских товаров), химическая технологии и биотехнологии; архитектура и строительство. В проводимых в диссертации сопоставлениях и расчетах в совокупной численности выпуска ИТС учебными заведениями высшего и среднего профессионального образования России учитывается выпуск специалистов, бакалавров и магистров государственными и муниципальными, а также негосударственными учебными заведениями.

### **1.1.2. Подходы к определению и анализу сбалансированности спроса и предложения инженерно-технических специалистов**

Экономическая теория рассматривает спрос на труд как число работников, необходимое экономике для производства определенного количества товаров и услуг, и предложение труда как совокупность экономически активного населения, предлагающего рабочую силу по установленной ставке заработной платы [9]. Численность занятых, таким образом, определяет равновесие на рынке труда. Однако для целей прогнозирования возможных неравновесных состояний рынка труда в некоторой перспективе, с учетом предполагаемого изменения объема

производства и цены труда, актуальным становится использование категорий дополнительного спроса и дополнительного предложения труда.

Согласно подходу, предложенному в работах исследователей ИНП РАН [10], сбалансированность рынка труда можно рассматривать через призму согласованности спроса на рабочую силу и ее предложения, оценивая спрос как количество вакансий, а предложение труда — как количество безработных (число потенциальных работников). Другой подход, представленный в работах исследователей ПетрГУ [11, 12, 13], предполагает рассматривать сбалансированность спроса и предложения как соответствие дополнительного объема спроса и дополнительного объема предложения. Дополнительный спрос, по определению Сиговой С.В. [11], является частью потенциального спроса, и показывает количество вакансий на рабочие места, которые не существуют в начальный момент планирования, но могут появиться через определенный промежуток времени. Соответственно, дополнительное предложение, являясь компонентом потенциального предложения труда, может быть определено через приток трудовых ресурсов на рынок труда в будущий период времени, включающий число выпускников образовательных учреждений, трудовых мигрантов, безработных, граждан, уволенных из Вооруженных сил, лиц, занимавшихся домохозяйством, и другие категории граждан. В случае отсутствия согласованности потенциального спроса и потенциального предложения на рынке труда возникает состояние неравновесия, характеризующееся дефицитом или избытком рабочей силы, что свидетельствует о несбалансированности рынка труда. Для оценки степени несбалансированности в [11] предложен показатель, представляющий отношение дополнительного предложения к дополнительному спросу («модифицированный показатель напряженности на рынке труда»).

Таким образом, второй подход из вышеописанных в большей степени уделяет внимание государственному регулированию рынка труда при сосуществовании государственного и рыночного механизмов. При этом предполагается, что государственное управление заключается в формировании потенциального предложения рабочей силы с определенной профессионально-квалификационной структурой, которое осуществляется заранее в соответствии с перспективными значения-

ми потенциального спроса в целях минимизации отклонений между спросом и предложением на рабочую силу [11].

Для проведения расчетов дополнительный спрос определяется как ежегодная дополнительная потребность в работниках, то есть прирост численности занятых в связи с экономическим ростом, а также потребность в работниках для замещения вакантных мест в связи с естественным движением, то есть с учетом коэффициентов естественного выбытия по видам деятельности и коэффициента миграционного прироста (выбытия). Учитывая, что число выпускников образовательных учреждений составляет значительную часть дополнительного предложения труда, совокупный ежегодный прирост предложения на рынке квалифицированного труда оценивается на основе данных о выпуске специалистов вузами (подобный подход реализован в работах, например, [14,15,16]).

В данной диссертационной работе под сбалансированностью спроса и предложения труда ИТС понимается согласованность дополнительной потребности в ИТС и дополнительного предложения труда, характеризуемого численностью подготавливаемых специалистов в системе профессионального образования (см. подробнее раздел 1.3.2).

### **1.1.3. Проблемы несбалансированности спроса и предложения труда инженерно-технических специалистов**

Ситуация несбалансированности спроса и предложения ИТС является актуальной для развитых и развивающихся стран и характеризуется рядом особенностей (см. подробнее [17]). Нехватка ИТС рассматривается либо как дефицит, связанный с низкой скоростью обновления кадров [18], либо как локальное неравновесие на рынке труда ИТС, вызванное трудностями найма ИТС требуемых профессий и квалификации, проблемами территориальной мобильности и качества образования.

Так, в 2000–2010-х гг. целым рядом стран была отмечена повышенная потребность в ИТС и квалифицированных рабочих (например, для Франции, Норвегии, Швеции, Нидерландов, Японии, а также Китая и Индии). В качестве основ-

ных причин неудовлетворенного спроса на труд ИТС работодатели указывали собственно нехватку специалистов определенных профессий (33%), отсутствие у соискателей требуемых компаниям технических навыков (33%) и опыта (24%) [19]. Требования работодателей также включали наличие длительного опыта работы в определенной области инженерных знаний для инженеров, специальных знаний и практического опыта, в особенности для специалистов среднего звена, обладания специальными знаниями и опытом в инженерном деле одновременно с квалификацией в области экономики и управления для кандидатов на руководящие должности [20]. К 2018 г. ситуация существенно не изменилась — технические специалисты средней квалификации и инженеры оставались среди самых востребованных профессий [21]. Говоря о нехватке ИТС, работодатели выделяют спрос на инженеров (специалистов высшей квалификации) и техников и ИТС средней квалификации, что позволяет судить о сегментации рынка труда ИТС.

В качестве причин несбалансированности спроса и предложения труда ИТС в 2000-2010-х гг. можно выделить рост спроса на отдельные специальности или в отдельных регионах, изменение финансирования отдельных направлений НИОКР [22], последствия деиндустриализации, связанные для многих развитых стран с переносом производств в страны с более дешевой рабочей силой [23], снижение предложения труда ИТС в связи с негативной демографической ситуацией и общим снижением численности абитуриентов [24], переориентацией студентов на другие группы специальностей, уходом ИТС в другие отрасли [25], а также усилением миграционных потоков специалистов вследствие глобализации [3]. По мнению экспертов, препятствуют достижению сбалансированности спроса и предложения ИТС запаздывание подготовки кадров по отношению к спросу и неточное определение текущей потребности в них ввиду некорректного стратегического планирования (*graduation-to-work transition challenge*) [26].

Одной из основных причин нехватки ИТС эксперты считают снижение численности студентов, обучающихся на инженерно-технических специальностях [5,27]. Некоторые претензии работодателей к подготовке инженерно-технических кадров связаны с проблемой качества инженерно-технического образования. С

проблемой образования связана также и проблема адаптации молодых специалистов и организации практико-ориентированного образования, в том числе производственной практики. В ситуации дефицита рабочих мест для молодых ИТС одновременно со спросом на опытные инженерно-технические кадры эксперты предлагают облегчить переход опытных инженеров из отраслей, приходящих в упадок, в развивающиеся отрасли, учитывая, что многие инженеры, потерявшие работу в результате структурных изменений в экономике, могут обладать существенным управленческим опытом даже при отсутствии специальных технических навыков для растущих отраслей [26].

Фактором нехватки инженерно-технических кадров также является относительно низкий уровень заработной платы инженеров (по отношению к оплате труда специалистов аналогичной квалификации в других отраслях), определяющий престижность данного вида деятельности [28].

В то же время, если рассматривать отдельные вакансии (размещенные на сайтах зарубежных рекрутинговых компаний или в онлайн-журналах), то можно отметить, что в среднем заработная плата инженеров выше, чем для многих профессий финансового сектора. Однако входные требования к этим специалистам оказываются выше, чем, например, для специалистов в сфере финансов. По мнению экспертов, многие инженеры предпочитают работу в сфере финансов и управления сразу после получения степени, что является причиной дефицита инженерных специалистов в отраслях промышленности [29]. Таким образом, увеличение числа выпускников инженерных специальностей в этом случае не ведет к удовлетворению спроса на инженеров с 5-10-летним опытом работы. Это объясняется тем, что выпускники вузов и ссузов получают степень (инженера в строительстве, механика, химика, электрика и т.п.), которая является лишь началом его профессионального пути. Только после работы в некоторой отрасли определяется специализация, будь то инженер в области авиакосмического машиностроения, инженер на транспорте, в промышленности, инженер-нефтяник и др. [26]. В то же время негативная демографическая ситуация, сложившаяся во многих европейских странах, а также снижение интереса молодежи к техническим



специальностям (см. [30,31]) ведут к продолжительному снижению предложения инженерно-технического труда.

Таким образом, при внимательном рассмотрении проблема дефицита ИТС предстает многоплановой (см. также [32]). Например, в США в 2013 г., несмотря на продолжение спада во многих отраслях, наблюдалась нехватка ученых и инженеров, при этом потребность экономики в научно-технических кадрах превышала выпуск специалистов данного профиля из учебных заведений. Предполагалось, что даже при существующем выпуске специалистов научно-технических направлений будет существовать дефицит на рынке труда специалистов в области науки и технологий. В то же время безработица среди научно-технических кадров росла [18], так же как росла доля подготовленных специалистов в области науки и технологий, не занятых по специальности [33] или ушедших в другие области (по оценкам экспертов Census, в 2014 г. 74% получивших бакалаврскую степень по научно-техническим специальностям, не работали в сфере науки и технологий [34]). Отраслевые диспропорции распределения кадров заключались в том, что в частном секторе США, в отраслях промышленности зачастую действительно отмечался дефицит инженерных кадров, в то время как академический и государственный сектор могли испытывать даже избыточное предложение инженеров [35]. Более тщательное исследование, в результате, приводит к выводу о неоднозначности существования или отсутствия дефицита инженерно-технических кадров при более вероятном структурном несоответствии.

Несмотря на существование структурных диспропорций на рынке труда инженерно-технических кадров, некоторые развитые страны (например, Австралия, Германия, Великобритания) все же уделяют внимание возможности наращивания выпуска специалистов инженерно-технических профессий в целях восполнения дефицита инженерных кадров и для обеспечения будущего инновационного развития, а также в интересах экономической безопасности [36].

В России снижению предложения труда ИТС способствовали такие факторы как разрушение промышленного производства в 1990-х гг., снижение

престижности инженерного труда, массовый уход инженеров в другие профессии. Экономический рост 2000-х гг. и расширение сферы высшего образования стимулировали некоторое увеличение подготовки ИТС (рис.1.1). Тем не менее, темпы роста выпуска ИТС отставали от совокупного выпуска специалистов [37].

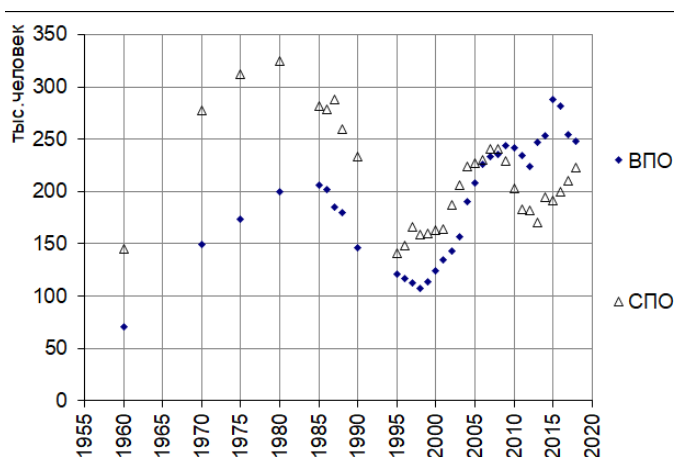


Рис.1.1. Выпуск ИТС в высшем (ВПО) и среднем (СПО) профессиональном образовании учебными заведениями в РСФСР (1960–1987) и России (1990–2018), по данным [38,61].

Увеличению диспропорций между объемом спроса и предложения труда ИТС в России способствовал рост потребности в ИТС средней квалификации, возникший в том числе по причине продолжительного снижения выпуска специалистов со средним специальным образованием. Так, в 2008 г. численность инженеров в расчете на 10 техников составляла около 19, в 2014 г. — примерно 25, что свидетельствует о значительном темпе изменения пропорции в профессионально-квалификационной структуре ИТС (расчет по данным [6,38]). При этом экспертами отмечается, что особо сложные профессии современного промышленного производства требуют привлечения рабочих со средним профессиональным образованием [39], а в отдельных случаях и с высшим профессиональным образованием, которые смогли бы эффективно работать на высокотехнологичном оборудовании [40]. По оценкам работодателей, до 50% выпускников после приема на работу направляются ими на профессиональную переподготовку или в систему повышения квалификации [41].

По существовавшим на тот момент оценкам, к 2008 г. общий дефицит инженеров в России достигал 25% от имеющейся потребности [42], а за период 2010–2014 гг. наблюдался четырехкратный рост количества вакансий для ИТС [43]. При этом, дефицит кадров в промышленности наблюдался на всех уровнях [44,45,46]: от управленческого уровня, инженеров, специалистов с начальным и средним техническим образованием до высоко- и среднеквалифицированных рабочих [47].

Проблема нехватки, а также роста среднего возраста занятых ИТС особенно характерна для отраслей обрабатывающей промышленности и ОПК [48,49]. По данным [50], в 2013 г. инженеры были наиболее востребованы в таких отраслях, как радиоэлектроника, сервисное обслуживание, химическая промышленность, металлургия, энергетика, телекоммуникации, автомобилестроение, авиационная промышленность, нефтяной сектор, пищевое производство и др.

На снижение предложения труда ИТС оказывали также влияние факторы, которые также отмечались для других стран: снижение престижности профессии (по данным ВЦИОМ, рейтинг престижности профессии инженеров и ученых в период 2009–2018 гг. составлял 1–3% [51]) и переориентация студентов на другие направления, трудности в поиске работы по специальности при отсутствии налаженной системы переподготовки кадров и систем стажировок и профессиональных практик. Достаточно высокая доля молодых специалистов с высшим инженерно-техническим образованием уходит из специальности (оценки доли не работающих по полученной специальности составляют от 35% молодых инженеров по данным [42] до 60% по данным [50]).

В качестве фактора оттока следует также отметить неравенство в оплате труда ИТС в различных отраслях, а также более низкую оплату труда по сравнению с оплатой труда специалистов других профессий эквивалентной квалификации. Результаты проведенного анализа показывают, что неудовлетворенность условиями труда и заработной платой являются одним из основных факторов смены профессии для ИТС (см. [52]). При этом в настоящее время в России привлекательными для молодых специалистов с техническим образованием при трудностях найти работу по профилю могут быть, например, такие вакансии, как технический ана-

литик или аналитик отдела маркетинга, специалист по анализу данных, веб-дизайнер, чей уровень заработной платы в среднем выше при том же опыте работы, нежели инженеров в промышленности (по данным [53]). Цифровизация в то же время обуславливает дальнейшее размывание границ профессионально-квалификационного статуса и обуславливает дополнительную потребность в технических специалистах во всех видах экономической деятельности [54].

Многие проблемы рынка труда ИТС зачастую обусловлены существующими недостатками планирования при подготовке кадров, отсутствием участия работодателей в разработке профессиональных стандартов, отраслевого планирования потребности в специалистах соответствующего профиля. Спорным признается и переход на двухуровневую модель высшего образования применительно к техническим специалистам [55].

Следует отметить, что для дальнейшего развития экономики России, учитывая поставленные задачи инновационного развития и модернизации, опасно усугубление проблемы преемственности знаний вследствие старения и ухода опытных высококвалифицированных кадров (см. [56]), а также разрушение собственных научных школ подготовки ИТС. Одновременно следует учитывать, что как в развитых, так и в развивающихся странах наблюдается тенденция к росту потребности в ИТС в связи с новым этапом научно-технического развития, а также необходимостью реиндустриализации и возвращения части высокотехнологичных производств [57,58], расширением мирового рынка инженерных услуг [59].

Все это свидетельствует о необходимости дополнительного анализа проблемы сбалансированности рынка труда ИТС, а также разработки подходов к анализу и моделированию спроса и предложения труда ИТС.

#### **1.1.4. Причины несбалансированности спроса и предложения труда ИТС в России после распада СССР**

С целью оценки ситуации, сложившейся на рынке труда ИТС в России, в работе были проанализированы факторы, оказывавшие влияние на численность занятых и выпуск ИТС в СССР, и затем — в России.

Анализ динамики численности ИТС позволил выделить следующие основные этапы:

период 1950–1960-х гг., характеризовавшийся повышенным спросом на ИТС;  
вторая половина 1960-х гг. – середина 1970-х гг., когда рынок труда ИТС был относительно сбалансированным и резко увеличился выпуск ИТС;

вторая половина 1970-х гг. – 1991 г., начало замедления роста численности ИТС в связи с постепенно образовавшейся избыточностью предложения их труда;

1991–1999 гг. — промышленный спад, в результате которого снизился выпуск ИТС (см. рис.1.1) и увеличился отток кадров в другие отрасли;

с начала 2000-х гг. по настоящее время — оживление экономики, постепенный рост спроса и восстановление предложения труда ИТС (см. рис.1.2).

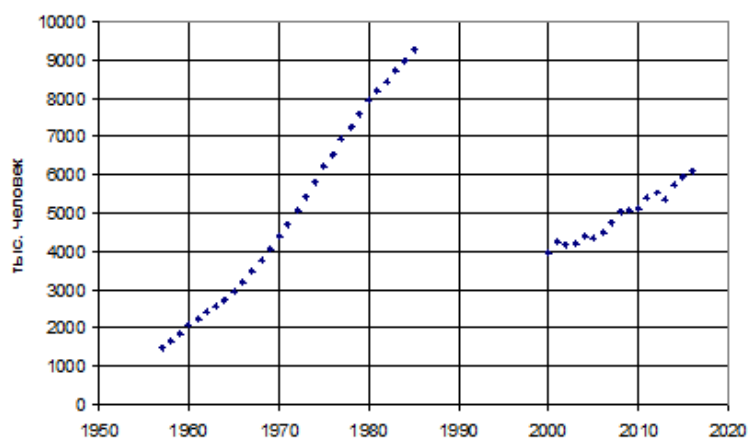


Рис.1.2. Численность занятых ИТС в РСФСР (1956–1985) и России (2000–2016), расчет по данным [6,60,61], 1985–2000 гг. нет данных.

В 1950–1960-х гг. рост спроса на ИТС был связан с процессами интенсивного послевоенного восстановления, развития наукоемких отраслей промышленности. Необходимость поддерживать научно-технологический и военный паритет с западными странами, концентрация высоких технологий и высококвалифицированных кадров в ОПК также повлияли на рост спроса на ИТС.

В 1960-х – 1970-х гг. к факторам роста потребности в ИТС добавились развитие жилищного строительства в городах, освоение целины и задачи механизации

сельского хозяйства. В 1970-х гг. общим направлением НТП стали дальнейшие механизация и автоматизация производства.

Темпы прироста численности инженеров и техников, занятых в народном хозяйстве СССР, достигали наиболее высоких значений в период 1955–1970 гг. (более 10% до 1960 г. и около 8–10% в год в 1960–1970 гг.), после чего они снизились (с 8% в 1970 г. до почти 0,5% в 1989 г., см. табл.1.1, а также табл. П2.1, П2.2а,б в Приложении 2).

Значения эластичности (соотношения темпов прироста) численности инженеров и техников по объему валового общественного продукта (ВОП) превышали 1 в периоды 1950–1963 гг. и 1964–1973 гг. (см. табл.П2.3 в Приложении 2). Динамика численности инженеров и техников примерно соответствовала росту промышленного производства (см. табл.П2.4, табл. П2.5 в Приложении 2).

Дополнительным фактором роста в 1970–1980-х гг., обусловленным НТП, стало усложнение производства и, как следствие, повышение образовательного ценза [62] (см. табл.1.2, таблицы П2.6, П2.7 в Приложении 2). В целом за период 1959–1979 гг. среднее число лет обучения работника увеличилось с 6 до 9,3 лет. Причем если в 1959 г. среди работников 56,5% составляли лица с образованием не выше начального и их средний уровень образования составлял 3,6 года, то в 1979 г. уже более половины занятых имели общее среднее образование и выше (среднее число лет обучения этой группы населения равняется 11,5 лет, по данным [63]). Это также приводило к возрастанию соотношения численности занятых инженеров и численности техников (см. табл. П2.8 в Приложении 2).

Таблица 1.1. Динамика основных социально-экономических показателей (в ценах 1989 г., млрд руб. и индекс, 1960 = 100%) и численности ИТС в СССР (расчет по данным [38]).

	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1989
Валовой общественный продукт, млрд руб.	341,1	467,3	712,0	965,2	1185,4	1410,6	1593,5
%	100	137,0	208,7	282,9	347,5	413,5	467,1

Таблица 1.1. Продолжение.

Производство промышлен- ности, млрд руб.	170,8	252,7	387,8	555,2	690,5	824,0	943,5
%	100	150,9	227,1	325,1	404,2	482,4	552,4
Численность населения, млн человек	212,4	229,6	241,7	253,3	264,5	276,3	286,7
%	100	108,1	113,8	119,3	124,5	130,1	135,0
Среднегодовая численность рабочих и служащих, млн человек	62,0	76,9	90,2	102,2	112,5	117,8	115,4
%	100	124,0	145,1	164,7	181,4	189,9	186,1
Численность инженеров, за- нятых в народном хозяйстве, тыс. человек	1135	1631	2486	3638	4914	6058	6594
%	100	143,7	219,0	324,5	433,0	533,7	581,0
Численность техников, заня- тых в народном хозяйстве, тыс. человек	1956	2887	4333	6093	7731	8950	9393
%	100	147,6	221,5	311,5	395,2	457,6	480,2

Таблица 1.2. Численность специалистов с высшим и средним специальным образо-  
ванием в СССР, занятых на промышленных предприятиях (расчет по данным [64]).

	1970	1975	1980	1985
Всего специалистов с высшим и средним специ- альным образованием, занятых на промышлен- ных предприятиях, тыс. человек, в том числе	3846	5460	7236	8779
специалистов с высшим образованием (%)	29,0	30,4	32,4	34,4
из них инженеров (% специалистов с выс- шим образованием)	74,5	73,9	72,4	72,5
специалистов со средним специальным об- разованием (%)	71,0	69,6	67,6	65,6
из них техников (% специалистов со средним специальным образованием)	79,5	77,5	75,6	74,9

Значительный рост численности ИТС в народном хозяйстве в 1950–1980 гг. был возможен благодаря существенному увеличению подготовки инженеров и техников: рост выпуска специалистов по инженерно-техническим направлениям был выше, чем по другим специальностям вузов и ссузов (см. табл. П2.9, П2.10 в Приложении 2). Если рост выпуска специалистов вузами в целом за период с 1950 по 1985 г. происходил со среднегодовым темпом прироста около 4,6%, то темп прироста выпуска по инженерно-техническим специальностям составлял около 7,8%, при этом доля выпуска ИТС среди всех выпускников вузов возросла примерно в 2 раза (в 1988 г. она составила 40,6% [65,66]).

Высокие темпы роста выпуска специалистов инженерно-технических направлений в конце 1950-х и в 1970-х гг. были связаны с повышением престижности научных и инженерных профессий, определенное влияние оказало и расширение системы высшего образования и подготовки кадров. При этом в 1950–1960 гг. наблюдался рост затрат на высшее образование и появились новые междисциплинарные и комплексные направления подготовки (например, инженер-математик, инженер-физик, врач-биофизик и т.д., см. [67]).

В конце 1970-х гг. дальнейший рост спроса на ИТС сдерживался замедлением промышленного развития: если в 1960–1970 гг. среднегодовые темпы прироста выпуска промышленности составляли порядка 10%, в начале 1970-х гг. снизились до 8%, и затем постепенно достигли 4–5% в 1980–1985 гг. (расчет по данным [38], см. также [68,69,70,71]). Определенную роль сыграли особенности развития оборонно-промышленного комплекса (ОПК) и гражданского сектора (см. [69]), а также рост непромышленного сектора (отраслей торговли, материально-технического снабжения и др., см. табл. П2.11 в Приложении 2). В структуре ВВП СССР в 1980 г. доля промышленности составляла всего 41%, сферы услуг — 38%, при этом к 1989 г. доля сферы услуг выросла до 40% при снижении доли промышленности до 32% (по данным [38]). Повышение ресурсоемкости дополнительно стимулировало развитие сырьевого сектора (см. [69]).

Темпы роста выпуска специалистов из вузов и ссузов, в том числе по инженерно-техническим специальностям, несмотря на негативные демографические



тенденции [72], в 1980-х гг. оставались довольно высокими (это видно из роста отношения выпуска ИТС к приросту численности занятых инженеров и техников, которое, без учета выбытия кадров, в 1970–1975 гг. составляло для инженеров 1,12 и для техников 1,39, в 1975–1980 гг. 1,30 и 1,59, и в 1980–1985 гг. 1,54 и 2,23 соответственно, расчет по данным [6,38]), что обусловило более медленное снижение темпов прироста численности инженеров и техников, нежели занятого населения в целом во второй половине 1980-х гг.

В 1980-х гг. выпуск ИТС снижался отчасти по причине роста интереса к другим направлениям и специальностям, вызванного расширением непроизводственной сферы, в том числе отраслей транспорта и связи, торговли, материально-технического снабжения, растущими потребностями в ремонте и техническом обслуживании, а также развитием инфраструктуры (см. [72], табл.П2.12 в Приложении 2). Еще в 1970-х гг. следствием избыточности ИТС стало постепенное снижение престижности этой группы профессий, сближение уровня заработной платы инженерно-технических работников (ИТР) и рабочих (см. табл.1.3, определение ИТР см. в параграфе 1.1.1). Доля инженеров, работавших рабочими, в численности всех инженеров, занятых на промышленных предприятиях, выросла с 2,9% в 1970 г. до 8,4% в 1985 г., а техников – с 24,2% до 40,9% (см. табл.П2.13 в Приложении 2). Согласно результатам обследования [73], к концу 1980-х гг. почти половина подготовленных молодых специалистов с высшим и средним специальным образованием не работала по специальности (см. табл.П2.14 в Приложении 2). Таким образом, к концу 1980-х гг. уже наблюдалась несбалансированность дополнительного спроса и предложения труда ИТС при некоторой избыточности подготовки ИТС, что в дальнейшем способствовало снижению престижности инженерных профессий.

Таблица 1.3. Соотношение средней продолжительности обучения, средней заработной платы и численности ИТР и рабочих в промышленности СССР в 1940–1980 гг. Расчет по данным [38,63].

Показатель / год	1940	1960	1980
Соотношение среднемесячной заработной платы ИТР и рабочих, в % к заработной плате рабочего	215	151	115
Соотношение средней продолжительности обучения ИТР и рабочего	3,6	2,2	1,5
Численность ИТР в расчете на 100 рабочих	12	11	17

В течение 1990-х гг. значительное снижение численности занятых ИТС и отток специалистов в другие отрасли объяснялись во многом резким снижением объемов производства в промышленности, главным образом, в отраслях обрабатывающей промышленности (см., табл.П2.15 в Приложении 2), а также снижением капиталоемкости продукции [70], приведшим к дальнейшей деградации материально-технической базы производства.

Снижение предложения труда ИТС, прежде всего, проявилось в оттоке квалифицированных кадров в другие сектора экономики, а также в снижении притока молодежи на технические специальности при росте интереса абитуриентов к социально-гуманитарным специальностям [74]. О значительной доле ИТС, работающих не по специальности (см. табл. П2.14 в Приложении 2), а также о возможном оттоке кадров специалистов за рубеж, может свидетельствовать и достаточно высокий коэффициент обновления кадров. В России в 2005–2010 гг. отношение суммарного выпуска инженеров вузами (с учетом выбытия) к приросту численности инженеров составляло около 2,1, что, даже принимая во внимание возможную погрешность статистических данных, выше значения для 1980-х гг. в РСФСР, равного 1,5 и для 1965–1975 гг., приблизительно равного 1,2 (расчет по данным [6,38,61]).

Промышленный кризис стимулировал также продолжение тенденции расширения сферы услуг (см. табл.П2.16 в Приложении 2). Так, в 1995 г. объем промышленного производства составлял только 54% от уровня 1991 г. и к 2016 г. по-

степенно достиг 89%. Наиболее сильно пострадало производство машин и оборудования, транспортных средств, объем производства в которых упал более чем на половину в 1990-х гг. и к 2016 г. составлял только 50–60% от выпуска начала 1990-х гг. (см. табл.1.4).

Таблица 1.4. Индексы промышленного производства Российской Федерации (1991=1); источник: [75].

	1995	2000	2005	2010	2016
Промышленное производство, в том числе	0,54	0,57	0,75	0,84	0,89
добыча полезных ископаемых	0,71	0,74	0,99	1,09	1,15
обрабатывающие производства, в том числе	0,47	0,51	0,69	0,79	0,86
химическое производство	0,55	0,7	0,82	0,93	1,23
производство машин и оборудования	0,38	0,32	0,45	0,49	0,46
производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования	0,37	0,45	1,16	1,14	1,19
производство транспортных средств и оборудования	0,45	0,53	0,53	0,5	0,66

Проведенный анализ свидетельствует о возможности существования ситуации несбалансированности дополнительного спроса и предложения труда ИТС. Это подчеркивает актуальность разработки методов и моделей для анализа и прогнозирования показателей рынка труда ИТС, а также определения мер по преодолению несбалансированности спроса и предложения труда ИТС.

## ***1.2. Анализ подходов к исследованию и моделированию спроса и предложения труда ИТС***

Начало систематического изучения ИТС как профессиональной группы и отдельного сегмента рынка труда, вероятно, следует отнести ко второй половине XX в. Среди ранних исследований в СССР можно назвать, например, работы С.Г. Струмилина [76], где показана активная роль ИТС в формировании нового технологического уклада. В работах Л.С. Бляхмана, О.И. Шкаратана и других ис-

следователей [62,77] ИТС рассматриваются как в составе совокупных трудовых ресурсов (в сопоставлении с рабочими кадрами), так и в составе отдельно рассматриваемой группы квалифицированных работников. Среди зарубежных работ начала второй половины XX в. следует отметить ряд работ, объединенных темой дефицита и прогнозирования потребности в ИТС, среди них работы К. Эрроу и У. Капрона [78], Д. Бланка и Дж. Стиглера [79] и других исследователей [80,81,82,83].

В работах 1970–1980-х гг. были рассмотрены социально-экономические последствия научно-технического прогресса (НТП), внимание уделялось анализу изменений в содержании и структуре труда [84,85,86]; ряд работ был посвящен анализу роли ИТС [87,88], особенностям труда и подготовки кадров, например, работы Л.Е. Минца и других исследователей [89,90,91], а также формированию социальной группы инженерно-технических кадров [1,92]. При этом немало внимания уделялось вопросам моделирования движения кадров и планирования трудовых ресурсов. Фундаментальными работами в этом направлении являются работы Э.Ф. Баранова, Б.Д. Бреева и др. [93,94,95]. В работе О.Т. Лебедева [96] рассмотрен частный случай планирования численности ИТС.

В настоящее время в России особое внимание уделяется проблемам рынка труда высококвалифицированных кадров, в том числе научных и инженерно-технических специалистов. В частности, в работах А.Г. Коровкина, И.Б. Королёва, И.Н. Долговой, Е.А.Единак [97], Р.И. Капелюшникова и В.Е. Гимпельсона [98,99] рассмотрены проблемы спроса и предложения квалифицированных кадров, выделены причины дефицита и избытка работников отдельных профессионально-квалификационных групп. Работы Варшавского А.Е. [100,101], Варшавского Л.Е. [102,103], Дубининой М.Г. [104], Никоновой М.А. [100], Нанавян А.М. [105] посвящены анализу проблем и показателей динамики кадров научно-технологической сферы. В частности, в работе [103] выявлены факторы, определяющие динамику научных кадров, и предложена модель прогноза их численности. Особое внимание в настоящее время уделяется проблемам преемственности [101,102,104]; дефициту квалифицированных рабочих [99,101]; риску перепроизводства рабочей силы с третьим образованием [12]. В [50] проведен анализ проблем подготовки и трудо-

устройства ИТС, в том числе сложности трудоустройства по специальности; в [106] рассмотрены особенности подготовки ИТС и их роли в инновационной экономике. В работе [107] проведен анализ микроданных трудоустройства выпускников инженерно-технических и экономических специальностей.

Исследование спроса и предложения ИТС осуществляется с помощью ряда подходов, основными среди которых являются нормативный подход и моделирование.

Нормативный подход предполагает определение целевых показателей на основе известных соотношений и используется для определения потребности в специалистах для отраслей, в которых может быть определена четкая структура кадров при ее относительной стабильности во времени. Например, при прогнозировании потребности в кадрах для строительства, где существуют четкие нормативы описания различных строительных и инженерных работ [108], в энергетике для расчета потребности в специалистах по специальностям образования [109], для информационных технологий [110]. В то же время существует проблема получения достоверных нормативов и наличия подробной статистической базы.

Общепринятые подходы к моделированию спроса и предложения ИТС, а также рынка труда ИТС в целом, основаны на разработке балансовых и матричных моделей, а также многофакторных и лаговых, в том числе динамических моделей, состоящих из нескольких блоков. Методы прогнозирования потребности в кадрах с использованием балансовых и матричных моделей были разработаны в работах Э.Ф. Баранова, Б.Д. Бреева, А.Г. Коровкина, Л.Е. Варшавского, В.А. Гуртова, Е.А. Питухина, О.Т. Лебедева, G. Evans, R. Bezdek, D. Bartholomeu, G. Psacharopoulos, A.R. Smith. Модели динамики численности трудовых ресурсов были рассмотрены в работах В. Вайдлиха, А.Г. Коровкина, Г.Г. Малинецкого, В.А. Буланичева, Л.А. Серкова, М.Ю. Хавинсона. Разработке динамических моделей для исследования рынка труда инженеров посвящены работы R. Freeman, M. Neugart, J. Ryoo и S. Rosen и других исследователей.

Кроме того, для моделирования спроса и предложения квалифицированных специалистов, в том числе ИТС, получили развитие имитационное моделирова-

ние, факторно-трендовые и гравитационные модели, оптимизационные и смешанные модели, которые не рассматриваются в данной диссертационной работе.

### **1.2.1. Балансовые и матричные модели для прогнозирования потребности в кадрах**

Балансовые методы прогнозирования потребности в кадрах специалистов разрабатывались в СССР в работах Э.Ф. Баранова, Б.Д. Бреева [93,94,95]. Среди зарубежных работ нужно выделить модели Бюро статистики труда США [111,112], Великобритании [113]. Основы методологии расчетов потребности в специалистах с помощью матриц соответствия "профессия — специальность обучения" были развиты в работах G.Psacharopoulos [114] и др. [115]. Балансовые модели оценки потребности в специалистах рассмотрены в работах G.Evans [116], R.Bezdek [117] и других исследователей.

Матричные модели планирования потребности в трудовых ресурсах основаны на аналогичных принципах, что и балансовые модели, однако в них модель для определения потребности в кадрах может быть дополнена моделями динамики макроэкономических показателей и учетом сценариев социально-экономического развития. Базовые принципы построения матричных моделей приводятся в работах [118,119,120]. Принципиальным предположением как для балансовых, так и для матричных моделей является постоянство профессионально-квалификационной структуры занятых в экономике (отрасли) [121].

Распространенным является подход к построению матричных моделей, когда изучаемый процесс движения социальных групп рассматривается как марковский процесс [122]. Анализ динамики численности научно-технических кадров с помощью данного подхода был проведен, например, в работе Варшавского Л.Е. [103]. Однако, как было показано в работе Э.Ф. Баранова и Б.Д. Бреева [94], для моделей, в основу которых положен аппарат марковских процессов, результаты, близкие к реальным, могут быть получены только на краткосрочную перспективу, расчеты на удаленную перспективу дают существенные отклонения.

Матричные модели для анализа прогнозных потребностей российского

рынка труда в специалистах рассмотрены в монографии А.Г.Коровкина [122], а также представлены в работах В.А. Гуртова, Е.А. Питухина и др. [12,123].

В настоящее время матричные модели используются, прежде всего, для прогнозирования потребности в кадрах по специальностям на краткосрочную перспективу, в некоторых работах данный блок интегрирован в макроэкономическую модель национальной экономики, а также может быть использован с целью прогнозирования структуры подготовки кадров с учетом развития новых технологий [124].

### **1.2.2. Многофакторные и лаговые модели спроса и предложения труда**

Моделирование показателей спроса и предложения может быть осуществлено с помощью многофакторных и лаговых моделей.

Преимущество использования моделей экстраполяции тренда или авторегрессии состоит в их относительной простоте и надежности [125]. Однако авторегрессионные модели не дают представления о факторах, воздействующих на изменение рассматриваемых показателей. А.Г. Коровкиным [122] отмечается, что «позитивная динамика занятости носит скорее не определяющий, а подчиненный характер по отношению к другим экономическим факторам». Это свидетельствует в пользу выбора многофакторных моделей, связывающих индикаторы рынка труда с динамикой экономических показателей.

Многофакторные эконометрические модели для исследования спроса и предложения на рынке труда разработаны в работах А.Г. Коровкина [122]. В разработанной им комплексной эконометрической модели спроса и предложения на российском рынке труда выделены блоки спроса и предложения труда, каждый из которых задается регрессионными уравнениями для каждого сектора, агрегирование и равновесие определяется благодаря балансовым уравнениям.

В экономических исследованиях для описания динамики показателей, отражающих конкурентные отношения двух агентов, используются модели, аналогичные моделям межвидовой конкуренции в экологии. Модель конкуренции является примером системы с отрицательной обратной связью, в которой рассматривается взаимодействие двух подсистем. В общем виде она может быть представлена системой

уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_1 (a_1 - b_{12}x_2 - c_1x_1) \\ \frac{dx_2}{dt} = x_2 (a_2 - b_{21}x_1 - c_2x_2) \end{cases} \quad (1.1)$$

где параметры  $x_1$ ,  $x_2$  — численность агентов в конкурирующих группах,  $c_1$ ,  $c_2$  — константы, ограничивающие численность,  $b_{12}$ ,  $b_{21}$  — константы, определяющие характер взаимодействия.

Модель конкуренции применительно к исследованию экономических систем встречается при анализе олигополистических рынков (конкуренции фирм) [126], экономической динамики в модели Гудвина [127], а также при анализе социально-экономических систем. Данный вид моделей рассмотрен в работах А.Г. Коровкина [122], В. Вайдлиха [128] для изучения согласования динамики вакантных рабочих мест и рабочей силы на рынке труда, В.А. Буланичева и Л.А. Серкова [129] для анализа развития образовательной системы в ситуации конкуренции учебных заведений. В работе [130,131] на основе нелинейных моделей была проанализирована динамика численности занятых, а также численности занятых иностранных граждан в отдельных регионах России, что позволило провести анализ оценки уровня занятости среди возрастных групп населения. К ним также можно отнести нелинейные модели, которые могут быть адаптированы для исследования образовательных систем и прогнозирования подготовки кадров (см., например, [132]).

Отдельным видом моделей являются динамические модели рынка труда специалистов, которые представляют собой систему уравнений, в которой используются в качестве отдельных блоков модели численности занятых специалистов и выпуска по соответствующей специальности. При этом, учитывая временной лаг подготовки кадров соответствующей квалификации, динамика движения к равновесию на рынке труда в данных моделях оказывается паутинообразной, то есть подстройка спроса и предложения происходит постепенно в течение некоторого периода времени.

При построении моделей данного типа предполагается, что численность за-



нятых высококвалифицированных специалистов определяется, прежде всего, динамикой выпуска специалистов из учебных заведений [79], и при этом предложение труда специалистов в значительной степени взаимосвязано со спросом на рынке труда данной категории специалистов, причем влияние оказывают не только факторы, определяющие предложение труда, но также и спрос на данную категорию специалистов в предыдущие периоды [133].

Динамика рынка труда инженеров была проанализирована с помощью паутинообразной модели (recursive cobweb model) в работе R.Freeman [134]. В данной модели предложение рабочей силы, представленное численностью выпуска бакалавров инженерно-технических специальностей, зависит от заработной платы (с лагом в 4 года), которая, в свою очередь, зависит от предложения рабочей силы в том же периоде и спроса на труд ИТС. Более высокий выпуск в году  $t$  снижает (за счет увеличения предложения) средний уровень оплаты труда, и, таким образом, приводит к более низкому притоку абитуриентов на данную специальность в году  $t$ , воздействуя и на будущее предложение труда и на уровень заработной платы инженеров.

Паутинообразная модель, предложенная R.Freeman [134], состоит из 4 блоков:

1. Формирование потока абитуриентов:

$$ENT = a_1 \cdot SAL^*(0) - a_2 \cdot ASAL^*(0) + \mu_1 \quad (1.2)$$

2. Предложение труда выпускников (бакалавров инженерных специальностей):

$$GRAD = b_1 \cdot ENT(-4) + b_2 \cdot [SAL(-3) + SAL(-2)] + b_3 \cdot [ASAL(-3) + ASAL(-2)] + \mu_2 \quad (1.3)$$

3. Определение уровня оплаты труда:

$$SAL = c_1 \cdot RD + c_2 \cdot DUR - c_3 \cdot GRAD + \mu_3 \quad (1.4)$$

4. Формирование ожиданий уровня оплаты труда (рассмотрены 2 варианта):

$$(a) SAL^* = SAL; ASAL^* = ASAL; \quad (1.5)$$

$$(b) SAL^* = \lambda \cdot SAL + (1-\lambda) \cdot SAL^*(-1); ASAL^* = \lambda \cdot ASAL + (1-\lambda) \cdot ASAL^*(-1) \quad (1.6)$$

где ENT – численность абитуриентов, поступивших на инженерные специальности; SAL\* – ожидаемый уровень оплаты труда инженеров 4 года или более спустя после года поступления (в момент  $t+4$ ); ASAL\* – ожидаемый уровень оплаты труда альтернативных профессий 4 года или более спустя после года поступления (в момент

t+4); SAL – фактический уровень оплаты труда инженеров; ASAL – фактический уровень оплаты труда по альтернативным профессиям; GRAD – численность выпускников (бакалавриата) по инженерным специальностям; RD – расходы на НИОКР; DUR – выпуск продукции длительного пользования.

В работе R.Freeman [134] было показано, что циклические колебания предложения труда инженеров, проявляющиеся в виде дефицита и избытка ИТС, определяются, помимо изменения заработной платы, также циклическими колебаниями макроэкономических показателей; в качестве дополнительного фактора спроса на ИТС рассматривались расходы на НИОКР. В работах K.Arrow, S.Rosen и других исследователей [78, 135, 136] затем было показано, что к факторам спроса можно также отнести объем расходов на оборону.

В работе [137] отмечалось, что применение модели может быть ограничено в связи с низкой эластичностью заработной платы по объему спроса и предложения специалистов в краткосрочном периоде. Впоследствии в ряде работ [135, 138, 139, 140] были рассмотрены модификации модели. Основные предложения сводились к следующим: замена абсолютной величины заработной платы по специальности относительной (например, по отношению к заработной плате специалистов высшей квалификации); выбор в качестве эндогенной переменной в моделях спроса не уровня заработной платы, а численности занятых инженеров; учет фактора «заинтересованности» абитуриентов (престижность профессии, уровень успеваемости студентов). Кроме того, предлагалось рассматривать модели с учетом разных форм ожиданий: текущих (naive expectations); адаптивных (adaptive); рациональных (rational). Также разрабатывались модели предложения специалистов по нескольким группам специальностей и др.

В работе J.Ryoo и S.Rosen [135] разработана модель рынка труда ИТС, где дополнительно учтены микроэкономические основания выбора образовательной траектории, в частности предложение труда зависит от дисконтированной стоимости будущих заработков. В данной модели предполагается, что предложение труда (поток абитуриентов в инженерные колледжи) зависит от ожидаемых перспектив карьерного роста (доходов, полученных при работе в должности инженера-

ра) в сравнении с выбором альтернативной профессии, а также учитывается эффект престижности направления подготовки (количество поступивших студентов в прошлом году). Модель состоит из следующих блоков:

1) спрос на труд инженеров (блок заработной платы):

$$w_t = -\alpha_1 N_t + \alpha_2 y_t, \quad (1.7)$$

где  $w_t$  – уровень заработной платы инженеров,  $N_t$  – численность занятых инженеров,  $y_t$  – прочие факторы спроса;

2) предложение труда инженеров (блок численности абитуриентов инженерных специальностей):

$$s_t = \gamma_1 V_t - \gamma_2 x_t + \gamma_3 s_{t-1}, \quad (1.8)$$

где  $s_t$  – численность абитуриентов, выбравших инженерные специальности в году  $t$ ,  $V_t$  – дисконтированная стоимость будущих заработков, ожидаемая абитуриентами

$$V_t = E_t \sum_{i=k}^{\infty} \beta^i w_{t+i}, \quad (1.9)$$

где  $E_t$  — обозначение математического ожидания,  $\beta$  — ставка дисконтирования,  $\beta = (1-\delta)/(1+r)$ ,  $r$  — процентная ставка;  $x_t$  — факторы предложения труда (карьерные перспективы в случае выбора другой профессии – дисконтированная стоимость доходов по альтернативным профессиям).

3) блок численности занятых инженеров:

$$N_{t+k} = (1-\delta)N_{t+k-1} + s_t, \quad (1.10)$$

где  $\delta$  — коэффициент выбытия рабочей силы для данного периода.

Учет лаговой переменной  $s_{t-1}$  в (1.8) объясняется существованием запаздывания, обусловленного ограниченной доступностью образования (расширение сектора образования предполагает инвестиции в открытие новых вузов и ссузов, найм и подготовку дополнительного преподавательского состава), а также эффектом влияния мнения сверстников (популярностью выбора данного направления подготовки, peer effect). Изменение численности занятых инженеров (1.10) определяется уравнением движения (приток равен численности выпускников, выходящих на рынок труда, за вычетом выбытия из профессии). Запаздывание между принятием

решения абитуриента о поступлении на данную специальность и выходом на рынок труда ( $k$ ) для инженеров составляло 4 года (время подготовки бакалавра).

Динамические модели рынка труда специалистов, предложенные R.Freeman и его последователями, позволили осуществлять анализ динамики рынка труда различных профессионально-квалификационных групп с учетом специфических факторов, оказывающих влияние на изменение спроса и предложения труда этих специалистов.

Таким образом, анализ известных подходов показывает перспективность дальнейшего развития динамических моделей, связывающих отдельные блоки спроса и предложения труда ИТС и учитывающих как поведенческие особенности агентов при выборе будущей специальности, так и макроэкономические факторы спроса на рассматриваемую категорию специалистов.

### ***1.3. Методология исследования***

#### **1.3.1. Основные источники информации**

Основными источниками данных по численности и подготовке научных и инженерно-технических кадров в СССР (РСФСР) являются статистические сборники, перечень которых приведен в табл. ПЗ.1 в Приложении 3.

Для России основными источниками информации по численности ИТС являются отдельные обследования Росстата. В диссертации используются данные обследований "О численности и потребности организаций в работниках по профессиональным группам" и "Сведения о распределении численности работников по размерам заработной платы", которые охватывают приблизительно 26–27% [6,7] от организаций всех видов экономической деятельности, включенных в основу выборки (генеральную совокупность объектов статистического наблюдения). В работах [141,142] для анализа профессионально-квалификационной структуры кадров используются данные Обследования населения по проблемам занятости Росстата (ОНПЗ) (однако следует отметить, что база обследования которого составляет приблизительно менее 1% численности населения России тру-

доспособного возраста [143], что не позволяет с достаточной точностью проводить исследования для отдельных профессионально-квалификационных групп).

Основными источниками статистической информации по численности научных работников и ИТС в США являлись отчеты и статистические публикации Национального научного фонда (NSF), Бюро статистики труда (BLS, обследования Occupational Employment Statistics, Current Employment Statistics) и Бюро переписи (Current Population Survey, CPS). Оценки численности ИТС, предоставляемые в этих источниках, могут значительно отличаться, что является следствием различия в подходах к отнесению работников в профессионально-квалификационные группы. В качестве источника статистических данных по численности подготовленных специалистов в США были использованы отчеты Национального центра статистики образования (National Center of Education Statistics, NCES [144]).

Данные по численности ИТС Германии, Великобритании, Франции и др. получены из статистических баз данных MOT [178] или статистической отчетности национальных агентств (например, для Канады [145]). В статистике MOT по численности трудовых ресурсов для различных стран в основном используются национальные профессиональные классификации (National Standard Classification of Occupations, NSCO), редко — международная классификация ISCO или SOC (например, данные по Великобритании, Франции, Германии за 2000 г.). Источниками данных по трудовым ресурсам различных стран являются переписи населения (Population census; Household survey) или специальные исследования трудовых ресурсов (Labour force survey), методология которых определяется страной проведения обследования. Как правило, методологии учета предусматривают выделение нескольких профессиональных групп ИТС (например, по отраслевому признаку — ИТС в области химического производства, машиностроения и т.п.; по уровню квалификации — инженеры и техники/технологи).

Помимо этого, были также использованы данные UNESCO [5] и Eurostat [146]. Система существующих статистических показателей стран OECD [147] позволяет также анализировать показатели численности научно-технических кадров, включающих ИТС, такие как: доля дипломированных ИТС в общей численности специ-

алистов с высшим и средним специальным образованием (Total Engineering Qualifications as % of All Qualifications in the Labour Force); доля научно-технических работников в общей численности занятых в экономике (Human Resources in Science and Technology as % of total employment); доля ученых и инженеров в общей численности занятых в экономике (Scientists and Engineers as % of total employment). Наличие квалификации подразумевает профессиональную подготовленность специалиста к определенному виду деятельности, подразумевающую получение образования, формально подтверждаемого наличием свидетельства о получении специального/ профессионального образования (диплома, сертификата, других свидетельств, выдаваемых уполномоченными органами) [148].

В качестве источников статистической информации по численности учащихся и выпускников инженерно-технических специальностей были использованы базы данных и аналитические отчеты OECD, UNESCO, Eurostat и NSF. Сопоставление данных по специальностям высшего и среднего специального образования по данным Росстата со статистическими данными других стран в диссертации было осуществлено согласно Общероссийскому классификатору специальностей по образованию (ОКСО), гармонизированному с МСКО.

Информационной базой исследования были:

- официальная статистика Росстата (Российский статистический ежегодник, данные обследований "О численности и потребности организаций в работниках по профессиональным группам" и "Сведения о распределении численности работников по размерам заработной платы") [6,7,61].
- статистические ежегодники "Народное хозяйство СССР" за 1955-1990 гг. [38], "Труд в СССР" за 1988 г. [73], "Народное образование, наука и культура в СССР" за 1971 и 1989 гг. [65,66]
- статистические базы данных МОТ [178]; статистические данные национальных агентств (например, для Канады [145]); данные отчетов UNESCO [5]; базы данных OECD [147]; база данных Eurostat [146]; отчеты и статистические публикации Национального научного фонда США (NSF) [149], отчеты и база данных Бюро статистики труда США (BLS) [150]; отчеты и база данных Бюро переписи

населения США (Current Population Survey, CPS) [151]; отчеты Национального центра статистики образования (National Center of Education Statistics, NCES [144]); база данных Бюро экономического анализа США (Bureau of economic analysis, BEA) [152]; база данных World Bank [182].

### **1.3.2. Методологическая основа исследования**

Разработка моделей для анализа и оценки возможной степени сбалансированности спроса и предложения ИТС в диссертации проводилась в следующей последовательности.

#### **1. Предварительный анализ и выявление факторов.**

На основе ретроспективного анализа численности занятых ИТС (глава 1 параграф 1.1.2) в РСФСР (1950–1989 гг.) и России (2000–2016 гг.), с помощью эконометрического анализа (глава 2 параграфы 2.1.1 и 2.1.2), были выявлены факторы, влияющие на численность выпуска и занятых ИТС. Выявленные группы факторов были учтены на этапе разработки моделей численности занятых ИТС.

#### **2. Разработка модели для анализа динамики численности занятых ИТС.**

В главе 2, параграф 2.2 с использованием результатов анализа существующих подходов к моделированию рынка труда специалистов, была разработана модель численности занятых ИТС, основанная на тех же принципах, что и динамические модели рынка труда специалистов (см. подробнее главу 1, раздел 1.2.2). Модель состоит из 3 блоков: блок относительного уровня заработной платы, блок численности выпуска ИТС и блок численности занятых ИТС.

**3. Разработка динамической модели выпуска ИТС с учетом выпуска по другим направлениям подготовки.**

В главе 2, параграф 2.3, была разработана нелинейная динамическая модель численности выпуска специалистов, позволяющая учесть выпуск по различным направлениям подготовки. Далее для модели выпуска ИТС разрабатывались модификации, учитывающие возможный отсев и мобильность специалистов в процессе обучения (глава 2, раздел 2.3.2).

4. Разработка макроэкономической модели для анализа степени сбалансированности спроса и предложения ИТС.

В главе 3, параграф 3.1, для дальнейшего анализа и прогнозирования степени сбалансированности спроса и предложения труда ИТС при различных сценариях развития экономики с использованием разработанных ранее моделей численности занятых ИТС (глава 2, параграф 2.2) и модели динамики выпуска ИТС с учетом выпуска специалистов по направлениям подготовки (глава 2, параграф 2.3) была разработана макроэкономическая модель, включающая дополнительно блоки выпуска промышленности, сектора услуг, а также инвестиций в экономику в целом и промышленность, а также блоки, позволяющие оценить объем спроса и предложения труда ИТС.

5. Анализ возможной степени сбалансированности спроса и предложения труда ИТС на краткосрочную перспективу.

При анализе сбалансированности спроса и предложения труда ИТС (глава 3 параграф 3.2.2) спрос на труд ИТС ( $DET_t$ ) был определен как дополнительная потребность в ИТС (аналогичный подход для оценки дополнительного спроса на специалистов применен в работе [12], см. также раздел 1.1.2) следующим образом:

$$DET_t = ET_t - (1 - u)ET_{t-1}, \quad (1.11)$$

где  $u$  — коэффициент, характеризующий дополнительную потребность, связанную с выбытием кадров и появлением вакантных мест, величина которого определялась на основе известных на момент проведения расчетов оценок экспертов.

Предложение труда ИТС при анализе сбалансированности оценивалось как выпуск специалистов со средним и высшим инженерно-техническим образованием (аналогичная методология оценки предложения квалифицированных кадров была предложена в работе [44]).

Для оценки степени сбалансированности спроса и предложения ИТС в краткосрочном периоде сравнивались полученные оценки объема дополнительного спроса на ИТС ( $DET_t$ ) и предложения, определяемого численностью выпускников с учетом доли молодых специалистов, работающих по специальности после выпуска ( $SGE_t$ ). На основе проведенного анализа были сделаны выводы и рекомендации относитель-



но возможных траекторий достижения сбалансированности спроса и предложения труда ИТС.

При выборе сценариев в главе 3 (раздел 3.2.2) были использованы данные Прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2024 года Минэкономразвития [153]. Далее в разделе 3.2.2 был проведен анализ возможной степени сбалансированности спроса и предложения труда ИТС для периода 2020–2024 г. для разработанных сценариев с использованием двух методов расчета. Первый метод расчета основан на получении показателей спроса и предложения труда ИТС с использованием разработанной макроэкономической модели (параграф 3.1); согласно второму методу расчета определение потребности в ИТС осуществляется с помощью нормативного соотношения численности инженеров в расчете на 1 млрд долл. ВВП (Приложение 1), а предложения труда в ИТС — модели выпуска ИТС (раздел 2.3.1).

6. Решение оптимизационных задач с целью нахождения параметров макроэкономической динамики, соответствующих сбалансированности спроса и предложения ИТС.

В главе 3, параграф 3.3, с целью определения параметров экономического развития, при которых возможно достижение сбалансированности спроса и предложения ИТС, было получено решение задачи оптимизации (минимизации суммы квадратов разности дополнительного спроса на ИТС ( $DET_t$ ) и предложения ( $SGE_t$ ):

$$\sum_t (DET_t - SGE_t)^2 \rightarrow \min_x \quad (1.12)$$

где  $x$  — параметры оптимизации (доля инвестиций в основные фонды обрабатывающей промышленности в инвестициях в основные фонды промышленности в целом; отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности; доля специалистов, работающих по специальности после выпуска).

Решение оптимизационных задач позволяет получить условия, при которых возможно достижение сбалансированности спроса и предложения ИТС в средне-

срочном периоде, и предложить соответствующие рекомендации с учетом сформулированных сценариев развития.

### ***Выводы***

Проведенный анализ причин несбалансированности спроса и предложения труда ИТС в России и зарубежных странах показал необходимость дополнительного исследования проблемы несоответствия спроса и предложения труда ИТС. В целях перспективного планирования и прогноза спроса и предложения ИТС и разработки рекомендаций по достижению сбалансированности спроса и предложения труда ИТС с учетом влияния инженерно-технического кадрового потенциала на долгосрочное научно-технологическое развитие и экономический рост, целесообразна разработка моделей и методов для анализа спроса и предложения ИТС и оценки степени их сбалансированности на перспективу.

В данной диссертации предлагается подход к исследованию степени сбалансированности спроса и предложения ИТС с помощью экономико-математического моделирования. Для этого были проведены:

- предварительный анализ с целью выявления факторов спроса и предложения ИТС (глава 2, параграф 2.1),
- разработка модели численности занятых ИТС (глава 2, параграф 2.2),
- разработка динамической модели численности выпуска специалистов с учетом выпуска по направлениям подготовки (глава 2, параграф 2.3),
- разработка макроэкономической модели для анализа степени сбалансированности спроса и предложения ИТС (глава 3, параграф 3.1);
- осуществление сценарного анализа и получение предварительных оценок степени сбалансированности спроса и предложения ИТС в краткосрочном периоде (глава 3, раздел 3.2.2);
- нахождение условий сбалансированности спроса и предложения труда ИТС на среднесрочную перспективу с помощью решения оптимизационных задач (глава 3, параграф 3.3).

## **Глава 2. Разработка моделей для анализа динамики численности занятых и выпуска инженерно-технических специалистов**

В данной главе были проанализированы факторы, влияющие на численность занятых и выпуск ИТС, разработаны модель численности занятых ИТС, а также модель численности выпуска ИТС, позволяющая учесть динамику выпуска специалистов по другим направлениям подготовки.

### ***2.1. Выявление факторов, влияющих на показатели спроса и предложения труда ИТС***

В данном разделе для разработки моделей численности занятых и численности выпуска ИТС с помощью эконометрического анализа проведено выявление факторов, оказывающих влияние на спрос и предложение труда ИТС. В результате проведенного анализа с использованием пространственных выборок по данным для разных стран выделены факторы, которые следует учитывать при дальнейшей разработке моделей показателей спроса и предложения труда ИТС.

#### **2.1.1. Факторы, влияющие на показатели спроса и предложения ИТС**

Анализ структуры занятости ИТС по отраслям показывает, что около 40–45% ИТС заняты в промышленности (расчеты за 1980–1988 гг. по данным [38] и за 2008–2018 гг. по данным [6,7]), что позволяет предположить, что на колебания численности занятых ИТС будут оказывать влияние динамика промышленного производства, в первую очередь, обрабатывающей промышленности и ВПК, на что также обращалось внимание в работах [78,134,135,136]. Кроме того, учитывая влияние НТП на развитие промышленного производства, расходы на НИОКР могут выступать дополнительным фактором, влияющим на численность занятых ИТС (см. также [79]).

Целесообразно учитывать также тенденции роста доли ИТС, занятых в отраслях услуг, связанных с профессиональной деятельностью (деятельность в компьютерной деятельности и информационных технологиях, консультационные профессиональные услуги, НИОКР — (Professional, Scientific and Technical

Services)). Рост доли сектора услуг в целом в ВВП, включающего в том числе отрасли услуг, связанных с профессиональной деятельностью, может оказывать двойственное влияние на численность занятых ИТС: в целом, расширение сектора услуг (отраслей персональных услуг, финансов, недвижимости) может быть не связано с ростом промышленного производства или быть результатом деиндустриализации, однако, развитие отраслей услуг в области ремонта, транспорта и связи, профессиональной деятельности, связанной с инженерным консультированием, НИОКР связаны с созданием новых рабочих мест для инженеров и специалистов в области науки и техники (см. [154,155]).

При моделировании показателей предложения труда возникает необходимость учитывать следующие факторы: демографические, ожидаемую степень экономической активности трудоспособного населения, показатели внутренней и внешней мобильности труда, показатели функционирования системы образования (например, расходов на третичное образование как фактор появления дополнительных бюджетных мест), характеристики престижности профессии (соотношение предложения труда и имеющихся вакансий, доля работающих не по специальности) [4]. Однако в работе [156] было показано, что демографические тенденции оказывают значительно меньшее влияние на предложение труда научно-технических работников, нежели условия труда данных профессиональных групп и факторы со стороны спроса на труд, влияющие на выбор данных профессий. При этом в [79,133,136] отмечалось, что предложение труда высококвалифицированных специалистов (в числе которых архитекторы, инженеры и др.) определяется, прежде всего, динамикой выпуска специалистов данных специальностей.

Уровень заработной платы также, как правило, рассматривается как фактор, определяющий численность занятых или объем предложения труда в экономико-математических моделях. В [135] отмечается целесообразность использования не абсолютного показателя уровня заработной платы, а относительного.

Таким образом, в данной работе для последующего анализа были отобраны следующие группы факторов:

факторы, характеризующие промышленное развитие (например, доля ВДС обрабатывающей промышленности, доля ВДС высокотехнологичных и среднетехнологичных отраслей, доля занятых в обрабатывающей промышленности, доля занятых в высокотехнологичных и среднетехнологичных отраслях);

факторы научно-технического развития (например, доля расходов на НИОКР в ВВП, расходы на НИОКР в промышленности);

факторы, характеризующие долю сектора услуг в ВВП, а также отдельных отраслей сектора услуг;

относительный уровень оплаты труда в отраслях экономики, отражающий относительную предпочтительность трудоустройства в некоторой отрасли;

социально-экономические факторы, влияющие на развитие человеческого капитала (доля расходов на третичное образование в ВВП, индекс Джини).

### **2.1.2. Выявление факторов, влияющих на численность занятых ИТС, с использованием эконометрического анализа**

Для выявления факторов, влияющих на численность занятых ИТС, был проведен корреляционный анализ и разработаны многофакторные регрессионные модели с использованием данных для стран ОЭСР. В связи с тем, что данные по численности отдельных профессиональных групп ИТС для многих стран отсутствуют, были рассмотрены также и укрупненные профессионально-квалификационные группы научно-технических работников (например, Росстат выделяет группу «специалистов в области естественных и технических наук», включающую инженеров, см. [6] и параграф 1.3.1). В качестве эндогенных переменных моделей были рассмотрены: доля дипломированных ИТС в общей численности специалистов с профессиональным образованием (Total Engineering Qualifications as % of All Qualifications in the Labour Force (см. подробнее 1.3.1),  $Y_1$ ); доля научно-технических работников в общей численности занятых в экономике ( $Y_2$ ); доля ученых и инженеров в общей численности занятых в экономике ( $Y_3$ ).

Было исследовано влияние следующих факторов:

доля валовой добавленной стоимости (ВДС) промышленности в ВВП ( $X_1$ ), доля НДС обрабатывающей промышленности (ОП) в ВВП ( $X_2$ ), доля НДС добывающих отраслей в ВВП ( $X_3$ ), доля НДС высокотехнологичных производств в ВВП ( $X_4$ ), доля НДС высоко- и среднетехнологичных производств (ВСТП) в ВВП ( $X_5$ ),

доля НДС сектора услуг в ВВП ( $X_6$ ), доля НДС услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг в ВВП ( $X_7$ ), доля суммарной НДС деятельности в области компьютерных технологий и сферы НИОКР в ВВП ( $X_8$ ), доля суммарной НДС деятельности в области компьютерных технологий и НИОКР в НДС услуг в области финансов, страхования, недвижимости и других профессиональных услуг ( $X_9$ ), доля НДС услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг за исключением суммы НДС деятельности в области компьютерных технологий и НИОКР в ВВП ( $X_{10}$ ),

соотношение НДС высоко- и среднетехнологичных производств и НДС сектора услуг ( $X_{11}$ ), соотношение НДС высоко- и среднетехнологичных производств и НДС услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг ( $X_{12}$ ), соотношение НДС высокотехнологичных производств и НДС сектора услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг ( $X_{13}$ ), соотношение численности занятых в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг и занятых на высоко- и среднетехнологичных производствах ( $X_{14}$ ),

соотношение средней заработной платы в высоко- и среднетехнологичных производствах и заработной платы в сфере финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг ( $X_{15}$ ), соотношение средней заработной платы в области компьютерных технологий и сферы НИОКР и заработной платы в области финансов и недвижимости ( $X_{16}$ ),

расходы на НИОКР в ВВП ( $X_{17}$ ), собственные расходы промышленности на НИОКР в ВВП ( $X_{18}$ ), доля расходов на НИОКР в НДС высоко- и среднетехнологичных производств ( $X_{19}$ ),

соотношение экспорта и импорта высокотехнологичной продукции ( $X_{20}$ ), доля экспорта высокотехнологичной продукции в экспорте продукции ОП ( $X_{21}$ ), доля импорта высокотехнологичной продукции в импорте продукции ОП ( $X_{22}$ ), доля экспорта высокотехнологичной продукции в ВВП ( $X_{23}$ ), доля экспорта продукции ОП в ВВП ( $X_{24}$ ), доля импорта высокотехнологичной продукции в ВВП ( $X_{25}$ ), доля импорта продукции ОП в ВВП ( $X_{26}$ ),

доля расходов на третичное образование в государственных расходах ( $X_{27}$ ), расходы на высшее образование в расчете на 1 студента к ВВП на душу населения ( $X_{28}$ ), соотношение доходов 10% наиболее богатых и 10% наиболее бедных групп населения ( $X_{29}$ ), коэффициент Джини ( $X_{30}$ ).

Выявление факторов, влияющих на численность занятых инженерно-технических и научно-технических специалистов, проводилось в два этапа.

На первом этапе был проведен корреляционный анализ для 24 стран ОЭСР по данным UNESCO [5], Eurostat [146]; Всемирного банка [182]; ОЭСР [147]; Национального научного фонда США (NSF) [149]. Предварительный однофакторный анализ проводился на основе данных за 2003 г. для  $Y_1$  и 2004 г. для  $Y_2$  и  $Y_3$ .

Результаты корреляционного анализа показали, что доля дипломированных ИТС в общей численности специалистов с профессиональным образованием ( $Y_1$ ) положительно коррелирована с долей ВДС ОП ( $X_2$ ), долей ВДС высокотехнологичных производств в ВВП ( $X_4$ ), ВДС промышленности в ВВП ( $X_1$ ), долей высокотехнологичных и среднетехнологичных производств (ВСТП) в ВВП ( $X_5$ ). Отрицательная корреляция наблюдается с долей ВДС сектора услуг в ВВП ( $X_6$ ).

Доля научно-технических работников в общей численности занятых в экономике ( $Y_2$ ); доля ученых и инженеров в общей численности занятых в экономике ( $Y_3$ ) коррелированы положительно: с долей ВДС ОП ( $X_2$ ), а также долей ВДС высокотехнологичных производств в ВВП ( $X_4$ ), долей ВДС сектора услуг в ВВП ( $X_6$ ), долей ВДС услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг в ВВП ( $X_9$ ), долей экспорта ( $X_{23}$ ) и импорта ( $X_{24}$ ) высокотехнологичной продукции в ВВП, долей расходов на третичное образование (в общих государственных расходах,  $X_{27}$ ), долей затрат на НИОКР в ВВП ( $X_{17}$ ),

долей расходов на НИОКР в промышленности в ВДС промышленности ( $X_{18}$ ); отрицательно: с долей ВДС добывающих отраслей в ВВП ( $X_3$ ).

Была выявлена отрицательная корреляция всех показателей численности инженерных и научно-технических специалистов (доли дипломированных ИТС в общей численности специалистов с профессиональным образованием ( $Y_1$ ), доли научно-технических работников в общей численности занятых в экономике ( $Y_2$ ), доли ученых и инженеров в общей численности занятых в экономике ( $Y_3$ )) с уровнем неравенства (индекс Джини,  $X_{30}$ ) (см. табл.П4.1 в Приложении 4).

Для уточнения выявленных взаимосвязей с учетом вклада других факторов был проведен многофакторный анализ рассмотренных показателей (доли дипломированных ИТС в общей численности специалистов с профессиональным образованием ( $Y_1$ ), доли научно-технических работников в общей численности занятых в экономике ( $Y_2$ ), доли ученых и инженеров в общей численности занятых в экономике ( $Y_3$ )). Рассматривались линейные и логлинейные модели вида:

$$y_{i,t} = c_i + \sum_j a_{ij} x_{j,t} , \quad (2.1)$$

$$\ln y_{i,t} = c_i + \sum_j a_{ij} \ln x_{j,t} . \quad (2.2)$$

Ввиду различающихся источников данных, оценка параметров моделей для  $Y_1$  проводилась для выборки из 11 стран (Австрии, Дании, Финляндии, Франции, Венгрии, Италии, Нидерландов, Португалии, Словакии, Словении, Великобритании); для  $Y_2$  для выборки из 19 стран и  $Y_3$  для выборки из 20 стран ОЭСР, за исключением стран с более высокой долей добывающей промышленности (Норвегия, Дания, Нидерланды, Польша, Великобритания, Эстония, Чехия). Корреляционные матрицы независимых переменных приведены в табл.П4.3–П4.5 в Приложении 4. Оценки параметров многофакторных моделей были получены с использованием панельных данных за 2003–2006 гг. для  $Y_1$  и за 1999, 2004 и 2007 гг. для  $Y_2$  и  $Y_3$ , что обусловлено наличием данных для рассматриваемой группы стран. Ввиду отсутствия данных по отдельным странам для различных лет, размеры выборок для различных моделей могут отличаться. В таблицах 2.1 и 2.2 приведены



оценки параметров линейных моделей вида (2.1), в табл. 2.3 оценки параметров линейных моделей вида (2.1) и (2.2). Отбор представленных в главе моделей проводился, исходя из формальных критериев качества полученных при моделировании оценок.

Результаты многофакторного эконометрического моделирования показали, что рост доли дипломированных ИТС в численности специалистов с профессиональным образованием ( $Y_1$ ) составляет 0,8 п.п. при увеличении доли ВДС высокотехнологичных и среднетехнологичных производств в ВВП ( $X_5$ ) на 1 п.п., и снижается приблизительно на 0,4 и 0,6 п.п. при увеличении на 1 п.п. доли ВДС услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг в ВВП ( $X_7$ ), а также доли услуг в области финансов, страхования, недвижимости и других профессиональных услуг за исключением деятельности в области компьютерных технологий и сферы НИОКР ( $X_{10}$ ) соответственно, (см. табл.2.1).

При увеличении доли ВДС компьютерной деятельности и НИОКР в ВВП ( $X_9$ ) на 1% рост доли ученых и инженеров в общей численности занятых в экономике ( $Y_3$ ) составил около 1%, в то время как доли научно-технических работников в общей численности занятых в экономике ( $Y_2$ ) — почти 4 п.п. (см. табл. 2.2, 2.3). Увеличение расходов на высшее образование в расчете на 1 студента к ВВП на душу населения ( $X_{28}$ ) на 1 п.п. ведет к увеличению  $Y_2$  примерно на 0,2 п.п. Повышение доли расходов на высшее образование в госрасходах на 1% ( $X_{27}$ ) ведет к росту  $Y_3$  примерно на 0,5%, рост импорта высокотехнологичной продукции ( $X_{25}$ ) на 1% — к росту  $Y_3$  на 0,3% (см. табл.2.3).

Результаты проведенного многофакторного эконометрического моделирования подтверждают влияние таких факторов как доля ВДС ОП, высокотехнологичных и среднетехнологичных производств, сектора услуг в ВВП на численность занятых ИТС и научно-технических специалистов. Выявленные факторы в дальнейшем использованы при разработке моделей численности занятых ИТС.

Таблица 2.1. Результаты оценки параметров многофакторных моделей для доли дипломированных ИТС в общей численности специалистов с профессиональным образованием ( $Y_1$ ); по данным для выборки из 11 стран для 2003-2006 гг.

Факторы/ Номер модели	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4
Свободный член	24,85 (4,55)	22,95 (4,32)	47,50 (9,46)	23,84 (4,10)
Доля ВДС высоко- и среднетехнологичных производств в ВВП, % ( $X_5$ )	0,82 (2,95)			
Доля ВДС услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг в ВВП, % ( $X_7$ )		-0,42 (-2,54)		
Доля ВДС услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг за исключением суммы ВДС деятельности в области компьютерных технологий и НИОКР в ВВП, % ( $X_{10}$ )	-0,57 (-3,06)		-0,64 (-3,72)	-0,49 (-2,46)
Соотношение ВДС высоко- и среднетехнологичных производств и ВДС сектора услуг ( $X_{11}$ )		51,96 (3,12)		50,04 (2,89)
Коэффициент Джини ( $X_{30}$ )			-0,48 (-3,00)	
$R^2$	0,47	0,47	0,47	0,47
F-статистика	18,16	18,19	18,38	17,86
Объем выборки	44	44	44	44

Таблица 2.2. Результаты оценки параметров многофакторных моделей для доли научно-технических работников в численности занятых в экономике ( $Y_2$ ); по данным для выборки из 19 стран для 1999, 2004, 2007 гг.; по причине отсутствия наблюдений выборки для разных моделей могут отличаться.

Факторы/ Номер модели	Модель 1	Модель 2	Модель 3
Свободный член	44,37 (8,71)	17,51 (4,72)	17,34 (4,54)
Доля ВДС услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг в ВВП, % ( $X_7$ )		0,54 (3,80)	
Коэффициент Джини ( $X_{30}$ )	-0,42 (-2,74)		
Научоемкость высоко- и среднетехнологичных производств ( $X_{19}$ )	0,60 (6,54)		
Доля ВДС компьютерных услуг и услуг, связанных с НИОКР в ВДС услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг, % ( $X_9$ )			4,15 (3,77)
Соотношение средней заработной платы в высоко- и среднетехнологичных производствах и заработной платы в сфере финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг ( $X_{15}$ )			10,16 (3,73)
Расходы на высшее образование в расчете на 1 студента к ВВП на душу населения, % ( $X_{28}$ )		0,23 (4,12)	
$R^2$	0,55	0,42	0,52
F-статистика	33,13	17,18	16,27
Объем выборки	57	51	33

Таблица 2.3. Результаты оценки параметров многофакторных моделей для доли ученых и инженеров в численности занятых в экономике ( $Y_3$ ); по данным для выборки из 19 стран для 1999, 2004, 2007 гг.; по причине отсутствия наблюдений выборки для разных моделей могут отличаться.

Факторы/ Номер модели	Модель 1*	Модель 2*	Модель 3*	Модель 4**	Модель 5**
Свободный член	2,51 (4,65)	2,53 (5,73)	3,66 (8,87)	1,16 (5,77)	0,65 (4,13)
Наукоемкость высоко- и средне-технологичных производств ( $X_{19}$ )	0,11 (3,31)				
Доля ВДС высокотехнологичных производств в ВВП, % ( $X_4$ )			0,26 (2,05)		
Доля ВДС компьютерных услуг и услуг, связанных с НИОКР в ВДС услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг, % ( $X_9$ )					0,52 (4,35)
Собственные расходы промышленности на НИОКР, % ВВП ( $X_{18}$ )		1,27 (4,62)			
Импорт высокотехнологичной продукции, % ВВП ( $X_{25}$ )	0,26 (4,15)	0,26 (4,60)	0,20 (3,25)	0,28 (2,49)	
Соотношение средней заработной платы в сфере деятельности в области компьютерных деятельности и заработной платы в области финансов и недвижимости ( $X_{16}$ )				1,09 (2,89)	
Доля расходов на третичное образование в государственных расходах, % ( $X_{27}$ )					0,53 (4,03)
$R^2$	0,49	0,58	0,40	0,56	0,52
F-статистика	17,11	24,88	13,22	13,15	17,69
Объем выборки	39	39	42	24	36

\* модели вида (2.1) \*\* модели вида (2.2)

### 2.1.3. Выявление факторов, влияющих на выпуск ИТС, с использованием эконометрического анализа

Выявление факторов, влияющих на численность выпуска ИТС, проводилось на основе данных для зарубежных стран в два этапа. На первом этапе был проведен однофакторный регрессионный анализ по данным для 30 стран ОЭСР, а также Австралии, Мексики, Южной Кореи, Канады, Японии, США. Для моделирования были использованы данные за 2000, 2006 и 2013 гг., что было обусловлено наличием данных. Источниками данных служили отчет UNESCO [5], базы данных Eurostat [146]; Всемирного банка [182]; ОЭСР [147]; отчеты Национального научного фонда США (NSF) [149].

В качестве эндогенных переменных были рассмотрены: доля студентов инженерно-технических специальностей (не включая компьютерные науки) в общей численности студентов ( $Y_4$ ); доля выпускников инженерно-технических специальностей (не включая компьютерные науки) в общей численности выпуска ( $Y_5$ ).

Рассматривались следующие факторы: вышеупомянутые в разделе 2.1.1 — доля ВДС ОП в ВВП ( $X_2$ ); доля ВДС высоко- и среднетехнологичных производств (ВСТП) в ВВП ( $X_5$ ); доля расходов на НИОКР в ВВП ( $X_{17}$ ); собственные расходы на НИОКР в промышленности в % ВВП ( $X_{18}$ ); индекс Джини ( $X_{30}$ ); а также дополнительно доля суммарной ВДС добывающей промышленности, ОП, строительства и энергетики в ВВП ( $X_{31}$ ); доля занятых в ОП в общей численности занятых ( $X_{32}$ ); доля занятых в ВСТП в общей численности занятых ( $X_{33}$ ); доля инвестиций в высоко и среднетехнологичные производства ( $X_{34}$ ).

Результаты корреляционного анализа показали наличие положительной корреляции доли студентов инженерно-технических специальностей в общей численности студентов ( $Y_4$ ) и доли выпускников инженерно-технических специальностей в общей численности выпуска ( $Y_5$ ) со следующими факторами: доля суммы ВДС добывающей промышленности, ОП, строительства и энергетики в ВВП ( $X_{31}$ ); доля ВДС ОП в ВВП ( $X_2$ ), доля занятых в ОП ( $X_{32}$ ) и на высоко- и среднетехнологичных производствах ( $X_{33}$ ), доля ВДС высоко- и среднетехнологичных производств в ВВП ( $X_5$ ); доля инвестиций в высоко и среднетехнологичные производства ( $X_{34}$ ), соб-

ственные расходы на НИОКР в промышленности в % ВВП ( $X_{18}$ ) (см. табл.П4.2, Приложение 4). Дополнительный однофакторный анализ с использованием данных за 2013 г. показал, что с ростом доли ВДС ОП в ВВП на 1 п.п. ( $X_2$ ), доля выпуска ИТС увеличивается примерно на 0,6–0,9 п.п. При увеличении собственных расходов на НИОКР в промышленности (% ВВП,  $X_{18}$ ) на 1 п.п. наблюдался рост доли выпускников инженерно-технических специальностей в среднем на 5 п.п. Близкие значения полученных оценок для 2000, 2006, 2013 гг. позволяют сделать вывод об устойчивости рассмотренных взаимосвязей (см. табл.2.4).

Таблица 2.4. Взаимосвязь доли выпускников инженерно-технических специальностей в общем выпуске с отдельными социально-экономическими показателями, по данным для выборки из 30 стран, 2000, 2006, 2013 гг.

	2000			2006			2013		
	Ко-эффи-циент	Свобо-дный член	$R^2$	Коэф-фици-ент	Свобо-дный член	$R^2$	Коэф-фици-ент	Свобо-дный член	$R^2$
Доля ВДС ОП в ВВП, % ( $X_2$ )	0,95 (5,13)	-4,72 (-1,27)	0,50	0,80 (5,19)	-0,78 (-0,28)	0,52	0,60 (4,53)	4,78 (2,18)	0,48
Собственные расходы на НИОКР в промышленности, % ВВП ( $X_{18}$ )	5,77 (4,96)	6,36 (3,85)	0,45	5,67 (3,48)	4,34 (1,75)	0,61	4,50 (4,29)	7,59 (4,78)	0,47

Обозначения: в скобках указаны t-статистики,  $R^2$  – коэффициент детерминации

На втором этапе был проведен многофакторный регрессионный анализ (корреляционная матрица представлена в табл. П4.6 Приложения 4), рассматривались модели вида (2.1) – (2.2), оценки параметров которых показывают, что увеличение доли ВДС высоко- и среднетехнологичных производств в ВВП ( $X_5$ ), а также доли занятых в ОП ( $X_2$ ) на 1 п.п. ведет к росту доли студентов инженерно-технических специальностей в общей численности студентов ( $Y_4$ ) примерно на

0,5 п.п., а рост индекса Джини на 1 пункт — к снижению  $Y_4$  на 0,4 п.п. При этом прирост на 1 п.п. доли занятых в ОП ( $X_{32}$ ), а также доли занятых в ВСТП ( $X_{33}$ ) в общей численности занятых ведет к росту доли выпускников инженерно-технических специальностей в общем выпуске ( $Y_5$ ) примерно на 1 п.п., рост расходов на НИОКР в ВВП ( $X_{17}$ ) на 1 п.п. ведет к росту  $Y_5$  на 2–3 п.п., в то время как прирост индекса Джини на 1 пункт — к снижению примерно на 0,5 п.п. (см. табл.2.5, 2.6, в таблицах приведены оценки моделей за 2000 г.).

Таблица 2.5. Оценки параметров многофакторных моделей доли студентов на инженерно-технических специальностях в общей численности студентов ( $Y_4$ ); по данным для выборки из 30 стран за 2000 г.

Переменная/ Номер модели	Модель 1	Модель 2	Модель 2а	Модель 3	Модель 4
Свободный член	1,434 (0,673)	-0,205 (0,065)		22,739 (1,981)	18,735 (2,995)
Доля занятых в ОП от всех занятых в экономике, % ( $X_{32}$ )	0,475 (4,084)	0,491 (2,137)	0,477 (6,228)		
Доля ВДС высоко- и средне-технологичных производств в ВДС экономики, % ( $X_5$ )	0,492 (2,494)				
Доля занятых в высоко- и среднетехнологичных производствах, % ( $X_{33}$ )				0,901 (1,546)	
Собственные расходы на НИОКР в промышленности, % ВВП ( $X_{18}$ )		3,753 (3,913)	3,773 (4,336)		5,530 (4,945)
Индекс Джини ( $X_{30}$ )				-0,433 (-1,532)	-0,392 (-2,245)
$R^2$	0,67	0,81	0,81	0,44	0,83
F-статистика	18,86	23,99	Na	5,16	20,01
Объем выборки	22	14	14	16	11

Таблица 2.6. Оценки параметров многофакторных моделей доли выпускников инженерно-технических специальностей в общем числе выпускников ( $Y_5$ ); по данным для выборки из 30 стран за 2000 г.

Переменная/ Номер модели	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4	Модель 5	Модель 6
Свободный член	-7,914 (-3,056)	-4,360 (-1,587)	16,989 (3,892)	4,075 (1,868)	22,607 (3,691)	4,341 (2,003)
Доля занятых в ОП от всех занятых в экономике, % ( $X_{32}$ )	0,918 (6,386)	0,808 (4,590)	0,777 (5,540)			
Доля занятых в высоко- и среднетехнологичных производствах, % ( $X_{33}$ )				1,028 (3,076)	1,022 (2,894)	
Доля инвестиций в высоко- и среднетехнологичный сектор, % ( $X_{34}$ )						0,950 (2,191)
Расходы на НИОКР в ВВП (%), $X_{17}$	2,946 (5,418)			1,805 (2,421)		
Собственные расходы на НИОКР в промышленности, % ВВП ( $X_{18}$ )		3,581 (4,811)				3,140 (2,175)
Индекс Джини ( $X_{30}$ )			-0,501 (-5,436)		-0,458 (-3,156)	
$R^2$	0,86	0,85	0,90	0,56	0,75	0,64
F-статистика	36,69	36,42	44,13	11,21	17,86	9,70
Объем выборки	16	16	13	21	15	14

Проведенный в данном параграфе эконометрический анализ позволил выявить в качестве факторов, влияющих на численность выпуска ИТС, долю занятых в ОП в общей численности занятых в экономике ( $X_{32}$ ), долю ВДС ВСПП в ВВП ( $X_5$ ). Выявленные факторы учтены при разработке моделей динамики выпуска ИТС (далее в разделах 2.3.1 и 2.3.2).



## 2.2. Моделирование численности занятых ИТС

В данном разделе с учетом выявленных ранее факторов разработана модель для исследования динамики численности занятых ИТС.

**Основные предположения модели.** Предположения, лежащие в основе модели аналогичны гипотезам, на которых основаны динамические модели рынка труда (подробнее см. раздел 1.2.2). Так, 1) учитывается существование запаздывания предложения специалистов относительно спроса с учетом длительности подготовки кадров требуемой квалификации; 2) предложение труда ИТС зависит от уровня оплаты труда как в отраслях, предъявляющих спрос на ИТС, так и в отраслях, нанимающих специалистов альтернативных профессий, а также от динамики выпуска специалистов в предыдущие периоды; 3) спрос на труд может быть косвенно смоделирован с помощью блока заработной платы, который учитывает влияние как численности занятых ИТС, так и динамику отраслей, предъявляющих спрос на специалистов других профессий (сектора услуг).

**Основные блоки модели.** Разработанная в данном параграфе по данным для России модель для исследования динамики численности занятых ИТС включает 3 блока: блок отношения средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности, блок численности выпуска ИТС и блок численности занятых ИТС (см. рис.2.1).

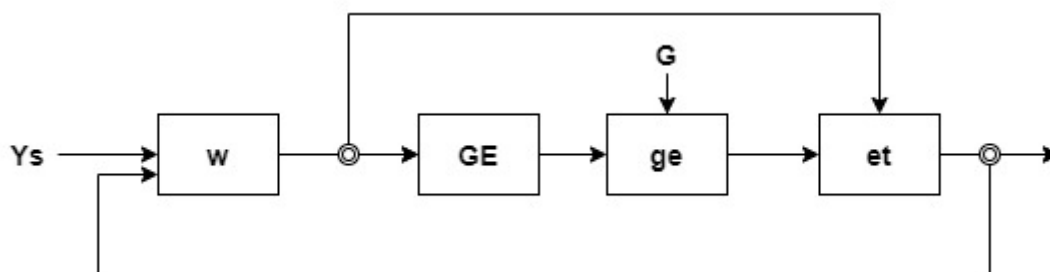


Рис.2.1. Блок-схема модели численности занятых ИТС (2.3)–(2.5).

1. блок относительного уровня заработной платы

$$w_t = b_1 + b_2 et_t + b_3 (\Delta Y_{st} / Y_{st-1}), \quad (2.3)$$

2. блок численности выпуска ИТС

$$GE_t = b_4 GE_{t-1} + b_5 GE_{t-1} + b_6 w_{t-5}, \quad (2.4)$$

3. блок численности занятых ИТС

$$\begin{aligned} et_t &= b_7 ge_t + b_8 w_t + b_9 D3_t, \\ ge_t &= GE_t / G_t, \end{aligned} \quad (2.5)$$

где  $GE_t$  — численность выпуска ИТС (тыс. человек),  $ge_t$  — доля выпуска ИТС в общем выпуске,  $G_t$  — численность выпуска специалистов из вузов и ссузов всего (тыс. человек),  $et_t$  — доля занятых ИТС в общей численности занятых,  $w_t$  — отношение уровня заработной платы в ОП к средней заработной плате в финансовой деятельности,  $\Delta Y_{st}/Y_{st-1}$  — темп прироста ВДС сектора услуг,  $D3_t$  — фиктивная переменная, равная 1 для 2016 г. и 0 в остальных случаях.

При построении модели использовались результаты, полученные в работе [134], где было показано, что динамика рынка труда ИТС может быть представлена с помощью рекурсивной паутинообразной модели (recursive cobweb model, см. раздел 1.2.2). Переходной процесс подстройки спроса и предложения ИТС является следствием длительного периода подготовки кадров ИТС (4–6 лет). В данной модели предложение рабочей силы (выпуск ИТС) зависит от величины заработной платы (с лагом), которая, в свою очередь, зависит от предложения рабочей силы и спроса на труд ИТС в том же периоде.

При разработке модели численности занятых ИТС и численности выпуска ИТС были рассмотрены лаговые модели, в том числе модели авторегрессии и скользящего среднего (ARIMA), векторной коррекции ошибками и коинтеграции (VECM). Критерием выбора были значения полученных тестовых статистик, а также величина относительной среднеквадратической ошибки. По результатам ADF-теста, гипотеза о наличии единичного корня для ряда численности занятых ИТС была отвергнута. Поэтому выбор осуществлялся между различными вариан-

тами модели авторегрессии и скользящего среднего, а также многофакторными регрессионными моделями.

В блоке численности выпуска ИТС (2.4) запаздывание величины  $w_{t-5}$  учитывает средневзвешенную продолжительность срока подготовки ИТС (за 1995–2016 гг.), равную 5 годам. Блок отношения заработной платы в промышленности к заработной плате в финансовой деятельности за счет включения в качестве фактора темпа прироста ВДС сектора услуг, отражает тенденцию к росту неравенства в оплате труда в промышленности и секторе услуг с увеличением темпов роста последнего.

**Апробация модели.** Оценки параметров модели были получены с использованием данных по России за 1999–2016 гг., источниками информации были статистические данные Росстата [6,61]. Параметры модели (2.4) были оценены с помощью метода максимального правдоподобия (как векторная авторегрессия), моделей (2.3) и (2.5) с помощью обобщенного МНК. Оценки параметров уравнений (2.3)–(2.5) приведены в табл.2.7.

Таблица 2.7. Результаты оценивания параметров уравнений (2.3)–(2.5), по данным для России за 1999–2016 гг.

Уравнение	Переменная		Фактор	Оценка параметра	t-стат.	R <sup>2</sup>	F	DW	RMSE, %
(2.3)	$w_t$	$b_1$	Свободный член	0,127	1,274	0,72	20,1	1,07	4,2
		$b_2$	$et_t$	0,038	2,849				
		$b_3$	$\Delta Y_{St}/Y_{St-1}$	-0,283	-2,172				
(2.4)	$GE_t$	$b_4$	$GE_{t-1}$	1,411	7,892	0,76	18,18	-	4,7
		$b_5$	$GE_{t-2}$	-0,711	-4,030				
		$b_6$	$w_{t-5}$	354,322	2,219				
(2.5)	$et_t$	$b_7$	$ge_{t-1}$	0,088	2,06	0,93	3642,9	0,86	3,0
		$b_8$	$w_t$	13,354	5,10				
		$b_9$	$DZ_t$	0,674	2,02				

Среднеквадратическая ошибка при моделировании с использованием модели (2.3)–(2.5) составила для переменной  $GE_t$  4.7%, для  $w_t$  — 4.2%, для  $et_t$  — 3.0%. Фактические данные и полученные в результате моделирования оценки приведены на рис.2.2а,б,в.

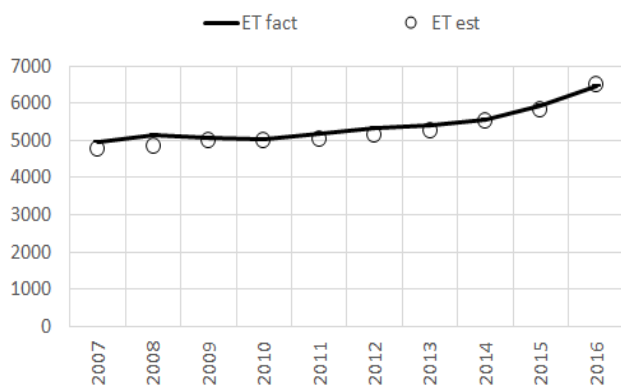


Рис.2.2а. Фактические (ET fact) и полученные в результате моделирования (ET est) значения численности занятых ИТС (тыс. человек).

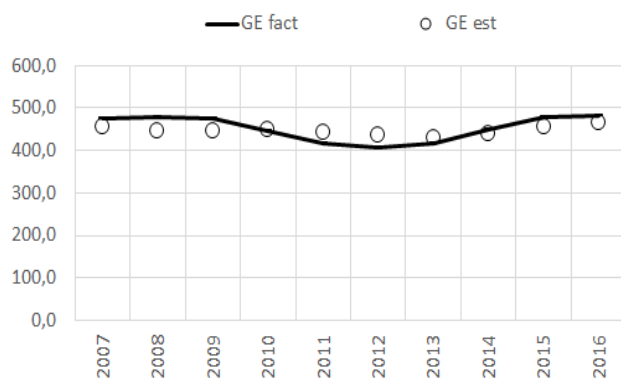


Рис.2.2б. Фактические (GE fact) и полученные в результате моделирования (GE est) значения численности выпуска ИТС (тыс. человек).

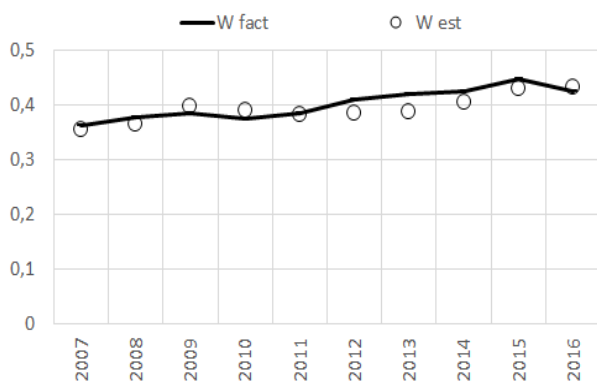


Рис.2.2в. Фактические (W fact) и полученные в результате моделирования (W est) значения отношения уровня заработной платы в ОП к средней заработной плате в финансовой деятельности.

Разработанная модель позволяет проводить предварительное моделирование численности занятых ИТС без учета изменения макроэкономических показателей. В дальнейшем, блок численности занятых ИТС данной модели используется при разработке макромоделей для анализа динамики численности занятых ИТС в гл.3.

Невысокая точность модели численности выпуска ИТС может быть связана с невысокой эластичностью предложения труда по уровню заработной платы (подробнее в разделе 1.2.2), а также с недоучетом факторов, влияющих на формирование предложения труда. В связи с этим в дальнейшем в работе предложены модели динамики выпуска ИТС с учетом динамики выпуска по другим направлениям подготовки (см. далее разделы 2.3.1 и 2.3.2, параграф 3.1).

### ***2.3. Моделирование выпуска ИТС с учетом динамики выпуска по направлениям подготовки***

В данном параграфе разработаны модель динамики выпуска ИТС с учетом выпуска специалистов по другим направлениям подготовки, а также модель динамики выпуска специалистов с учетом возможности отсева и смены специальности в процессе обучения. Проведен анализ устойчивости модели, показано существование точки устойчивого равновесия, а также определены условия и характер ее изменения при изменении входных воздействий.

#### **2.3.1. Модель динамики выпуска ИТС с учетом выпуска по другим направлениям подготовки**

**Основные предположения модели.** Как было показано в [79,133,136], предложение труда высококвалифицированных специалистов определяется во многом динамикой выпуска специалистов данных специальностей. При этом, может быть целесообразным учитывать динамику выпуска и других направлений подготовки. В данном разделе для исследования взаимной динамики выпуска групп специалистов предложена модель, основанная на модели конкуренции (см. подробнее раздел 1.2.2). Для учета принятия решения абитуриентом о выборе направления профессиональной подготовки и деятельности предполагалось, что функция предло-

жения включает зависимость или от оцененной стоимости будущих доходов (см. [157]) или от не стоимостных факторов, отражающих престижность профессии, а также, что численность абитуриентов или студентов растет с ростом ожиданий прибыльности выбранных при поступлении профессий и падает с ростом ожидания прибыльности альтернативных профессий [135].

Анализ динамики выпуска групп специалистов различных направлений подготовки, в частности инженерно-технических, социально-гуманитарных, естественнонаучных направлений подготовки (включая физические, химические, биологические науки), специальностей образования и здравоохранения, а также культуры и искусства свидетельствует о произошедших изменениях в динамике доли инженерно-технических и социально-гуманитарных специалистов в России в 1995–2017 гг. в результате структурных сдвигов в экономике и изменений профессионально-квалификационной структуры спроса на труд. Динамика доли всех специалистов, за исключением инженерно-технических, во многом повторяет динамику группы социально-гуманитарных специалистов в 2000–2017 гг. (см. рис.2.3, доля подготовки по естественнонаучным направлениям подготовки, специальностям образования и здравоохранения, а также культуры и искусства с 2005 г. была относительно стабильна).

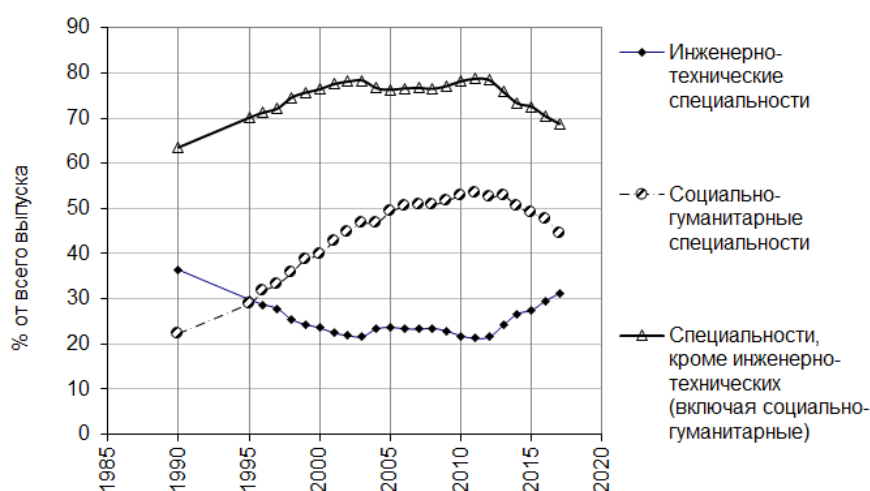


Рис.2.3. Динамика доли выпуска специалистов учреждениями высшего и среднего профессионального образования по группам специальностей в России, 1990–2017 гг.

При разработке модели был принят ряд гипотез: 1) при выборе специальности абитуриент ориентируется на текущую экономическую конъюнктуру (значение имеет развитие сектора, предъявляющего основной спрос на специалистов данной профессии в момент поступления); 2) при снижении спроса на труд ИТС (например, из-за снижения объема производства промышленного сектора) абитуриенты могут отдавать предпочтение социально-гуманитарным / альтернативным специальностям, если наблюдается рост спроса со стороны сектора услуг; 3) при снижении спроса со стороны сектора услуг доля выпуска инженерно-технических специальностей также может возрастать.

**Уравнения модели.** Для описания взаимной динамики выпуска инженерно-технических и социально-гуманитарных специалистов была предложена следующая модель:

$$\begin{aligned} \Delta ge_t / ge_{t-1} &= c_1 - c_2 ge_{t-1} - c_3 gs_{t-1} + c_4 m_{t-5}, \\ \Delta gs_t / gs_{t-1} &= c_5 - c_6 ge_{t-1} - c_7 gs_{t-1} + c_8 s_{t-6}, \end{aligned} \quad (2.6)$$

где  $ge_t$  — доля выпускников инженерно-технических специальностей в общем выпуске;  $gs_t$  — доля выпускников социально-гуманитарных специальностей в общем выпуске; где  $ge_t + gs_t \leq 80\%$ , учитывая выпуск по другим группам специальностей,  $m_t$  — темп прироста объема выпуска промышленности,  $s_t$  — темп прироста ВДС сектора услуг.

В системе уравнений (2.6) параметры  $c_3$  и  $c_6$  определяют возможность специалистов при выборе специальности поменять решение в пользу другого направления. Параметры  $c_2$  и  $c_7$  учитывают рост конкуренции за вакансии при насыщении предложения труда работниками данной специальности, а также влияние мнения сверстников (peer effect, см., например, [135]).

В данной модели дополнительно учтены переменные, отражающие влияние текущей экономической конъюнктуры на предпочтение абитуриента в пользу определенной специальности —  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$ . Предполагается, что поступающие на инженерно-технические специальности руководствуются при выборе специальности представлениями об изменении спроса на рабочую силу со стороны промыш-

ленности: положительный темп прироста промышленного производства ( $m_{t-5} > 0$ ) свидетельствует о возможном росте спроса на специалистов данного профиля, что увеличивает поток абитуриентов. Аналогичная ситуация характерна для специалистов социально-гуманитарного профиля, ориентирующихся на возможный рост сектора услуг ( $s_{t-6}$ ). Запаздывание величин  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  отражает средневзвешенную продолжительность срока подготовки специалистов (за 1995–2015 гг.), которая равна 5 годам для инженерно-технических специальностей (с учетом 3–4-летней подготовки в системе СПО и сохранения на многих инженерных специальностях специалитета 5–6 лет) и 6 годам для социально-гуманитарных (с учетом постепенного перехода на болонскую систему «бакалавриат + магистратура» и значительной доли выпускников, получавших дипломы специалиста и магистра в данной группе специальностей).

**Анализ устойчивости системы.** С целью исследования устойчивости модели рассмотрим более простую нелинейную динамическую систему (2.7), которую можно получить из (2.6) при отсутствии членов  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$ :

$$\begin{aligned} \Delta ge_t / ge_{t-1} &= c_1 - c_2 ge_{t-1} - c_3 gs_{t-1}, \\ \Delta gs_t / gs_{t-1} &= c_5 - c_6 ge_{t-1} - c_7 gs_{t-1}, \end{aligned} \quad (2.7)$$

Из четырех стационарных точек (предполагается, что  $ge > 0, gs > 0$ ):

$$ge^{(1)} = 0, gs^{(1)} = 0, \quad (2.8)$$

$$ge^{(2)} = 0, gs^{(2)} = \frac{c_1}{c_3}, \quad (2.9)$$

$$ge^{(3)} = \frac{c_5}{c_6}, gs^{(3)} = 0, \quad (2.10)$$

$$ge^{(4)} = \frac{c_1 c_7 - c_3 c_5}{c_2 c_7 - c_3 c_6}, gs^{(4)} = \frac{c_2 c_5 - c_1 c_6}{c_2 c_7 - c_3 c_6}, \quad (2.11)$$

учитывая экономическую интерпретацию, стационарные точки (2.8)–(2.10) будем считать не реализуемыми в рассматриваемых условиях, поэтому в дальнейшем анализируется существование и характеристики четвертой стационарной точки ( $ge^{(4)}, gs^{(4)}$ ), описывающей некоторую устойчивую комбинацию долей двух групп специалистов.



Произведем линеаризацию системы в неподвижной точке (2.11). Линеаризованная система может быть представлена в матричном виде как

$$\dot{y} = Ay, \quad (2.12)$$

где  $y$  — локальные координаты в окрестности соответствующей неподвижной точки,

$$A = \frac{1}{c_2c_7 - c_3c_6} \begin{bmatrix} -c_2(c_1c_7 - c_3c_5) & -c_3(c_1c_7 - c_3c_5) \\ -c_6(c_2c_5 - c_1c_6) & -c_7(c_2c_5 - c_1c_6) \end{bmatrix}. \quad (2.13)$$

Определитель матрицы  $A$  равен:

$$\det A = \frac{(c_2c_7 - c_3c_6)(c_1c_7 - c_3c_5)(c_2c_5 - c_1c_6)}{(c_2c_7 - c_3c_6)^2} = -\frac{(c_1c_7 - c_3c_5)(c_2c_5 - c_1c_6)}{(c_2c_7 - c_3c_6)}. \quad (2.14)$$

При выполнении условия  $\det A < 0$ , собственные значения матрицы  $A$  имеют разные знаки, то есть стационарная точка  $(ge^{(4)}, gs^{(4)})$  представляет собой седло, что соответствует случаю «конкурентного исключения» (что также соответствует  $c_1c_7 < c_3c_5$ ,  $c_2c_7 < c_3c_6$ ,  $c_2c_5 < c_1c_6$ ), в результате которого остается только одна из конкурирующих сторон. При  $\det A > 0$ , и данная неподвижная точка представляет собой устойчивый узел. В нашем случае рассматривается ситуация существования устойчивого равновесия ( $c_1c_7 > c_3c_5$ ,  $c_2c_7 > c_3c_6$ ,  $c_2c_5 > c_1c_6$ ).

Ввиду изменений, произошедших в методологии учета специальностей высшего и среднего образования (особенно инженерно-технических) после 2013 г. параметры модели (2.6)  $c_1-c_8$  были оценены с использованием статистических данных по России за 2000–2012 гг. для  $ge_t$  и за 2000–2015 гг. для  $gs_t$ . Полученные оценки параметров модели (2.6) приведены в табл.2.8.

Оценки параметров предложенной модели были получены с использованием обобщенного метода наименьших квадратов (производилась оценка параметров линеаризованной модели). Сравнение с оценками двухступенчатого МНК, а также оценками, полученными с помощью метода максимального правдоподобия и инструментальных переменных, показало более высокую точность оценок МНК при сравнении по критерию среднеквадратической ошибки регрессии.

Таблица 2.8. Оценки параметров системы уравнений (2.6) по данным для России за 2000–2015 гг.

Зависимая переменная		Фактор	Оценка параметра	t-стат.	R <sup>2</sup>	F	DW	RMSE, %
$\Delta ge_t / ge_{t-1}$	$c_1$	Свободный член	55,693	2,247	0,57	3,89	1,3	5,8
	$c_2$	$ge_{t-1}$	1,516	1,800				
	$c_3$	$gs_{t-1}$	0,500	2,000				
	$c_4$	$m_{t-5}$	0,549	2,744				
$\Delta gs_t / gs_{t-1}$	$c_5$	Свободный член	43,948	3,921	0,76	12,66	2,4	1,8
	$c_6$	$ge_{t-1}$	0,604	1,781				
	$c_7$	$gs_{t-1}$	0,592	5,282				
	$c_8$	$s_{t-6}$	0,083	1,166				

Используя эти оценки параметров для системы (2.7):

$$\begin{aligned} \Delta ge_t / ge_{t-1} &= 55,693 - 1,516 ge_{t-1} - 0,500 gs_{t-1}, \\ \Delta gs_t / gs_{t-1} &= 43,948 - 0,604 ge_{t-1} - 0,592 gs_{t-1}, \end{aligned} \quad (2.15)$$

были получены координаты стационарной точки (2.11), равные ( $ge = 18,5$ ;  $gs = 55,4$ )

Решение системы (2.15) представлено на рис.2.4.

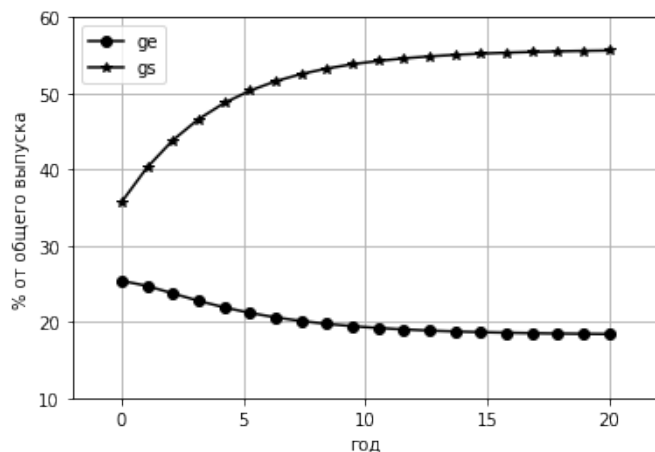


Рис.2.4. Результаты решения дифференциального уравнения для системы (2.15).

Переменные  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$ , являющиеся темпами прироста промышленного производства и ВДС сектора услуг, представлены стационарными временными рядами, для которых на рассматриваемом временном отрезке можно определить среднее значение, а также границы колебаний. Предполагается, что в некотором краткосрочном периоде, колебания данных переменных также будут ограничены. Стационарность и ограниченность возмущений системы позволяет предполагать компактность отображения решений системы в фазовом пространстве, то есть что каждое решение попадает в ограниченную область решений и остается в ней на рассматриваемом периоде времени, что может свидетельствовать в пользу устойчивости неавтономной системы (2.6) (см., например, [158,159]). Это дает возможность с целью анализа устойчивости неавтономной системы при дополнительных воздействиях, вызванных присутствием  $m_t$  и  $s_t$ , проводить дальнейший анализ системы (2.6), предполагая  $m_t$  и  $s_t$  постоянными, при том, что оценки параметров  $c_1 - c_8$  соответствуют приведенным в табл. 2.8.

С целью дальнейшего анализа сначала были найдены координаты устойчивой точки (2.11) для всех попарных сочетаний  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  для каждого известного года, на основе анализа динамики  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  были определены основные уровни (средние для каждого периода, а также минимум и максимум), для которых затем найдены координаты устойчивой точки (2.11) и определена величина ее сдвига относительно координаты аналогичной устойчивой точки ( $g_e = 18,483$ ;  $g_s = 55,378$ ), найденной на первом этапе для модели (2.7).

Координаты стационарной точки (2.11) для всех значений  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  по имеющимся годовым данным представлены на рис.2.5.

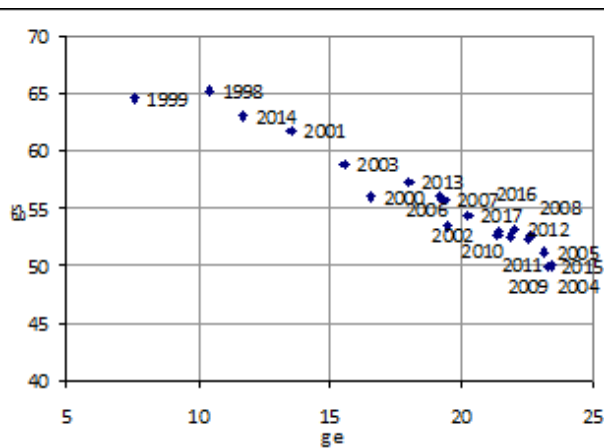


Рис.2.5. Динамика координаты  $(ge_1^{(4)}, gs_1^{(4)})$  для каждой пары входных воздействий  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  за период 1998–2017 гг.

С целью выявления всех возможных комбинаций попарных изменений входных стохастических переменных  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  была проанализирована динамика и выделены основные уровни значений. Динамика  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  приведена на рис.2.6.

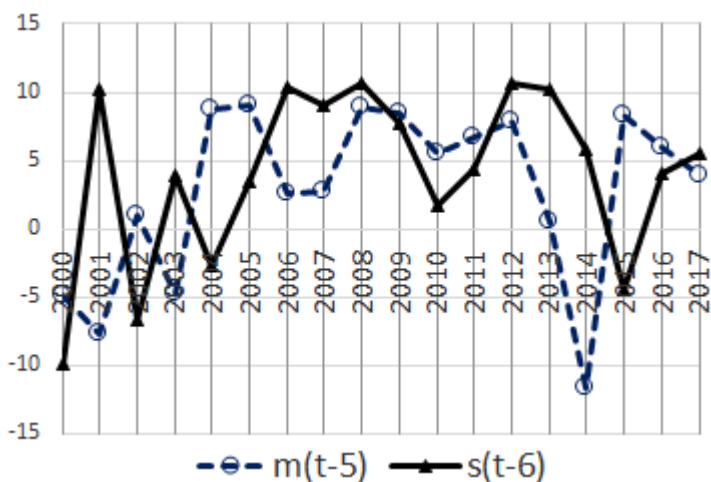


Рис. 2.6. Динамика переменных  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$ .

Анализ изменения  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  в рассматриваемый период 2000–2017 гг. (с учетом запаздывания 1994–2012 гг. для  $m_t$  и  $s_t$ ) позволяет выделить три периода:

2000–2004 гг. – период роста, для которого были характерны колебания переменных;

2004–2012 гг. – период относительной стабильности (среднее значение для данного периода составило приблизительно 6,73 для  $m_{t-5}$  и 6,11 для  $s_{t-6}$ );

2013–2017 гг. – период нестабильности, связанный с введением санкций и общей экономической нестабильностью.

Соответственно, были определены основные возможные уровни изменения  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  и выделено шесть точек для каждой из переменных. Для  $m_{t-5}$  были определены уровни  $\{-10,0; -5,0; 0; 4,0; 6,7; 8,0\}$ , для  $s_{t-6}$  —  $\{-10,0; -5,0; 0; 4,0; 6,1; 8,0\}$ , рассматривались попарные комбинации уровней. Для каждого из полученных сочетаний была рассчитана координаты стационарной точки (2.11), результаты приведены в табл.П5.1 в Приложении 5. При различных сочетаниях  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  стационарная точка (2.11) для модели (2.6) находится в некоторой окрестности относительно стационарной точки (2.11) модели (2.7). Результаты анализа изменения координат стационарной точки (2.11) в модели (2.7) для различных комбинаций уровней  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  представлены в табл.2.9.

Таким образом, анализ системы при разных входных воздействиях  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  показал, что можно выделить четыре группы условий:

$$m_{t-5} \geq 0, m_{t-5} \geq s_{t-6}, ge_1^{(4)} > ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} < gs_2^{(4)},$$

$$m_{t-5} \leq 0, m_{t-5} \leq s_{t-6}, ge_1^{(4)} < ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} > gs_2^{(4)},$$

$$m_{t-5} > 0, s_{t-6} > 0, m_{t-5} < s_{t-6}, ge_1^{(4)} > ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} > gs_2^{(4)},$$

$$m_{t-5} < 0, s_{t-6} < 0, m_{t-5} > s_{t-6}, ge_1^{(4)} < ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} < gs_2^{(4)}.$$

Результаты анализа изменения координат стационарной точки (2.11) позволяют также сделать вывод об относительной устойчивости системы к изменениям  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$ : при изменении  $m_{t-5}$  в диапазоне  $[-22; 9]$  и  $s_{t-6}$  в диапазоне  $[-13; 11]$  значения координат устойчивой точки колебались в интервале  $[7,6; 23,4]$  для  $ge_t$  и  $[49,9; 65,2]$  для  $gs_t$ . Эластичность изменения координаты устойчивого узла  $(ge_1^{(4)}, gs_1^{(4)})$  в зависимости от изменения  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  в среднем менее 0,1 также свидетельствует об относительной устойчивости рассматриваемой системы.

Таблица 2.9. Изменение координат стационарной точки  $(ge_1^{(4)}, gs_1^{(4)})$  в модели (2.6) относительно  $(ge_2^{(4)}, gs_2^{(4)})$  в модели (2.7) при различных значениях  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$ .

Значение $m_{t-5}$	Значение $s_{t-6}$	Соотношение $m_{t-5}$ и $s_{t-6}$	Изменение координат стационарной точки $(ge_1^{(4)}, gs_1^{(4)})$ в модели (2.6) относительно $(ge_2^{(4)}, gs_2^{(4)})$ в модели (2.7) при принятых значениях $m_{t-5}$ и $s_{t-6}$
$m_{t-5} > 0$	$s_{t-6} > 0$	$m_{t-5} > s_{t-6}$	$ge_1^{(4)} > ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} < gs_2^{(4)}$
$m_{t-5} > 0$	$s_{t-6} > 0$	$m_{t-5} = s_{t-6}$	$ge_1^{(4)} > ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} < gs_2^{(4)}$
$m_{t-5} > 0$	$s_{t-6} > 0$	$m_{t-5} < s_{t-6}$	$ge_1^{(4)} > ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} > gs_2^{(4)}$
$m_{t-5} > 0$	$s_{t-6} = 0$		$ge_1^{(4)} > ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} < gs_2^{(4)}$
$m_{t-5} > 0$	$s_{t-6} < 0$		$ge_1^{(4)} > ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} < gs_2^{(4)}$
$m_{t-5} = 0$	$s_{t-6} > 0$		$ge_1^{(4)} < ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} > gs_2^{(4)}$
$m_{t-5} = 0$	$s_{t-6} < 0$		$ge_1^{(4)} > ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} < gs_2^{(4)}$
$m_{t-5} < 0$	$s_{t-6} > 0$		$ge_1^{(4)} < ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} > gs_2^{(4)}$
$m_{t-5} < 0$	$s_{t-6} = 0$		$ge_1^{(4)} < ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} > gs_2^{(4)}$
$m_{t-5} < 0$	$s_{t-6} < 0$		$m_{t-5} > s_{t-6}$
$m_{t-5} < 0$	$s_{t-6} < 0$	$m_{t-5} = s_{t-6}$	$ge_1^{(4)} < ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} > gs_2^{(4)}$
$m_{t-5} < 0$	$s_{t-6} < 0$	$m_{t-5} < s_{t-6}$	$ge_1^{(4)} < ge_2^{(4)}, gs_1^{(4)} > gs_2^{(4)}$

Дополнительными факторами, которые могут приводить к изменению стационарной точки системы, являются сложно поддающиеся формализации факторы, которые на данный момент могут быть учтены в уравнении в качестве фиктивных переменных. Так, в данной работе предполагается, что последствия мирового финансово-экономического кризиса, развитие сектора информационных и биотехнологий и робототехники оказали влияние на изменение общественного мнения и восприятия рассматриваемых групп профессий, в частности в росте престижности естественнонаучных и инженерно-технических направлений подготовки.

Для учета изменений методологии учета специальностей высшего и среднего образования в 2013–2014 гг. и 2017–2018 г., а также последствий мирового финансово-экономического кризиса 2008–2009 гг., модель (2.6) была уточнена за счет включения фиктивных ( $D1_t$  и  $D2_t$ ) и лаговой ( $\Delta ge_{t-1}$ ) переменных.

Итоговая система уравнений для динамики численности выпускаемых инженерно-технических и социально-гуманитарных специалистов, которая в дальнейшем используется в качестве отдельного блока макроэкономической модели (см. гл.3, параграф 3.1), имеет следующий вид:

$$\Delta ge_t / ge_{t-1} = c_1 - c_2 ge_{t-1} + c_9 \Delta ge_{t-1} - c_3 gs_{t-1} + c_4 m_{t-5} + c_{10} D1_t + c_{11} D2_t, \quad (2.16a)$$

$$\Delta gs_t / gs_{t-1} = c_5 - c_6 ge_{t-1} - c_7 gs_{t-1} + c_8 s_{t-6}, \quad (2.16б)$$

где  $D1_t$  — фиктивная переменная, равная 1 для 2013–2014 гг. и 0 в остальных случаях,  $D2_t$  — фиктивная переменная, равная 1 для 2018 г. и 0 в остальных случаях.

Оценки параметров модифицированной модели (2.16а) по данным для России были получены с использованием обобщенного МНК, см. табл.2.10.

Таблица 2.10. Оценки параметров модели (2.16а), по данным для России за 1999–2018 гг.

Зависимая переменная	Фактор	Оценка параметра	t- статистика	R <sup>2</sup>	F	DW	RMSE, %
$\Delta ge_t / ge_{t-1}$	<i>Свободный член</i>	42,660	1,958	0,76	6,34	2,15	2,0
	$ge_{t-1}$	1,509	2,684				
	$\Delta ge_{t-1}$	1,100	1,116				
	$gs_{t-1}$	0,195	0,790				
	$m_{t-5}$	0,169	1,127				
	$D1_t$	11,965	4,103				
	$D2_t$	1,256	0,302				

Среднеквадратическая ошибка модели (2.16а,б) (RMSE) для периода 2000–2018 гг. для  $ge_t$  и  $gs_t$  составила 2,0% и 1,0% соответственно, что свидетельствует о достаточно хорошей точности аппроксимации.

Анализ данной системы с учетом фиктивных переменных, но без учета влияния переменных  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  показывает, что имеет место сходимость выходных переменных модели к постоянным уровням для двух периодов времени: 2000–2012 гг. и 2013–2018 гг. (см. рис. 2.7а,б, 2.8а,б)

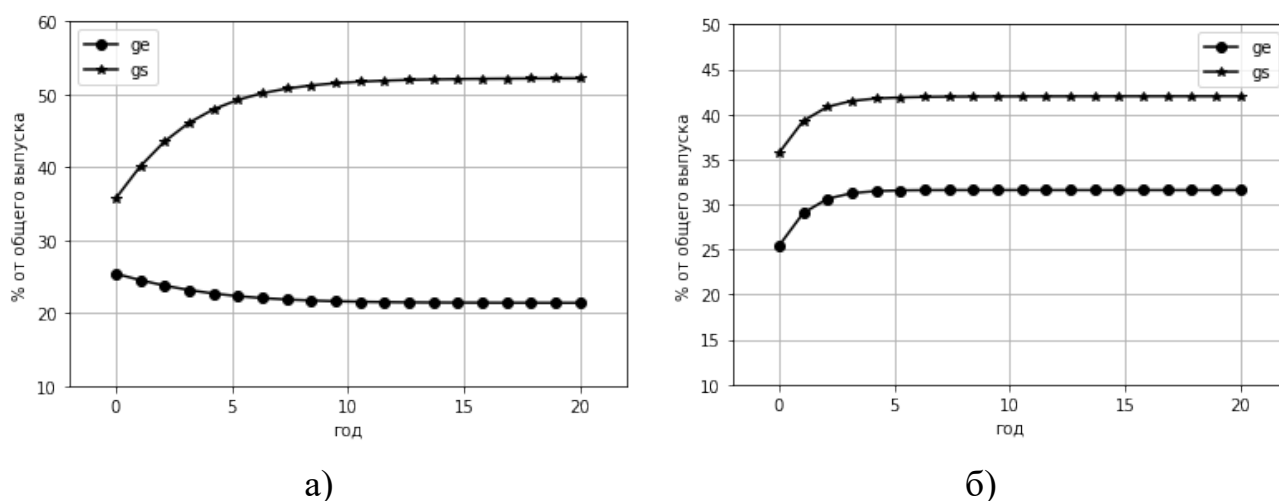


Рис. 2.7. Динамика системы (2.16) с учетом фиктивных переменных, но без учета влияния стохастических переменных  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$  а) в 2000–2012, б) в 2013–2018 гг.

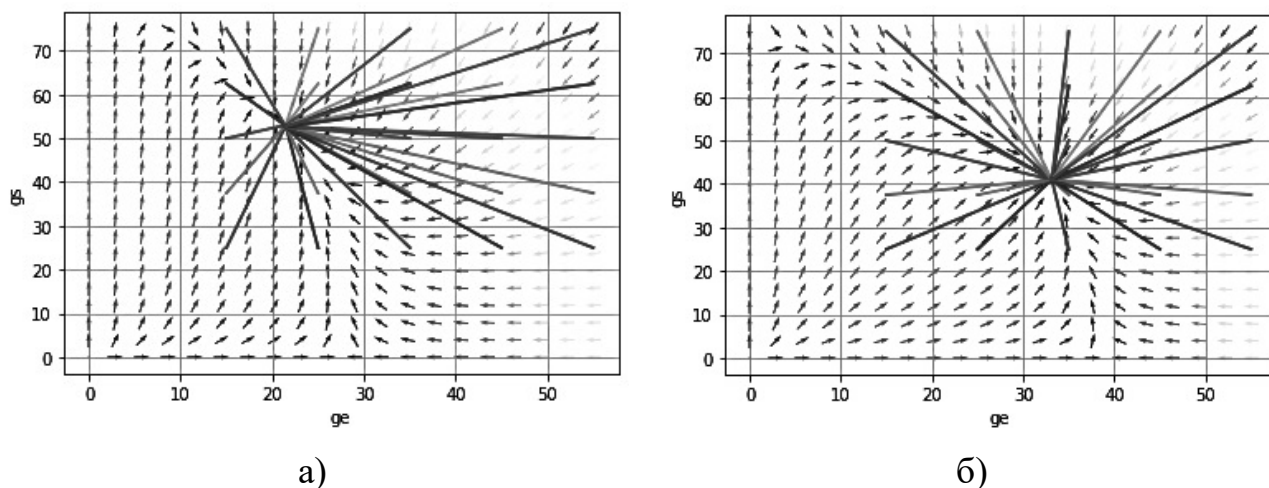


Рис. 2.8. Фазовый портрет для модели (2.16) с учетом фиктивных переменных, но без учета влияния стохастических переменных  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$ , с учетом различных начальных условий для периодов: а) в 2000–2012, б) в 2013–2018 гг.



Приведенные расчеты свидетельствуют о существовании двух равновесных траекторий системы с учетом переменных  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$ . Если в 2000–2012 гг. решения системы находятся в некоторой окрестности точки ( $ge_t = 21,5$ ,  $gs_t = 52,3$ ), то в 2013–2018 гг. равновесная точка смещена в сторону более высоких значений  $ge_t$  и более низких значений  $gs_t$  ( $ge_t = 31,6$ ,  $gs_t = 41,9$ ). Это также согласуется с фактической динамикой долей выпуска инженерно-технических и социально-гуманитарных специалистов (см. рис. 2.9).

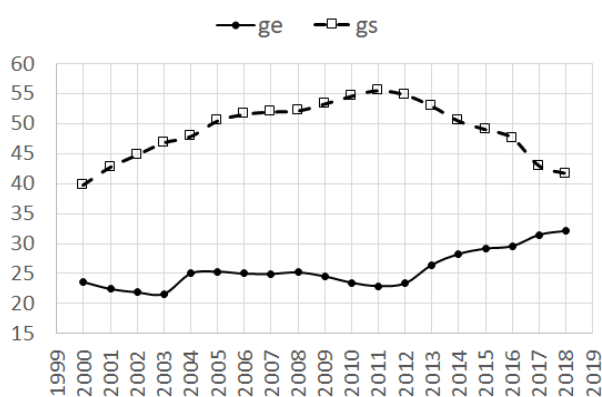


Рис. 2.9. Динамика переменных ( $ge_t$ ,  $gs_t$ ) в 2000–2018 гг.

Приведенные результаты можно интерпретировать как возникновение новой относительно устойчивой структуры выпуска по специальностям в результате внешних воздействий (например, изменений в общественном восприятии значимости определенных групп профессий, роста интереса к инженерно-техническим специальностям, в результате увеличения числа бюджетных мест (см. также [160]), а также последствий финансово-экономического кризиса, в значительной степени повлиявшего на снижение престижности профессий сферы услуг). При этом подобные изменения приводят к установлению нового стационарного положения в системе и к долгосрочному изменению уровня предложения труда, что, при отсутствии компенсирующих мер со стороны спроса на труд (создания рабочих мест и развития соответствующих отраслей), может приводить к усилению несбалансированности на рынке труда соответствующих групп специалистов.

Таким образом, результаты анализа устойчивости модели для исследования динамики выпуска специалистов с учетом направлений подготовки свидетельствуют о

существовании точки устойчивого равновесия, а также позволяют определить условия и характер ее изменения при изменении входных воздействий. Дополнительный анализ показал, что даже при достаточно высокой амплитуде колебаний входных параметров, координаты устойчивой точки отклоняются не столь значительно.

### **2.3.2. Модель динамики выпуска ИТС с учетом выпуска по другим направлениям подготовки и отсева в процессе обучения**

В данном разделе разработана расширенная модель численности выпуска ИТС с учетом выпуска по другим направлениям подготовки, дополнительно позволяющая учесть динамику приема абитуриентов и возможный отток кадров в процессе обучения.

Результаты межстранового анализа доли специалистов, не работающих по полученной специальности, показывают, что отток в процессе обучения по причине смены специальности или отсева может быть достаточно велик. Так, в США порядка 30–50% студентов научно-технических специальностей меняли направление в процессе обучения, причем эта оценка достаточно устойчива для разных периодов (конца 1990-х гг., начала 2000-х гг. и 2010-х гг.) [135,161,162]. Несоответствие места работы полученной специальности (field mismatch) в 2005 г. наблюдалось для 6% занятых в Испании, 11% в Нидерландах, 24% в Японии, 11% в Германии, 19% в Великобритании [163]. Для США и Швеции в 2007–2008 гг. эта доля составляла 19% [164] и 16% [165], соответственно. По результатам исследований, разрыв в соответствии профессии полученной специальности продолжает расти: в 2010–2014 гг. в Великобритании эта доля составляла уже порядка 50% [166]. По имеющимся данным, в России в 2009 г. около 50% выпускников вузов и около 60% выпускников ссузов инженерно-технических специальностей не работали по полученной специальности [141].

В большинстве моделей предложения труда, как правило, либо отсутствует блок, в котором учитывается смена специальности в процессе обучения (например, по причине того, что гипотеза о наличии взаимосвязи численности выпуска специалистов и величиной заработной платы в момент поступления абитуриентов

недостаточно глубоко разработана [135]), либо отсев рассматривается как некоторая постоянная величина [12]. В данном разделе рассматривается модель, в которой учитывается число специалистов, меняющих профессию в процессе обучения или покидающих обучение по другим причинам.

Предложенная динамическая модель выпуска ИТС с учетом отсева в процессе обучения разработана на тех же принципах, что и модель выпуска ИТС с учетом выпуска специалистов социально-гуманитарных направлений (раздел 2.2.2). Отличием является то, что в данной модели 1) выделяются учащиеся инженерно-технических и всех остальных специальностей; 2) рассматриваются группы получающих среднее (СПО) и высшее профессиональное образование (ВПО), соответствующая основному принципу сегментации рынка ИТС, так как уровень отсева в процессе обучения в этих группах различался (см. рис.2.10).

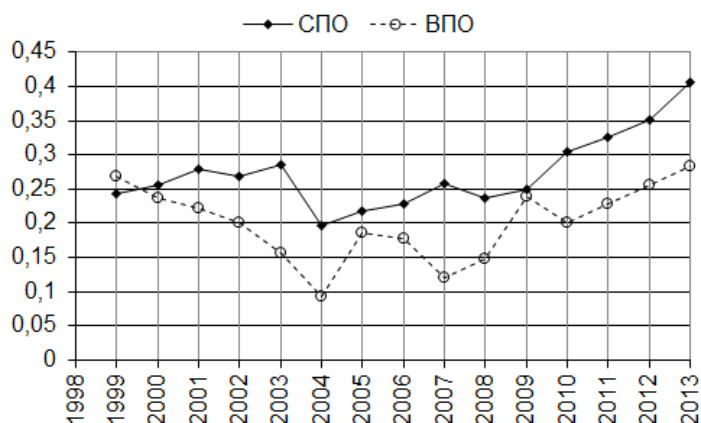


Рис.2.10. Усредненный коэффициент отсева в процессе обучения ИТС с высшим (ВПО) и средним специальным образованием (СПО), по данным Росстата [61].

Модель численности выпуска ИТС с учетом выпуска по другим направлениям подготовки и отсева в процессе обучения состоит из трех блоков:

1. численность приема на инженерно-технические и другие специальности:

$$\Delta E_{1,t}/E_{1,t-1} = a_0 + a_1 E_{1,t-1} + a_2 O_{1,t-1} + a_3 m s_t, \quad (2.17a)$$

$$\Delta O_{1,t}/O_{1,t-1} = a_4 + a_5 E_{1,t-1} + a_6 O_{1,t-1}, \quad (2.17б)$$

$$\Delta E_{2,t}/E_{2,t-1} = a_7 + a_8 E_{2,t-1} + a_9 O_{2,t-1} + a_{10} y i_t, \quad (2.17в)$$

$$\Delta O_{2,t}/O_{2,t-1} = a_{11} + a_{12} E_{2,t-1} + a_{13} s_t, \quad (2.17г)$$

2. коэффициенты отсева и смены специальности в процессе обучения:

$$k_{1,t} = c_0 + c_1 E_{2,t} + c_2 Li_t, \quad (2.18a)$$

$$k_{2,t} = c_3 + c_4 W_t + c_5 Li_t + c_6 D0_t, \quad (2.18б)$$

3. численность выпуска ИТС:

$$GE_{1,t} = k_{1,t} E_{1,t} \quad (2.19a)$$

$$GE_{2,t} = k_{2,t} E_{2,t} \quad (2.19б)$$

$$GE_t = GE_{1,t} + GE_{2,t} \quad (2.19в)$$

где  $E_{1,t}$ ,  $E_{2,t}$  — прием на инженерно-технические специальности СПО и ВПО, соответственно;  $O_{1,t}$ ,  $O_{2,t}$  — прием на все остальные специальности СПО и ВПО, соответственно;  $ms_t$  — отношение темпа прироста выпуска обрабатывающей промышленности к темпу прироста выпуска сектора услуг;  $y_t$  — темп прироста выпуска промышленности и строительства;  $Li_t$  — численность занятых в промышленности;  $W_t$  — отношение средней начисленной заработной платы в обрабатывающих производствах и в финансовой деятельности;  $GE_{1,t}$ ,  $GE_{2,t}$  — выпуск по инженерно-техническим специальностям СПО и ВПО, соответственно,  $GE_t$  — выпуск по инженерно-техническим специальностям в целом (СПО + ВПО);  $D0_t$  — фиктивная переменная, равная 1 для 2012–2013 гг. и 0 в остальных случаях.

Источниками информации служили данные Росстата [61] и сборники ВШЭ [167]. Оценки параметров моделей были получены с использованием обобщенного МНК, двухступенчатого МНК и инструментальных переменных, методом максимального правдоподобия; были выбраны модели с наименьшей среднеквадратической ошибкой. В табл.2.11 приведены оценки с использованием обобщенного МНК.

Следует учитывать, что при моделировании численности выпуска ИТС (сумма выпуска по всем специальностям в отличие от суммы долей выпуска не является ограниченной сверху) и всех остальных специальностей, знаки параметров в модели могут не соответствовать знакам, характерным для модели конкуренции.

Оценки, полученные с помощью модели (2.17)–(2.19) свидетельствуют об удовлетворительном качестве аппроксимации: относительная среднеквадратическая ошибка для численности выпуска ИТС со средним специальным образованием ( $GE_{1,t}$ ) составила 7.5%, для численности выпуска ИТС с высшим образованием ( $GE_{2,t}$ ) — 4.2%; для численности выпуска ИТС в целом ( $GE_t$ ) также 4.5%, см. рис. 2.11а,б,в.

Таблица 2.11. Оценки параметров уравнений (2.17)–(2.19).

Зависимая переменная		Фактор	Оценка параметра	t-стат	R <sup>2</sup>	F	DW	RMSE, %
$\Delta E_{1,t}/E_{1,t-1}$	$a_0$	Свободный член	8,399	0,934	0,53	5,16	1,09	5,7
	$a_1$	$E_{1,t-1}$	-0,063	-2,208				
	$a_2$	$O_{1,t-1}$	0,018	1,688				
	$a_3$	$ms_t$	1,742	4,357				
$\Delta O_{1,t}/O_{1,t-1}$	$a_4$	Свободный член	13,754	1,942	0,43	5,69	1,89	6,0
	$a_5$	$E_{1,t-1}$	-0,081	-3,720				
	$a_6$	$O_{1,t-1}$	0,017	1,080				
$\Delta E_{2,t}/E_{2,t-1}$	$a_7$	Свободный член	27,889	5,112	0,63	7,98	1,97	3,9
	$a_8$	$E_{2,t-1}$	-0,135	-3,555				
	$a_9$	$O_{2,t-1}$	0,018	1,782				
	$a_{10}$	$y_t$	0,400	1,754				
$\Delta O_{2,t}/O_{2,t-1}$	$a_{11}$	Свободный член	44,163	6,862	0,69	16,35	2,37	9,1
	$a_{12}$	$E_{2,t-1}$	-0,136	-6,847				
	$a_{13}$	$s_t$	0,853	4,685				
$k_{1,t}$	$c_0$	Свободный член	-0,542	-2,064	0,76	17,19	1,49	5,1
	$c_1$	$E_{2,t}$	0,001	4,952				
	$c_2$	$Li_t$	0,054	3,982				
$k_{2,t}$	$c$	Свободный член	-0,801	-3,684	0,67	6,78	2,12	3,7
	$c_4$	$Li_t$	0,056	6,182				
	$c_5$	$W_t$	2,208	5,562				
	$c_6$	$D0_t$	-0,124	-5,482				

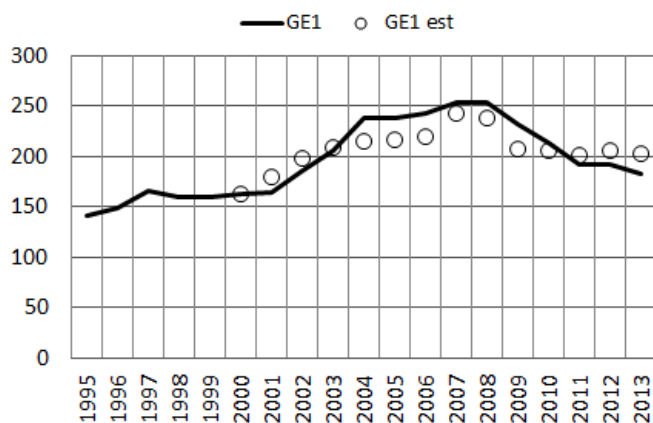


Рис.2.11а. Фактические ( $GE_{1,t}$ ) и полученные в результате моделирования ( $GE_{1,t} est$ ) значения численности выпуска ИТС со средним специальным образованием.

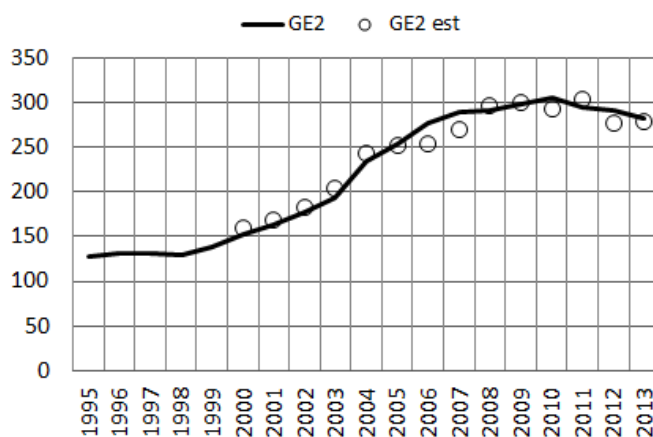


Рис.2.11б. Фактические ( $GE_{2,t}$ ) и полученные в результате моделирования ( $GE_{2,t} est$ ) значения численности выпуска ИТС с высшим образованием.

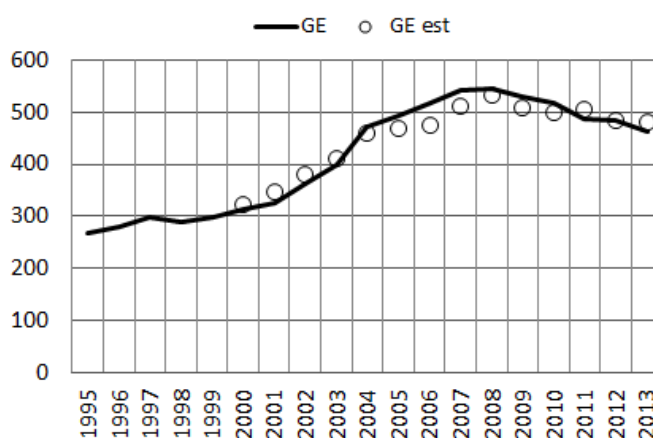


Рис.2.11в. Фактические ( $GE_t$ ) и полученные в результате моделирования ( $GE_t est$ ) значения численности выпуска ИТС.

Таким образом, модели, разработанные в разделах 2.2.2 и 2.2.3, позволяют проводить анализ динамики выпуска групп специалистов по направлениям подготовки с учетом влияния динамики производства обрабатывающей промышленности и сектора услуг, а также могут быть использованы в качестве отдельного блока в моделях численности занятых ИТС.

### ***Выводы***

Во второй главе с помощью эконометрического анализа были выявлены и проанализированы факторы, оказывающие влияние на динамику численности выпуска и занятых ИТС. Были выявлены следующие основные группы факторов, оказывающих существенное влияние на долю численности занятых ИТС: доля средне- и высокотехнологичных, наукоемких отраслей промышленности в ВВП, доля ВДС сектора услуг, в первую очередь сегмента профессиональных услуг, включающего инженерно-техническую, конструкторскую и архитектурную деятельность, НИОКР в ВВП.

Разработанные модели отдельных показателей спроса и предложения труда ИТС (модель численности занятых ИТС, динамическая модель выпуска ИТС с учетом выпуска по другим направлениям подготовки, динамическая модель выпуска ИТС с учетом оттока во время обучения) обеспечивают достаточно хорошую точность аппроксимации.

Блок модели численности занятых ИТС, а также динамическая модель выпуска ИТС использованы в дальнейшем при разработке макромоделей для анализа сбалансированности спроса и предложения труда ИТС (глава 3, параграф 3.1), а также при прогнозировании потребности в ИТС в краткосрочном периоде (глава 3, раздел 3.2.2).

### **Глава 3. Сценарный анализ сбалансированности спроса и предложения инженерно-технических специалистов**

В третьей главе, с использованием блока модели численности занятых ИТС (параграф 2.2) и модели выпуска ИТС с учетом выпуска по другим направлениям подготовки (раздел 2.3.1), разработана макроэкономическая модель для исследования сбалансированности спроса и предложения труда ИТС. С помощью разработанной макромоделли проведен сценарный анализ численности занятых ИТС и получены оценки степени сбалансированности спроса и предложения труда ИТС для периода 2020–2024 гг.; с помощью решения оптимизационной задачи определены значения доли инвестиций в обрабатывающие производства в инвестициях в экономике в целом, отношения заработной платы в обрабатывающих производствах к заработной плате в финансовой деятельности, а также доли молодых специалистов, остающихся работать по полученной специальности до 2030 г., при которых возможно достижение сбалансированности спроса и предложения ИТС.

#### ***3.1. Макроэкономическая модель для исследования сбалансированности спроса и предложения труда ИТС***

В данном параграфе представлена макроэкономическая модель для анализа сбалансированности спроса и предложения труда ИТС в России. С помощью этой модели возможно получить предварительные оценки численности занятых ИТС и численности выпуска ИТС с учетом динамики объемов производства промышленности и сектора услуг.

##### **3.1.1. Основные блоки модели**

Предлагаемая макроэкономическая модель, кроме специальных блоков для анализа сбалансированности спроса и предложения труда ИТС, включает блоки для моделирования выпуска промышленного сектора и сектора услуг, а также выпуска в экономике в целом, примеры аналогичных макромоделей из нескольких секторов были рассмотрены, например, в [168,169].



Модель состоит из 14 блоков: 1. спрос на труд ИТС; 2. предложение труда ИТС; 3. численность выпуска ИТС, 4. численность занятых ИТС, 5. производственная функция промышленности, 6. производственная функция экономики, 7. производственная функция сектора услуг, 8. численность занятых в промышленности, 9. численность занятых в секторе услуг, 10. основные фонды (ОФ) в экономике, 11. ОФ промышленности, 12. ОФ сектора услуг, 13. совокупное потребление; 14. отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности.

Выходные переменные в модели:

- численность выпуска ИТС ( $GE_t$ );
- численность занятых ИТС ( $ET_t$ );
- спрос на труд ИТС ( $DET_t$ );
- предложение труда ИТС ( $SGE_t$ ).

Внутренние переменные модели:

- доля выпускников инженерно-технических специальностей в общем выпуске ( $ge_t$ );
- доля выпускников социально-гуманитарных специальностей в общем выпуске ( $gs_t$ );
- выпуск продукции промышленных производств ( $Yi_t$ );
- основные фонды в промышленности ( $Fi_t$ );
- численность занятых в промышленности ( $Li_t$ );
- доля численности занятых в промышленности в общей численности занятых в экономике ( $li_t$ );
- ВВП ( $Y_t$ );
- основные фонды ( $F_t$ );
- валовая добавленная стоимость в секторе услуг ( $Ys_t$ );
- основные фонды в секторе услуг ( $Fs_t$ );
- численность занятых в секторе услуг ( $Ls_t$ );
- доля численности занятых в секторе услуг в общей численности занятых в экономике ( $ls_t$ );

- совокупные расходы на потребление ( $C_t$ );
- инвестиции в основные фонды ( $I_t$ );
- инвестиции в ОФ промышленности ( $Ii_t$ );
- инвестиции в ОФ сектора услуг ( $Is_t$ );
- отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ ).

Экзогенные переменные в модели:

- численность занятых в экономике ( $L_t$ );
- численность выпуска специалистов со средним и высшим профессиональным образованием по всем специальностям и направлениям подготовки ( $G_t$ );
- доля инвестиций в ОФ экономики в ВВП ( $a_t$ );
- доля инвестиций в ОФ добывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики ( $aiq_t$ );
- доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики ( $aim_t$ );
- доля инвестиций в ОФ распределения газа, воды и электроэнергии в инвестициях в ОФ экономики ( $aid_t$ );
- доля инвестиций в ОФ сектора услуг в инвестициях в ОФ экономики ( $as_t$ );
- уровень загрузки производственных мощностей ( $Z_t$ );
- доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска ( $c_t$ ).

Блок-схема макроэкономической модели приведена на рис.3.1.

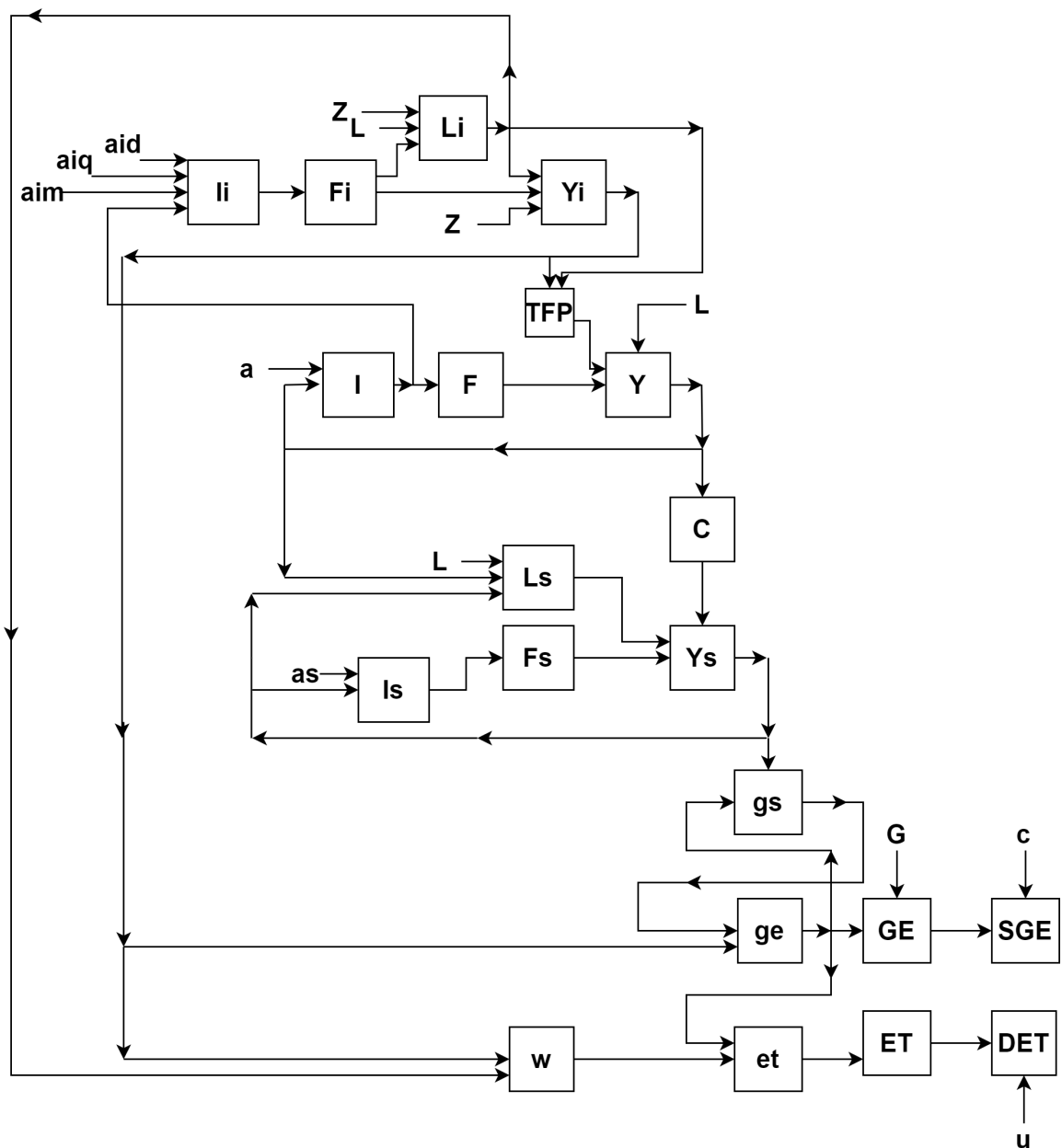


Рис.3.1. Блок-схема макроэкономической модели для анализа сбалансированности спроса и предложения труда ИТС.

Блоки макроэкономической модели описываются уравнениями:

1. спрос на труд (дополнительная потребность в) ИТС:

$$DET_t = ET_t - (1-u)ET_{t-1}, \quad (3.1)$$

где  $DET_t$  — спрос на труд ИТС,  $ET_t$  — численность занятых ИТС в экономике,  $u = 0.033$  — коэффициент, характеризующий дополнительную потребность, связанную с выбытием кадров и появлением вакантных мест;

2. предложение труда ИТС с учетом оттока кадров:

$$SGE_t = c_t GE_t, \quad (3.2)$$

где  $GE_t$  — численность выпуска ИТС;  $c_t$  — доля молодых специалистов, работающих по специальности после выпуска из вуза/ссуза;

3. численность выпуска ИТС

$$\Delta ge_t / ge_{t-1} = c_1 + c_2 ge_{t-1} + c_3 \Delta ge_{t-1} + c_4 gs_{t-1} + c_5 \Delta Y_{i_{t-5}} / Y_{i_{t-6}} + c_6 D1 + c_7 D2, \quad (3.3a)$$

$$\Delta gs_t / gs_{t-1} = c_8 + c_9 ge_{t-1} + c_{10} gs_{t-1} + c_{11} \Delta Y_{s_{t-6}} / Y_{s_{t-7}}, \quad (3.3б)$$

$$GE_t = ge_t G_t \quad (3.3в)$$

где  $ge_t$  — доля выпускников инженерно-технических специальностей в общем выпуске;  $gs_t$  — доля выпускников социально-гуманитарных специальностей в общем выпуске;  $Y_{i_t}$  — объем производства в промышленности,  $\Delta Y_{i_{t-5}} = Y_{i_{t-5}} - Y_{i_{t-6}}$ ,  $Y_{s_t}$  — валовая добавленная стоимость в секторе услуг,  $\Delta Y_{s_{t-6}} = Y_{s_{t-6}} - Y_{s_{t-7}}$ ,  $G_t$  — численность выпуска специалистов со средним и высшим профессиональным образованием по всем специальностям и направлениям подготовки;  $D1_t$  — фиктивная переменная, равная 1 для 2013–2014 гг. и 0 в остальных случаях,  $D2_t$  — фиктивная переменная, равная 1 для 2018 г. и 0 в остальных случаях;

4. численность занятых ИТС

$$et_t = c_{12} ge_t + c_{13} w_t + c_{14} D3, \quad (3.4a)$$

$$ET_t = et_t L_t, \quad (3.4б)$$

где  $et_t$  — доля численности занятых ИТС в общей численности занятых в экономике,  $w_t$  — отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности;  $D3_t$  — фиктивная переменная, равная 1 для 2016 г. и 0 в остальных случаях;

5. производственная функция промышленности

$$Y_{i_t} = c_{15} (F_{i_t} Z_t)^{c_{16}} (L_{i_t})^{1-c_{16}}, \quad (3.5)$$

где  $Z_t$  — уровень загрузки производственных мощностей в промышленности;  $F_{i_t}$  — основные фонды промышленности;  $L_{i_t}$  — численность занятых в промышленности (тыс. человек);

#### 6. производственная функция экономики

$$Y_t = c_{17} F_t^{c_{18}} L_t^{1-c_{18}}, \quad (3.6a)$$

$$d \ln TFP_t = c_{19} + c_{20} d \ln(Y_t / L_t), \quad (3.6b)$$

где  $Y_t$  — ВВП;  $F_t$  — основные фонды экономики;  $L_t$  — численность занятых в экономике (тыс. человек);

#### 7. производственная функция сектора услуг

$$Y_{S_t} = c_{21} F_{S_t}^{c_{22}} L_{S_t}^{1-c_{22}} C_t^{c_{23}}, \quad (3.7)$$

где  $Y_{S_t}$  — валовая добавленная стоимость в секторе услуг;  $F_{S_t}$  — основные фонды в секторе услуг;  $L_{S_t}$  — численность занятых в секторе услуг (тыс. человек);  $C_t$  — совокупные расходы на потребление;

#### 8. численность занятых в промышленности

$$li_t = c_{24} li_{t-1} + c_{25} (Fi_{t-1} Z_{t-1}), \quad (3.8a)$$

$$Li_t = li_t L_t; \quad (3.8b)$$

#### 9. численность занятых в секторе услуг

$$ls_t = c_{26} (Y_{S_{t-1}} / Y_{t-1}) + c_{27} li_t + c_{28} D4, \quad (3.9a)$$

$$L_{S_t} = ls_t L_t, \quad (3.9b)$$

где  $D4_t$  — фиктивная переменная, равная 1 для 2015 и 2016 гг. и 0 в остальных случаях;

#### 10. основные фонды (ОФ) в экономике

$$F_t = c_{29} F_{t-1} + c_{30} I_t, \quad (3.10a)$$

$$I_t = a_t Y_{t-1}, \quad (3.10b)$$

где  $I_t$  — инвестиции в основные фонды;

#### 11. основные фонды (ОФ) промышленности

$$Fi_t = c_{31} Fi_{t-1} + c_{32} li_t, \quad (3.11a)$$

$$li_t = ai_t I_t, \quad (3.11b)$$

где  $li_t$  — инвестиции в ОФ промышленности;

12. основные фонды сектора услуг

$$FS_t = c_{33}FS_{t-1} + c_{34}Is_t, \quad (3.12a)$$

$$Is_t = as_tI_t, \quad (3.12б)$$

где  $Is_t$  — инвестиции в ОФ сектора услуг;

13. потребление

$$C_t = c_{35} + c_{36}Y_t; \quad (3.13)$$

14. отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности

$$w_t = c_{37} + c_{38}(Y_t / Li_t). \quad (3.14)$$

### 3.1.2. Результаты моделирования

В качестве источника статистической информации были использованы данные Росстата (подробнее см. гл.1 параграф 1.3.). Стоимостные переменные даны в сопоставимых ценах 2008 г.

При этом оценка параметров уравнения (3.3а) произведена по данным 2000–2018 гг., (3.3б) по данным 1998–2015 гг., блоков (3.4) – (3.6) и (3.14) были оценены по данным 2000–2016 гг., (3.7) – (3.9) по данным 1999–2016 гг.; (3.10) по данным 1992–2016 гг., (3.11) по данным 2003–2016 гг., (3.12) по данным 2001–2015 гг., (3.13) по данным 1997–2015 гг.

Оценки параметров уравнений (3.3а), (3.3б) были получены методом максимального правдоподобия для системы одновременных уравнений; уравнения (3.4а), (3.14) методом наименьших квадратов, уравнения (3.5) – (3.13) обобщенным методом наименьших квадратов и методом максимального правдоподобия, критерием отбора моделей являлась минимальная среднеквадратическая ошибка.

Результаты представлены в табл.3.1.

Таблица 3.1. Оценки параметров макроэкономической модели для анализа сбалансированности спроса и предложения труда ИТС (3.1) – (3.14).

№	Зависимая переменная		Фактор	Оценка параметра	t-статистика	R <sup>2</sup>	F	DW	RM SE, %
3.3a	$\Delta ge_t / ge_{t-1}$	$c_1$	<i>const</i>	42,660	1,958	0,76	6,34	2,15	2,0
		$c_2$	$ge_{t-1}$	-1,509	-2,684				
		$c_3$	$\Delta ge_{t-1}$	1,010	1,116				
		$c_4$	$gs_{t-1}$	-0,195	-0,790				
		$c_5$	$\Delta Y_{t-5} / Y_{t-6}$	0,169	1,127				
		$c_6$	<i>D1</i>	11,965	4,103				
		$c_7$	<i>D2</i>	4,756	0,302				
3.3б	$\Delta gs_t / gs_{t-1}$	$c_8$	<i>const</i>	59,357	7,277	0,76	12,66	2,4	1,8
		$c_9$	$ge_{t-1}$	-1,100	-5,344				
		$c_{10}$	$gs_{t-1}$	-0,676	-6,464				
		$c_{11}$	$\Delta Y_{s_{t-6}} / Y_{s_{t-7}}$	0,081	1,003				
3.4a	$et_t$	$c_{12}$	$ge_{t-1}$	0,088	2,06	0,93	-	0,86	3,7
		$c_{13}$	$w_t$	13,354	5,10				
		$c_{14}$	<i>D3</i>	0,674	2,02				
3.5	$\ln[Y_i / L_i]$	$c_{15}$	<i>const</i>	2,476	4,794	0,86	94,77	0,72	1,4
		$c_{16}$	$\ln[F_i Z_i / L_i]$	0,734	9,735				
3.6a	$\ln[Y_t / L_t]$	$c_{17}$	<i>const</i>	3,763	5,657	0,59	15,25	1,53	3,3
		$c_{18}$	$\ln[F_t / L_t]$	0,368	3,905				
3.6б	$d\ln TFP_t$	$c_{19}$	<i>const</i>	-0,005	-0,834	0,74	43,47	1,56	1,4
		$c_{20}$	$\ln[Y_i / L_i]$	0,677	6,593				
3.7	$\ln[Y_{s_t} / L_{s_t}]$	$c_{21}$	<i>const</i>	-6,698	-10,331	0,96	172,71	0,85	1,0
		$c_{22}$	$\ln[F_{s_t} / L_{s_t}]$	0,563	2,875				
		$c_{23}$	$\ln[C_t]$	0,525	5,561				

Таблица 3.1. Продолжение.

3.8a	$li_t$	$c_{24}$	$li_{t-1}$	0,915	32,712	0,99	-	1,80	1,5
		$c_{25}$	$Fi_{t-1}Z_{t-1}$	2,616	2,343				
3.9a	$ls_t$	$c_{26}$	$ls_{t-1}$	0,465	3,912	0,93	-	1,53	1,9
		$c_{27}$	$Y_{St-1}/Y_{t-1}$	0,523	4,498				
		$c_{28}$	$D4$	2,786	3,521				
3.10a	$F_t$	$c_{29}$	$F_{t-1}$	0,973	181,482	0,96	-	-	5,9
		$c_{30}$	$I_t$	0,572	9,654				
3.11a	$Fi_t$	$c_{31}$	$Fi_{t-1}$	0,906	7,056	0,91	-	-	7,9
		$c_{32}$	$Ii_t$	0,935	1,003				
3.12a	$Fs_t$	$c_{33}$	$Fs_{t-1}$	0,978	26,964	0,92	-	-	13,2
		$c_{34}$	$Is_t$	0,774	1,408				
3.13	$C_t$	$c_{35}$	$const$	-232,398	-0,200	0,97	443,96	1,22	4,5
		$c_{36}$	$Y_t$	0,698	21,070				
3.14	$w_t$	$c_{37}$	$const$	0,024	10,593	0,70	37,60	1,05	4,4
		$c_{38}$	$Yi/Li_t$	0,00008	6,132				

Результаты моделирования выпуска и численности занятых ИТС свидетельствуют о достаточно высокой точности разработанной модели. Среднеквадратическая ошибка для рассматриваемого периода 2000–2016 гг. составила для численности выпуска ИТС ( $GE_t$ ) приблизительно 2,9%, для численности занятых ИТС ( $ET_t$ ) — около 2,6%. Среднеквадратическая ошибка постпрогноза для 2017–2018 гг. по данной модели для численности выпуска ИТС ( $GE_t$ ) приблизительно 1,5%, для численности занятых ИТС ( $ET_t$ ) — 1,3%.

На рис.3.2а,б представлены графики фактических и полученных в результате моделирования значений выходных переменных — численности выпуска ИТС ( $GE_t$ ) и численности занятых ИТС ( $ET_t$ ) (блоки модели 3.3 и 3.4).



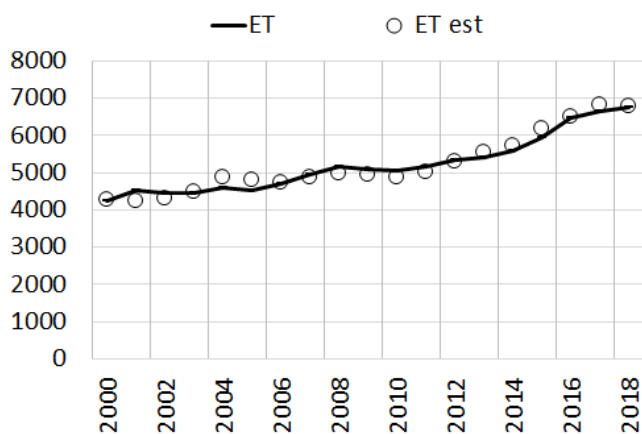


Рис.3.2а. Фактические ( $ET_t$ ) и полученные в результате моделирования ( $ET_t est$ ) значения численности ИТС, занятых в экономике, тыс. человек.

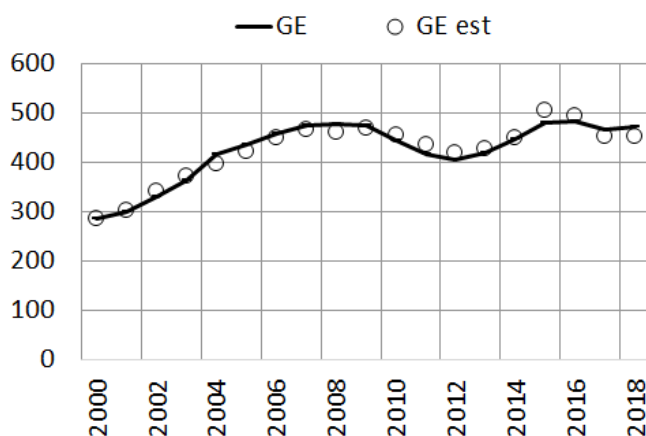


Рис.3.2б. Фактические ( $GE_t$ ) и полученные в результате моделирования ( $GE_t est$ ) значения численности выпуска ИТС из вузов и ссузов, тыс. человек.

### 3.2. Анализ степени сбалансированности спроса и предложения ИТС для различных сценариев

В данном параграфе был проведен анализ степени возможной сбалансированности спроса и предложения труда ИТС при различных сценариях экономического развития, предложенных в Прогнозе Минэкономразвития до 2024 г. [153]. На первом этапе были определены показатели спроса и предложения ИТС, а также показатели сбалансированности спроса и предложения ИТС (раздел 3.2.1). Затем с использованием полученных ранее нормативного соотношения (Приложение 1) и разработанных модели выпуска ИТС и макромоделей (раздел 2.3.1, параграф 3.1) были про-

анализированы сценарии развития, предложенные в Прогнозе Минэкономразвития до 2024 г. Далее с помощью решения оптимизационных задач определены значения доли инвестиций в обрабатывающие производства в инвестициях в экономике в целом, отношения заработной платы в обрабатывающих производствах к заработной плате в финансовой деятельности, доли молодых специалистов, остающихся работать по полученной специальности до 2030 г., при которых возможно достижение сбалансированности спроса и предложения ИТС для периода 2020–2030 гг.

### 3.2.1. Показатель степени возможной сбалансированности спроса и предложения ИТС

При анализе степени сбалансированности, спрос на труд ИТС ( $DET_t$ ) был определен как дополнительная потребность в ИТС ( $DET_t$ ) (аналогичный подход предложен в [12]) в соответствии со следующим уравнением:

$$DET_t = ET_t - (1 - u)ET_{t-1}, \quad (3.1)$$

где  $ET_t$  — численность занятых ИТС в экономике,  $u = 0.033$  — коэффициент, характеризующий дополнительную потребность, связанную с выбытием кадров и появлением вакантных мест, величина которого определена на основе данных Росстата [6] о доле вакантных мест в среднесписочной численности персонала за 2008–2018 гг. (введен аналогично коэффициентам естественной ротации и выбытия из-за смены вида деятельности, см. [170], но без конкретизации отдельных видов выбытия) с учетом оценок, приведенных в других работах, где для специалистов различных специальностей этот коэффициент примерно составляет 3% – 4% (см. [14,170,171,172]).

Предложение труда ИТС ( $SGE_t$ ) определялось как выпуск специалистов со средним и высшим инженерно-техническим образованием (аналогично тому, как предлагается в работе [44]) с учетом доли специалистов, работающих по полученной специальности:

$$SGE_t = c_t GE_t, \quad (3.2)$$

где  $c_t$  — доля молодых специалистов, работающих по специальности после выпуска из вуза/ссуза.

В настоящее время нет общепризнанного однозначного статистического показателя дефицита или избытка рабочей силы (как отмечается, например, в [99]), в данной работе предлагается под сбалансированностью спроса и предложения рассматривать такое состояние рынка труда ИТС, при котором дополнительная потребность в ИТС может быть обеспечена за счет предложения труда ИТС ( $DET_t \approx SGE_t$ ). В качестве показателя степени сбалансированности спроса и предложения ИТС использовалось соотношение полученных оценок объема дополнительного спроса на ИТС ( $DET_t$ ) и предложения труда ИТС, образованного численностью выпускников ( $SGE_t$ ):  $SGE_t / DET_t$  (аналогично «модифицированному показателю напряженности на рынке труда» в работе [11]). Значения данного показателя менее 1 свидетельствовали о возможном дефиците подготавливаемых кадров, в то время как значения, превышающие 1, — о вероятности роста безработицы среди ИТС и потерь кадрового потенциала ИТС.

### **3.2.2. Анализ и прогноз возможной степени сбалансированности спроса и предложения ИТС в 2020–2024 гг. для различных сценариев**

В данном разделе приведено описание рассматриваемых сценариев, для каждого из которых приведены исходные данные, полученные прогнозные оценки численности занятых ИТС и численности выпуска ИТС, оценки спроса и предложения ИТС, а также показателя степени сбалансированности спроса и предложения ИТС для периода 2020–2024 гг.

**Выбор сценариев.** Основными источниками информации для выбора сценариев и проведения прогнозов были данные Прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2024 г. Минэкономразвития (далее — прогноз МЭР [153]), также данные прогноза Института социологии РАН (далее — ИС РАН) до 2030 г. [173].

Для анализа степени сбалансированности спроса и предложения ИТС были рассмотрены 3 сценария (консервативный, базовый, целевой), приведенные в прогнозе социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2024 г. Минэкономразвития.

Для получения прогнозных оценок численности занятых и выпуска ИТС для сценариев 1–3 использовались 2 метода расчетов.

Первый метод оценки численности занятых и выпуска ИТС основан на использовании макроэкономической модели для исследования спроса и предложения ИТС (3.1) – (3.14) (параграф 3.1).

Второй, дополнительный метод, был основан на использовании нормативного соотношения численности инженеров в расчете на 1 млрд долл. ВВП (см. Приложение 1) которое позволяет оценить перспективную потребность в ИТС как функцию от ВВП.

В частности, по данным для России для периода 2000–2012 гг. было установлено, что численность инженеров в расчете на 1 млрд долл. ВВП ( $k_1$ ) равна приблизительно 1200–1300 человек, численность техников в расчете на 1 млрд долл. ВВП ( $k_2$ ) составляет около 500 человек. Предварительные прогнозные оценки численности занятых ИТС ( $ET_t$ ) с помощью нормативного соотношения рассчитывались по формуле:

$$ET_t = (k_1 + k_2)Y_t, \quad (3.15)$$

где  $k_1 \approx 1300$  — численность инженеров в расчете на 1 млрд долл. ВВП,  $k_2 \approx 500$  — численность техников в расчете на 1 млрд долл. ВВП (см. гл.2 параграф 2.1), то есть  $k_1 + k_2 \approx 1800$  — общая численность ИТС (тыс. человек, в расчете на 1 млрд долл., в постоянных ценах 2010 г.),  $ET_t$  — численность занятых ИТС (тыс. человек),  $Y_t$  — ВВП (млрд долл., в постоянных ценах 2010 г.).

Для исследования возможности использования данного показателя при прогнозировании была рассчитана среднеквадратическая ошибка постпрогноза численности занятых ИТС за период 2015–2018 гг., которая составила 5,78%. Это свидетельствует о возможности использования данного показателя в качестве норматива только для предварительной оценки потребности в ИТС при краткосрочном прогнозировании.

Оценки численности выпуска ИТС для второго метода расчета были получены с использованием модели для исследования динамики выпуска ИТС (2.16) (раздел 2.3.1).

Экзогенными переменными для проведения расчетов по сценариям были: темп прироста ВВП, темп прироста промышленных производств, численность занятых. При проведении расчетов предполагалось, что темпы роста численности занятых в 2020–2021 гг. были оценены несколько ниже представленных в [153] в связи с неблагоприятной эпидемиологической обстановкой (см. табл. 3.3, 3.5, 3.7). Основные показатели для сценариев 1–3 представлены в табл.3.2.

Таблица 3.2. Показатели, соответствующие базовому, консервативному и целевому сценариям, прогноз МЭР [153].

Показатель	Сценарий	2020	2024
ВВП, темп прироста, к предыдущему году, %	1 (консервативный)	1,1	2,5
	2 (базовый)	1,7	3,3
	3 (целевой)	2,0	3,3
Промышленные производства, темп прироста, к предыдущему году, %	1 (консервативный)	1,7	2,2
	2 (базовый)	2,4	3,1
	3 (целевой)	2,8	3,3
Численность занятых, млн человек	1 (консервативный)	72,1	73,1
	2 (базовый)	72,1	73,9
	3 (целевой)	72,1	73,9

При расчете численности выпуска специалистов ИТС данные по численности выпуска специалистов в целом были взяты из прогноза ИС РАН до 2030 г. [173].

При определении прогнозных оценок предложения труда ИТС, выраженного численностью выпускников инженерно-технических специальностей, учитывался возможный отток специалистов в другие профессии и отрасли после окончания ссузов и вузов. По оценкам [50], в 2010–2013 гг. работать по инженерной специальности оставалось не более 50–60% выпускников. По данным Росстата [174], за период 2013–2017 гг. основная работа была связана с полученной профессией для 69–73% выпускников инженерно-технических специальностей, получивших высшее профессиональное образование, и 50–53% выпускников инженерно-

технических специальностей, получавших среднее профессиональное образование, то есть в целом доля работавших не по полученной профессии ИТС достигала 40% (31% и 49% для специалистов с высшим и средним специальным образованием, соответственно, — от 8% для специалистов по вооружениям до 50% для специалистов в области воспроизводства и переработки лесных ресурсов) [175].

Далее более подробно рассмотрены каждый сценарий, исходные данные и результаты анализа степени сбалансированности спроса и предложения ИТС для периода 2020–2024 гг.

**Сценарий 1 (консервативный).** За основу для сценария 1 был взят консервативный сценарий, предложенный в Прогнозе Минэкономразвития [153], в котором предполагалось увеличение среднегодового темпа прироста ВВП с 1,1% в 2020 г. до 2,5% в 2024 г., темпов прироста промышленных производств с 1,7% до 2,2%, а также численности занятых в экономике с 71,9 до 73,1 млн человек соответственно. Исходные показатели для сценария 1 представлены в табл.3.3.

Таблица 3.3. Исходные показатели сценария 1 [153,173].

Показатель	2020	2021	2022	2023	2024
ВВП, темп прироста, %	1,1	1,9	2,3	2,5	2,5
Промышленные производства, темп прироста, %	1,7	1,8	2,0	2,2	2,2
Численность занятых, млн человек	71,9*	72,3*	72,6	72,9	73,1
Численность выпуска специалистов ВПО и СПО, тыс. человек	1458,9	1528,1	1581,4	1610,3	1625,1

\*оценки автора

Результаты проведенных расчетов показывают, что оценки спроса на ИТС, полученные с использованием нормативного соотношения (3.15) в соответствии с методом расчета 2 (см. Приложение 6, табл. Пб.1), оказываются выше оценок, полученных с использованием макромоделей (3.1)–(3.14), то есть в соответствии с методом расчета 1. Результаты моделирования свидетельствуют о том, что при

реализации данного сценария, характеризуемого невысокими темпами роста ВВП и промышленного производства, при общем росте численности занятых ИТС возможно снижение дополнительной потребности в ИТС ( $DET_t$ ), что способствует сохранению высокого уровня оттока кадров или даже его росту.

Результаты расчета прогнозной численности занятых ИТС, а также показатели спроса ( $DET_t$ ), предложения ( $SGE_t$ ), оценки степени сбалансированности ( $SGE_t / DET_t$ ), полученные с использованием макромоделей (3.1)–(3.14), приведены в табл.3.4.

Таблица 3.4. Оценки показателей спроса ( $DET_t$ ), предложения ( $SGE_t$ ) и степени сбалансированности спроса и предложения труда ( $SGE_t / DET_t$ ) ИТС в 2020–2024 гг., сценарий 1.

	$ET_t$	$DET_t$	$SGE_t$	$SGE_t / DET_t$
2020	6859,8	297,5	301,1	1,01
2021	6944,6	311,1	319,3	1,03
2022	7019,8	304,4	332,2	1,09
2023	7087,5	299,4	339,5	1,13
2024	7142,7	289,1	343,3	1,19

**Сценарий 2 (базовый).** За основу для сценария 2 был взят базовый сценарий, предложенный в Прогнозе Минэкономразвития [153]. В данном случае предполагалось увеличение среднегодового темпа прироста ВВП с 1,7% в 2020 г. до 3,3% в 2024 г., темпов прироста промышленных производств с 2,4% до 3,1%, а также численности занятых в экономике с 72,1 до 73,9 млн человек соответственно. Исходные показатели для сценария 2 представлены в табл.3.5.

Результаты расчета прогнозной численности занятых ИТС, показатели спроса ( $DET_t$ ), предложения ( $SGE_t$ ) и оценки уровня сбалансированности ( $SGE_t / DET_t$ ), полученные с использованием макромоделей (3.1)–(3.14), приведены в табл.3.6. Полученные результаты свидетельствуют о возможности существования сбалансированности спроса и предложения труда ИТС при сохранении текущего уровня оттока кадров.

Таблица 3.5. Исходные показатели сценария 2 [153,173].

Показатель	2020	2021	2022	2023	2024
ВВП, темп прироста, %	1,7	3,1	3,2	3,3	3,3
Промышленные производства, темп прироста, %	2,4	2,6	2,9	3,0	3,1
Численность занятых, млн человек	71,9*	72,3*	72,8	73,3	73,9
Численность выпуска специалистов ВПО и СПО, тыс. человек	1458,9	1528,1	1581,4	1610,3	1625,1

\*оценки автора

Таблица 3.6. Оценки показателей спроса ( $DET_t$ ), предложения ( $SGE_t$ ) и степени сбалансированности спроса и предложения труда ( $SGE_t/DET_t$ ) ИТС в 2020–2024 гг., сценарий 2.

	$ET_t$	$DET_t$	$SGE_t$	$SGE_t/DET_t$
2020	6872,6	310,3	301,1	0,97
2021	6971,1	325,3	319,3	0,98
2022	7079,5	338,5	332,2	0,98
2023	7185,9	340,0	339,5	1,00
2024	7292,5	343,7	343,3	1,00

**Сценарий 3 (целевой).** За основу для сценария 3 был взят целевой сценарий из Прогноза Минэкономразвития [153]. Исходные данные показателей для сценария 3 представлены в табл.3.8. В данном сценарии предполагалось увеличение среднегодового темпа прироста ВВП с 2,0% в 2020 г. до 3,3% в 2024 г., темпов прироста промышленных производств с 2,8% до 3,3% соответственно. Численность занятых в экономике, возрастет с 72,1 до 73,9 млн человек за период 2020–2024 гг., аналогично сценарию 2 (базовому).

Результаты анализа показывают, что при реализации целевого сценария, как и в случае базового, при неизменном уровне оттока специалистов, может наблюдаться сбалансированность спроса и предложения труда ИТС (см. рис. 3.3). Сход-



ство оценок для сценариев 2 и 3 можно объяснить близкими значениями показателей темпов прироста ВВП и промышленного производства в данных сценариях.

Таблица 3.7. Исходные данные показателей сценария 3 [153,173].

Показатель	2020	2021	2022	2023	2024
ВВП, темп прироста, %	2,0	3,1	3,2	3,3	3,3
Промышленные производства, темп прироста, %	2,8	2,8	3,0	3,2	3,3
Численность занятых, млн человек	71,9*	72,3*	72,8	73,3	73,9
Численность выпуска специалистов ВПО и СПО, тыс. человек	1458,9	1528,1	1581,4	1610,3	1625,1

\*оценки автора

Аналогично сценариям 1–2, оценки потребности в ИТС, полученные с помощью нормативного соотношения, оказываются выше полученных с помощью моделирования, и свидетельствуют о возможности появления дефицита ИТС при более высоких темпах роста выпуска промышленности (см. Приложение 6, табл. П6.3). Результаты расчета прогнозной численности занятых ИТС, а также показатели спроса ( $DET_t$ ), предложения ( $SGE_t$ ), а также оценки уровня сбалансированности ( $SGE_t/DET_t$ ), полученные с помощью макромоделей (3.1)–(3.14), приведены в табл.3.8.

Таблица 3.8. Оценки показателей спроса ( $DET_t$ ), предложения ( $SGE_t$ ) и степени сбалансированности спроса и предложения труда ( $SGE_t/DET_t$ ) ИТС в 2020–2024 гг., сценарий 3.

	$ET_t$	$DET_t$	$SGE_t$	$SGE_t/DET_t$
2020	6880,0	317,7	301,1	0,95
2021	6983,0	330,1	319,3	0,97
2022	7094,6	342,1	332,2	0,97
2023	7206,4	345,9	339,5	0,98
2024	7318,9	350,4	343,3	0,98

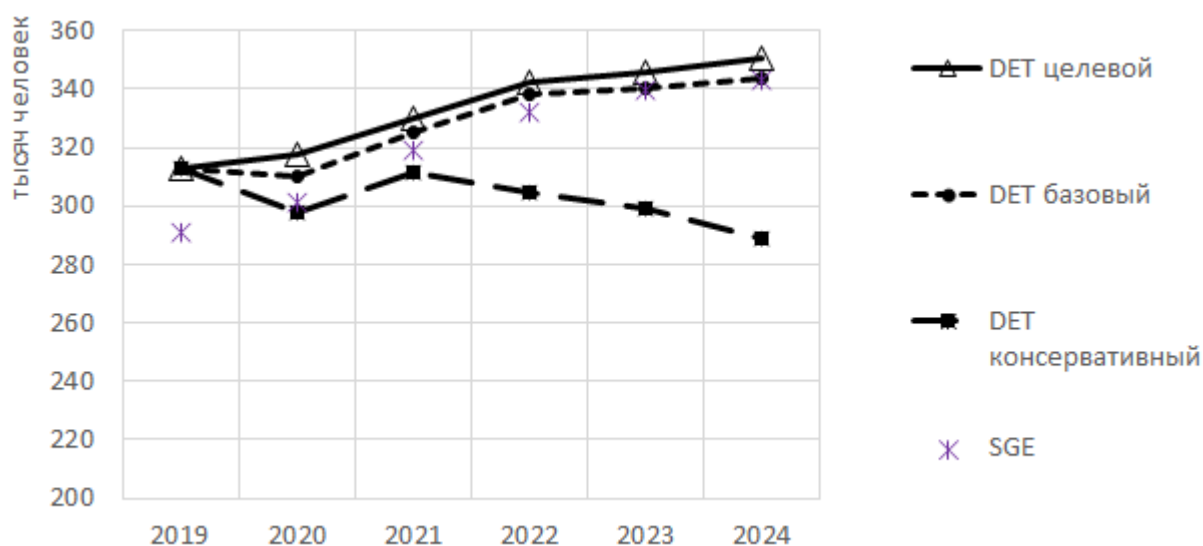


Рис. 3.3. Динамика показателей спроса на труд ИТС ( $DET_t$ ) и предложения труда ИТС ( $SGE_t$ ) для целевого, базового и консервативного сценариев, рассчитанных с использованием модели (3.1)–(3.14).

Результаты проведенного анализа показывают, что для сценариев 1–3, оценки дополнительной потребности в ИТС с использованием метода расчета 2 (нормативного соотношения, см. Приложение 1) оказываются типично выше оценок, полученных с использованием метода расчета 1 (модели (3.1) – (3.14)). Таким образом, использование нормативного соотношения предполагается возможным применять как дополнительный метод к использованию модели, поскольку полученные с использованием норматива оценки потребности в ИТС показывают возможный рост спроса на труд ИТС с учетом одного лишь темпа экономического роста, но не учитывая другие макроэкономические показатели.

**Выводы.** Результаты проведенного анализа показывают, что для консервативного сценария, характеризующегося относительно более низкими темпами промышленного развития, возможно сохранение некоторого превышения предложения труда ИТС (выпуска молодых специалистов) над спросом даже с учетом высокой доли молодых специалистов, не работающих по специальности после окончания профессионального образования, что создает угрозу потери человеческого капитала и роста несбалансированности. В то же время для базового и целевого сценариев (при темпах

прироста ВВП и промышленного производства, равных 2,5–3% и 1,8–2,2% соответственно), незначительно отличающихся друг от друга, соответственно в краткосрочном периоде возможно достижение ситуации сбалансированности спроса и предложения все еще при сохранении высокого уровня оттока кадров. Достижение сбалансированности спроса и предложения ИТС внутри данных сценариев все еще достигается при значительных потерях человеческого капитала ИТС.

### ***3.3. Определение условий сбалансированности спроса и предложения ИТС с помощью решения оптимизационных задач***

С помощью разработанной макроэкономической модели (3.1) – (3.14) возможно определить условия достижения относительной степени сбалансированности спроса и предложения ИТС путем решения оптимизационных задач с учетом изменения других макроэкономических переменных, в частности темпов роста инвестиций в промышленности, а также относительной средней заработной платы в промышленности.

С целью определения параметров экономического развития, при которых возможно достижение сбалансированности спроса и предложения ИТС, с помощью разработанной модели (3.1) – (3.14) были сформулированы и решены (для периода 2020–2030 гг.) три оптимизационные задачи.

Во всех задачах критерием оптимизации является минимум суммы квадратов разности ( $\sum_t (DET_t - SGE_t)^2 \rightarrow \min$ ). При этом в задаче 1 параметром оптимизации является темп прироста доли инвестиций в ОП в инвестициях в ОФ экономики в целом ( $dLn(aim_t)$ ).

Задача 1 формулируется следующим образом:

$$\sum_t (DET_t - SGE_t)^2 \rightarrow \min_{dLn(aim_t)} \quad (3.16a)$$

$$(aiq_t + aim_t + aid_t) + as_t \leq A \quad (3.17a)$$

$$A = 0.91 \quad (3.17b)$$

$$dLn(aim_t) \geq 0 \quad (3.18)$$

$$DET_t = ET_t - (1-u)ET_{t-1}, \quad (3.1)$$

$$SGE_t = c_t GE_t, \quad (3.2)$$

$$c_t = 0.62 \quad (3.19a)$$

$$\Delta ge_t / ge_{t-1} = c_1 + c_2 ge_{t-1} + c_3 \Delta ge_{t-1} + c_4 gs_{t-1} + c_5 \Delta Yi_{t-5} / Yi_{t-6} + c_6 D1_t + c_7 D2_t, \quad (3.3a)$$

$$\Delta gs_t / gs_{t-1} = c_8 + c_9 ge_{t-1} + c_{10} gs_{t-1} + c_{11} \Delta Ys_{t-6} / Ys_{t-7}, \quad (3.3b)$$

$$GE_t = ge_t G_t \quad (3.3B)$$

$$et_t = c_{12} ge_t + c_{13} w_t + c_{14} D3_t, \quad (3.4a)$$

$$ET_t = et_t L_t, \quad (3.4b)$$

$$Yi_t = c_{15} (Fi_t Z_t)^{c_{16}} (Li_t)^{1-c_{16}}, \quad (3.5)$$

$$Y_t = c_{17} F_t^{c_{18}} L_t^{1-c_{18}}, \quad (3.6a)$$

$$d \ln TFP_t = c_{19} + c_{20} d \ln(Yi_t / Li_t), \quad (3.6b)$$

$$Ys_t = c_{21} Fs_t^{c_{22}} Ls_t^{1-c_{22}} C_t^{c_{23}}, \quad (3.7)$$

$$li_t = c_{24} li_{t-1} + c_{25} (Fi_{t-1} Z_{t-1}), \quad (3.8a)$$

$$Li_t = li_t L_t, \quad (3.8b)$$

$$ls_t = c_{26} (Ys_{t-1} / Y_{t-1}) + c_{27} li_t + c_{28} D4_t, \quad (3.9a)$$

$$Ls_t = ls_t L_t, \quad (3.9b)$$

$$F_t = c_{29} F_{t-1} + c_{30} I_t, \quad (3.10a)$$

$$I_t = a_t Y_{t-1}, \quad (3.10b)$$

$$Fi_t = c_{31} Fi_{t-1} + c_{32} Ii_t, \quad (3.11a)$$

$$Ii_t = ai_t I_t, \quad (3.11b)$$

$$Fs_t = c_{33} Fs_{t-1} + c_{34} Is_t, \quad (3.12a)$$

$$Is_t = as_t I_t, \quad (3.12b)$$

$$C_t = c_{35} + c_{36} Y_t, \quad (3.13)$$

$$w_t = c_{37} + c_{38} (Yi_t / Li_t). \quad (3.14)$$

Ограничения задачи 1, помимо модели (3.1)–(3.14) были определены следующим образом: 1) суммарная доля инвестиций в ОФ промышленности и секторе услуг от инвестиций в ОФ экономики в целом останется неизменной на уровне 2016 г., равной 91%; 2) доля инвестиций в основные фонды обрабатывающей промышленности в инвестициях в основные фонды экономики в целом на протяжении рассматриваемого периода изменяется с некоторым постоянным положительным темпом  $dLn(aim_t)$ . Доля ИТС, работающих по специальности после выпуска ( $c_t$ ) задана постоянной величиной, и предполагается, что она сохраняется на уровне 2016 г., равном около 62%.

Начальными условиями при решении задач являлись значения параметров доли инвестиций в ОП в инвестициях в ОФ экономики в целом ( $aim_t = 0,14$ ), добывающую промышленность ( $aiq_t = 0,18$ ), производство и обеспечение газа, электроэнергии и воды ( $aid_t = 0,06$ ), значение доли инвестиций в ОФ экономики в ВВП ( $a_t = 0,19$ ). Начальные условия для других переменных модели определялись значением внутренних переменных модели (3.1)–(3.14) для 2019 г.

В задаче 2 параметрами оптимизации являются темп прироста доли инвестиций в ОП в инвестициях в ОФ экономики в целом ( $dLn(aim_t)$ ), отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ ).

Задача 2 формулируется следующим образом:

$$\sum_t (DET_t - SGE_t)^2 \rightarrow \min_{dLn(aim_t), w_t} \quad (3.166)$$

$$(aiq_t + aim_t + aid_t) + as_t \leq A \quad (3.17a)$$

$$A = 0.91 \quad (3.17b)$$

$$dLn(aim_t) \geq 0 \quad (3.18)$$

$$DET_t = ET_t - (1-u)ET_{t-1}, \quad (3.1)$$

$$SGE_t = c_t GE_t, \quad (3.2)$$

$$dLnc_t = 0.05 \quad (3.19b)$$

$$\Delta ge_t / ge_{t-1} = c_1 + c_2 ge_{t-1} + c_3 \Delta ge_{t-1} + c_4 gs_{t-1} + c_5 \Delta Yi_{t-5} / Yi_{t-6} + c_6 D1_t + c_7 D2_t, \quad (3.3a)$$

$$\Delta gs_t / gs_{t-1} = c_8 + c_9 ge_{t-1} + c_{10} gs_{t-1} + c_{11} \Delta Ys_{t-6} / Ys_{t-7}, \quad (3.36)$$

$$GE_t = ge_t G_t \quad (3.3B)$$

$$et_t = c_{12} ge_t + c_{13} w_t + c_{14} D3_t, \quad (3.4a)$$

$$ET_t = et_t L_t, \quad (3.46)$$

$$Yi_t = c_{15} (Fi_t Z_t)^{c_{16}} (Li_t)^{1-c_{16}}, \quad (3.5)$$

$$Y_t = c_{17} F_t^{c_{18}} L_t^{1-c_{18}}, \quad (3.6a)$$

$$d \ln TFP_t = c_{19} + c_{20} d \ln (Yi_t / Li_t), \quad (3.66)$$

$$Ys_t = c_{21} F_s^{c_{22}} L_s^{1-c_{22}} C_t^{c_{23}}, \quad (3.7)$$

$$li_t = c_{24} li_{t-1} + c_{25} (Fi_{t-1} Z_{t-1}), \quad (3.8a)$$

$$Li_t = li_t L_t, \quad (3.86)$$

$$ls_t = c_{26} (Ys_{t-1} / Y_{t-1}) + c_{27} li_t + c_{28} D4_t, \quad (3.9a)$$

$$Ls_t = ls_t L_t, \quad (3.96)$$

$$F_t = c_{29} F_{t-1} + c_{30} I_t, \quad (3.10a)$$

$$I_t = a_t Y_{t-1}, \quad (3.106)$$

$$Fi_t = c_{31} Fi_{t-1} + c_{32} Ii_t, \quad (3.11a)$$

$$Ii_t = ai_t I_t, \quad (3.116)$$

$$Fs_t = c_{33} Fs_{t-1} + c_{34} Is_t, \quad (3.12a)$$

$$Is_t = as_t I_t, \quad (3.126)$$

$$C_t = c_{35} + c_{36} Y_t, \quad (3.13)$$

$$w_t = c_{37} + c_{38} (Yi_t / Li_t). \quad (3.14)$$

Ограничения задачи 2, помимо модели (3.1)–(3.14), включают ограничения задачи 1, при экзогенно заданном темпе прироста доли молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска ( $c_t$ ).

В задаче 3 параметрами оптимизации являются темп прироста доли инвестиций в ОП в инвестициях в ОФ экономики в целом ( $dLn(aim_t)$ ), темп прироста отношения средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $dLn(w_t)$ ); доля молодых специалистов, продол-

жающих работать по специальности после выпуска ( $c_t$ ). При этом введено ограничение на долю молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска ( $c_t$ ), исходя из предположения, что максимально возможное снижение оттока учитывает сохранение минимального порога в 20% специалистов, не работающих по специальности (в связи с продолжением образования, наличием естественной безработицы и другим причинам).

Задача 3 формулируется следующим образом:

$$\sum_t (DET_t - SGE_t)^2 \rightarrow \min_{dLn(aim_t), c_t, dLn(w_t)} \quad (3.16B)$$

$$(aiq_t + aim_t + aid_t) + as_t \leq 0.91 \quad (3.186)$$

$$dLn(aim_t) \geq 0 \quad (3.18B)$$

$$(aiq_t + aim_t + aid_t) + as_t \leq A \quad (3.17a)$$

$$A = 0.91 \quad (3.176)$$

$$dLn(aim_t) \geq 0 \quad (3.18)$$

$$DET_t = ET_t - (1-u)ET_{t-1}, \quad (3.1)$$

$$SGE_t = c_t GE_t, \quad (3.2)$$

$$c_t \leq 0.80 \quad (3.19B)$$

$$\Delta ge_t / ge_{t-1} = c_1 + c_2 ge_{t-1} + c_3 \Delta ge_{t-1} + c_4 gs_{t-1} + c_5 \Delta Yi_{t-5} / Yi_{t-6} + c_6 D1_t + c_7 D2_t, \quad (3.3a)$$

$$\Delta gs_t / gs_{t-1} = c_8 + c_9 ge_{t-1} + c_{10} gs_{t-1} + c_{11} \Delta Ys_{t-6} / Ys_{t-7}, \quad (3.36)$$

$$GE_t = ge_t G_t \quad (3.3B)$$

$$et_t = c_{12} ge_t + c_{13} w_t + c_{14} D3_t, \quad (3.4a)$$

$$ET_t = et_t L_t, \quad (3.46)$$

$$Yi_t = c_{15} (Fi_t Z_t)^{c_{16}} (Li_t)^{1-c_{16}}, \quad (3.5)$$

$$Y_t = c_{17} F_t^{c_{18}} L_t^{1-c_{18}}, \quad (3.6a)$$

$$d \ln TFP_t = c_{19} + c_{20} d \ln(Yi_t / Li_t), \quad (3.66)$$

$$Ys_t = c_{21} Fs_t^{c_{22}} Ls_t^{1-c_{22}} C_t^{c_{23}}, \quad (3.7)$$

$$li_t = c_{24} li_{t-1} + c_{25} (Fi_{t-1} Z_{t-1}), \quad (3.8a)$$

$$Li_t = li_t L_t, \quad (3.86)$$

$$ls_t = c_{26}(Y_{s_{t-1}} / Y_{t-1}) + c_{27}li_t + c_{28}D4_t, \quad (3.9a)$$

$$Ls_t = ls_t L_t, \quad (3.96)$$

$$F_t = c_{29}F_{t-1} + c_{30}I_t, \quad (3.10a)$$

$$I_t = a_t Y_{t-1}, \quad (3.106)$$

$$Fi_t = c_{31}Fi_{t-1} + c_{32}I_t, \quad (3.11a)$$

$$Ii_t = ai_t I_t, \quad (3.116)$$

$$Fs_t = c_{33}Fs_{t-1} + c_{34}Is_t, \quad (3.12a)$$

$$Is_t = as_t I_t, \quad (3.126)$$

$$C_t = c_{35} + c_{36}Y_t, \quad (3.13)$$

$$w_t = c_{37} + c_{38}(Y_t / Li_t). \quad (3.14)$$

Экзогенными переменными при решении задач 1–3 являлись:

численность занятых в экономике ( $L_t$ ); прогнозные оценки были получены из прогноза МЭР до 2036 г.;

численность выпуска специалистов со средним и высшим профессиональным образованием по всем специальностям и направлениям подготовки ( $G_t$ ); прогнозные оценки были получены из прогноза ИС РАН;

доля инвестиций в ОФ экономики в ВВП ( $a_t$ ); предполагалось, что данная величина возрастет до 25% к 2024 г. и до 30% к 2030 г.;

уровень загрузки производственных мощностей ( $Z_t$ ); предполагается неизменным на уровне 2016 г., равным 66.8%.

Доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска ( $c_t$ ), предполагается неизменной на уровне 2016 г. в задаче 1, задается экзогенно (задача 2) и является параметром оптимизации в задаче 3.

Ввиду того, что модель выпуска ИТС содержит переменные с лагом в 5 и 6 лет, предполагается, что изменение темпов прироста показателей в 2020–2024 гг. оказывало влияние на сбалансированность спроса и предложения ИТС в период 2025–2030 гг.



Решение задач оптимизации было осуществлено с использованием метода обобщенного понижающего (приведенного) градиента (ОПГ, GRG2 – generalized reduced gradient) для решения нелинейных задач, реализованного в MS Excel. Метод обобщенного градиента является развитием метода понижающего градиента для системы нелинейных ограничений, заданных с помощью неравенств. В ряде случаев, когда при численной оптимизации при нелинейных ограничениях для нахождения решения используется метод касательных (алгоритм Ньютона-Рафсона), метод обобщенного понижающего градиента в литературе встречается как синонимичный методу проекции градиента (см., например, [176]).

Динамика основных показателей экономического развития, полученная в результате решения оптимизационной задачи 1, представлена в табл.3.9 и на рис.3.4а,б.

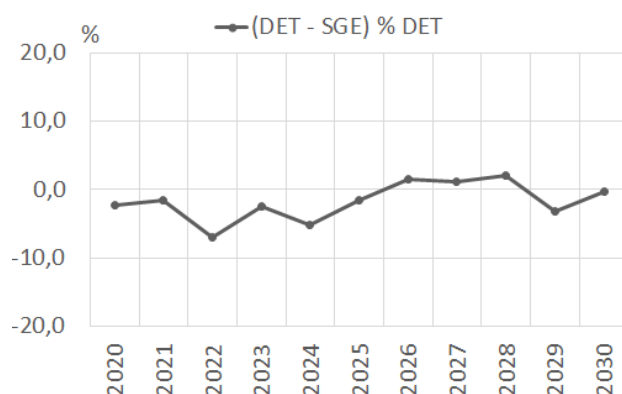
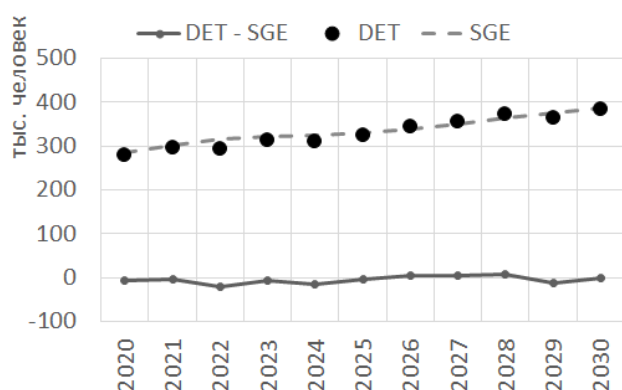


Рис. 3.4а. Динамика показателей спроса (DET) и предложения (SGE) ИТС и показателя сбалансированности (DET–SGE), полученных в результате решения задачи 1.

Рис. 3.4б. Динамика показателя сбалансированности (DET–SGE) в % от численности занятых ИТС, полученных в результате решения задачи 1.

Таблица 3.9. Результаты решения оптимизационной задачи 1.

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Доля инвестиций в ОФ в ВВП, % ( $a_t*100\%$ )	19,3	20,1	21,8	23,6	25,6	27,7	30,0
Темп прироста инвестиций в ОФ в экономике, % ( $\Delta I_t/I_{t-1}$ )	6,2	6,3	6,8	7,2	7,7	8,2	8,6
Темп прироста ВВП, % ( $\Delta Y_t/Y_{t-1}$ )	2,1	2,4	2,8	3,2	3,7	4,2	4,6
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aim_t*100\%$ )	14,3	14,6	15,1	15,7	16,4	17,0	17,7
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aiq_t*100\%$ )	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aid_t*100\%$ )	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности, % ( $I_i/Y_i$ )	10,8	11,3	12,4	13,5	14,8	16,0	17,4
Темп прироста инвестиций в ОФ промышленности, % ( $\Delta I_i/I_{i-1}$ )	6,2	7,0	7,6	8,0	8,5	9,0	9,5
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $I_i/I_t$ )	39,1	39,4	39,9	40,5	41,1	41,8	42,4
Темп прироста выпуска промышленности, % ( $\Delta Y_i/Y_{i-1}$ )	2,1	2,5	3,1	3,7	4,3	4,8	5,3
Доля ВДС промышленности в ВВП, % ( $Y_i/Y_t$ )	27,9	28,0	28,1	28,4	28,7	29,0	29,4

Доля численности занятых в промышленности в общей численности занятых в экономике, % ( $L_i/L_t$ )	18,2	18,2	18,2	18,3	18,4	18,6	18,9
Доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и ссузов ( $c_t*100\%$ )	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ( $ET_t/L_t*100\%$ )	9,2	9,3	9,5	9,7	9,9	10,1	10,4
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ )	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,49	0,51
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. человек ( $DET_t$ )		280,3	294,8	310,6	345,7	374,7	388,7
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. человек ( $SGE_t$ )		286,3	314,8	325,7	338,7	364,0	385,7
Показатель сбалансированности спроса и предложения труда ИТС в % от дополнительной потребности в ИТС ( $(DET_t - SGE_t)/DET_t$ ), %		-2,14	-6,80	-4,85	2,02	2,86	0,79

Полученные результаты показывают, что минимизация несбалансированности спроса и предложения ИТС ( $DET_t - SGE_t$ ) при решении задачи 1 наблюдается в случае, если к 2030 г. показатель  $aim_t$  достигает около 18% и доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестициях в ОФ экономики ( $I_i/I_t$ , %) возрастет к 2030 г. примерно до 42%.

Результаты решения задачи 1 для близких начальных условий (произвольно выбранных значений  $aim_t$ ,  $aiq_t$ ,  $aid_t$ ) подтверждают его относительную устойчивость найденного решения (результаты решения задачи 1 для других начальных условий приведены в табл. П7.1–П7.3 в Приложении 7).

Решение задачи 2 показывает, что при предположении о снижении оттока молодых специалистов в другие отрасли и специальности (что равносильно росту доли молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и ссузов ( $c_t$ ) на 3 п.п. до 65%) условием сбалансированности спроса и предложения ИТС может быть как некоторый рост отношения средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ ), так и более быстрый рост инвестиций в ОФ ОП. Результаты приведены в табл.3.10 и на рис.3.5а,б (для других начальных условий результаты приведены в табл. П7.4–П7.6 в Приложении 7).

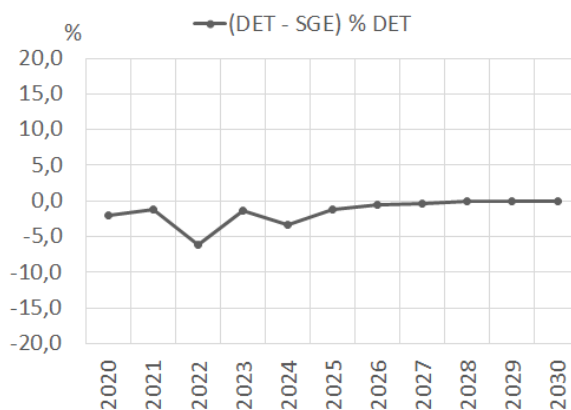
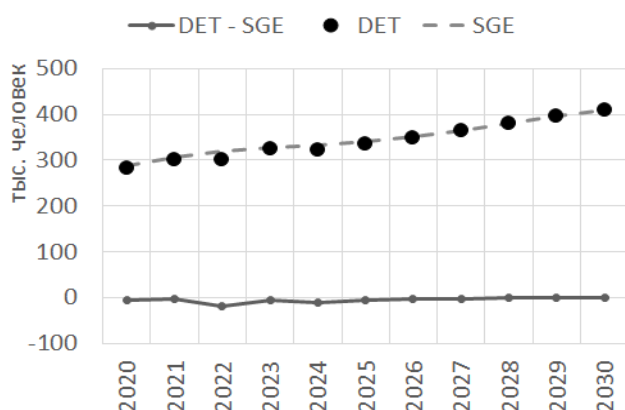


Рис. 3.5а. Динамика показателей спроса (DET) и предложения (SGE) ИТС и показателя сбалансированности (DET–SGE), полученных в результате решения задачи 2.

Рис. 3.5б. Динамика показателя сбалансированности (DET–SGE) в % от численности занятых ИТС, полученных в результате решения задачи 2.

Таблица 3.10. Результаты решения оптимизационной задачи 2.

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Доля инвестиций в ОФ в ВВП, % ( $a_t*100\%$ )	19,3	20,1	21,8	23,6	25,6	27,7	30,0
Темп прироста инвестиций в ОФ в экономике, % ( $\Delta I_t/I_{t-1}$ )	6,2	6,3	6,9	7,6	8,2	8,9	9,6
Темп прироста ВВП, % ( $\Delta Y_t/Y_{t-1}$ )	2,1	2,4	3,0	3,6	4,3	5,0	5,6
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aim_t*100\%$ )	14,3	15,1	17,0	19,0	21,3	23,8	26,7
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aiq_t*100\%$ )	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aid_t*100\%$ )	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности, % ( $I_i/Y_i$ )	10,8	11,5	12,9	14,6	16,4	18,4	20,7
Темп прироста инвестиций в ОФ промышленности, % ( $\Delta I_i/I_{i-1}$ )	6,2	8,6	9,4	10,2	11,0	11,9	12,8
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестиции в ОФ экономики, % ( $I_i/I_t$ )	39,1	39,9	41,7	43,8	46,1	48,6	51,5
Темп прироста выпуска промышленности, % ( $\Delta Y_i/Y_{i-1}$ )	2,1	2,6	3,4	4,2	5,1	6,0	6,9

Доля ВДС промышленности в ВВП, % ( $Y_i/Y_t$ )	27,9	28,0	28,2	28,5	29,0	29,5	30,2
Доля численности занятых в промышленности в общей численности занятых в экономике, % ( $L_i/L_t$ )	18,2	18,2	18,2	18,3	18,4	18,7	19,0
Доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и ссузов ( $c_t*100\%$ )	61,8	62,1	62,7	63,3	63,9	64,6	65,2
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ( $ET_i/L_t$ )	9,2	9,3	9,5	9,7	9,9	10,2	10,5
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ )	0,43	0,44	0,45	0,46	0,48	0,50	0,52
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. человек ( $DET_t$ )		282,0	301,0	323,0	348,7	380,9	408,2
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. человек ( $SGE_t$ )		287,8	319,6	333,9	350,9	381,2	408,4
Показатель сбалансированности спроса и предложения труда ИТС в % от дополнительной потребности в ИТС ( $(DET_t - SGE_t)/DET_t$ ), %		-2,03	-6,18	-3,37	-0,62	-0,07	-0,03

Результаты решения задачи 3 показывают, что достижение сбалансированности спроса и предложения труда ИТС при росте спроса на ИТС возможно при значительном снижении оттока кадров в другие отрасли и специальности при довольно высоких темпах роста инвестиционных затрат в ОФ ОП. Результаты решения задачи 3 приведены в табл.3.11 и на рис.3.6а,б (для других начальных условий результаты приведены табл. П7.7–П7.9 в Приложении 7).

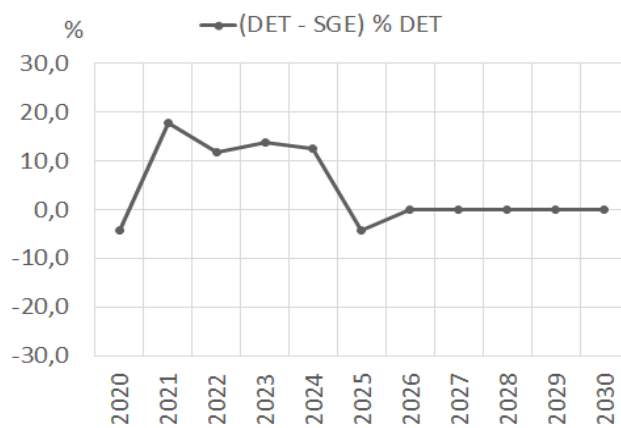
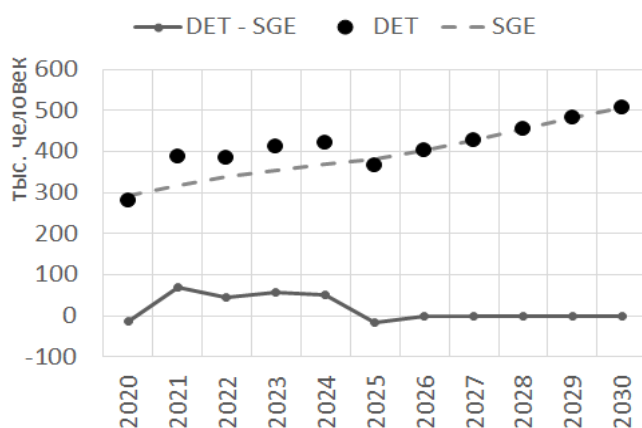


Рис. 3.6а. Динамика показателей спроса (DET) и предложения (SGE) ИТС и показателя сбалансированности (DET–SGE), полученных в результате решения задачи 3.

Рис. 3.6б. Динамика показателя сбалансированности (DET–SGE) в % от численности занятых ИТС, полученных в результате решения задачи 3.

Таблица 3.11. Результаты решения оптимизационной задачи 3.

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Доля инвестиций в ОФ в ВВП, % ( $a_t*100\%$ )	19,3	20,1	21,8	23,6	25,6	27,7	30,0
Темп прироста инвестиций в ОФ в экономике, % ( $\Delta I_t/I_{t-1}$ )	6,2	6,3	6,9	7,4	8,0	8,6	9,2
Темп прироста ВВП, % ( $\Delta Y_t/Y_{t-1}$ )	2,1	2,4	2,9	3,4	4,0	4,6	5,2
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aim_t*100\%$ )	14,3	14,9	16,2	17,6	19,1	20,7	22,5
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aiq_t*100\%$ )	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aid_t*100\%$ )	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности, % ( $I_i/Y_i$ )	10,8	11,4	12,7	14,1	15,7	17,3	19,2
Темп прироста инвестиций в ОФ промышленности, % ( $\Delta I_i/I_{i-1}$ )	6,2	7,9	8,6	9,2	9,9	10,6	11,3
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестиции в ОФ экономики, % ( $I_i/I_t$ )	39,1	39,7	41,0	42,3	43,9	45,5	47,3
Темп прироста выпуска промышленности, % ( $\Delta Y_i/Y_{i-1}$ )	2,1	2,6	3,3	4,0	4,8	5,5	6,2



Доля ВДС промышленности в ВВП, % ( $Y_i/Y_t$ )	27,9	28,0	28,2	28,4	28,8	29,3	29,8
Доля численности занятых в промышленности в общей численности занятых в экономике, % ( $L_i/L_t$ )	18,2	18,2	18,2	18,3	18,4	18,6	18,9
Доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и ссузов ( $c_t*100\%$ )	61,8	63,3	66,5	69,9	73,4	77,1	80,0
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ( $ET_i/L_t$ )	9,2	9,3	9,7	10,2	10,5	10,9	11,4
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ )	0,43	0,43	0,46	0,50	0,52	0,55	0,59
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. человек ( $DET_t$ )		281,3	384,3	420,8	402,6	454,8	506,5
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. человек ( $SGE_t$ )		293,5	339,0	368,4	402,6	454,8	506,5
Показатель сбалансированности спроса и предложения труда ИТС в % от дополнительной потребности в ИТС ( $(DET_t - SGE_t)/DET_t$ ), %		-4,32	11,78	12,44	0,00	0,00	0,00

Таким образом, в результате решения оптимизационной задачи 1 было показано, что достижение сбалансированности спроса и предложения ИТС с учетом оттока молодых специалистов (на уровне 38% в 2017 г.) может быть достигнуто при повышении доли инвестиций в ОФ ОП в инвестициях в ОФ экономики в целом с 14,2% в 2019 г. до 17,7% в 2030 г. при сохранении доли инвестиций в добывающие производства и производство и распределение газа, воды и электроэнергии на уровне 18,4% и 6,4% соответственно. В этом случае рост отношения средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ ), разработанной модели (3.1)–(3.14) составит с 0,43 в 2019 г. до 0,51 в 2030 г.

Результаты решения задачи 2 свидетельствуют о том, что достижение сбалансированности спроса и предложения ИТС при снижении оттока кадров ИТС из профессии хотя бы на 3 п.п. (до 35% к 2030 г.) потребует как роста отношения средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ ) с 0,43 в 2019 г. до 0,52 в 2030 г. при увеличении доли инвестиций в ОФ ОП до 27% в 2030 г.

Результаты решения задачи 3 показывают, что достижение сбалансированности спроса и предложения труда ИТС при росте спроса на ИТС требует снижения оттока кадров в другие отрасли и специальности (с 38% в 2019 г. до 20% к 2030 г.) при достаточно высоких темпах роста инвестиционных затрат в ОФ ОП. Несмотря на то, что рост уровня относительной заработной платы в ОП может быть положительно коррелирован со снижением оттока ИТС из отрасли, тем не менее, следует отметить, что увеличение доли молодых специалистов, работающих по специальности может быть достигнуто также благодаря целенаправленным мероприятиям по улучшению условий труда и повышению привлекательности профессии.

## **Выводы**

Разработанная макроэкономическая модель (3.1)–(3.14) (параграф 3.1) может быть использована для проведения предварительного анализа сбалансированности спроса и предложения труда ИТС, а также нахождения условий сбалансированности спроса и предложения ИТС на краткосрочную перспективу.

Результаты проведенного сценарного анализа с использованием модели (3.1)–(3.14) показывают, что для консервативного сценария, характеризующегося относительно более низкими темпами промышленного развития, возможно сохранение некоторого превышения предложения труда ИТС над спросом, результатом чего может стать увеличение номинальной избыточности предложения труда, и, как следствие, рост доли молодых инженеров и техников, не работающих по специальности после окончания профессионального образования. В то же время для базового и целевого сценариев, незначительно отличающихся друг от друга, при темпах прироста ВВП и промышленного производства около 3% соответственно в краткосрочном периоде возможно достижение ситуации сбалансированности спроса и предложения все еще при сохранении высокого уровня оттока кадров.

Решение оптимизационных задач позволило уточнить условия достижения сбалансированности спроса и предложения ИТС. В результате решения оптимизационной задачи 1 было показано, что достижение относительной сбалансированности спроса и предложения ИТС с учетом оттока молодых специалистов на уровне 2017 г. (38%) может быть достигнуто при росте доли инвестиций в ОФ ОП в инвестициях в ОФ экономики в целом с 14,2% в 2019 г. до 17,7% в 2030 г. при сохранении доли инвестиций в добывающие производства и производство и распределение газа, воды и электроэнергии на уровне 18,4% и 6,4% соответственно.

С помощью разработанной модели (3.1) – (3.14) показано, что при снижении оттока молодых специалистов в другие отрасли и специальности, что равносильно росту доли молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и ссузов, при тех же темпах роста инвестиций условием до-

стижения сбалансированности спроса и предложения ИТС может быть рост отношения средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности. Решение оптимизационной задачи 2 свидетельствует о том, что для достижения сбалансированности спроса и предложения ИТС при снижении оттока специалистов из инженерной профессии на 3 п.п. (до 35% к 2030 г.) требуется увеличение отношения средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности (с 0,43 в 2019 г. до 0,52 в 2030 г.) при более высоких темпах роста доли инвестиций в ОФ ОП к 2030 г.

Решение оптимизационной задачи 3 свидетельствует о необходимости существенного снижения оттока ИТС в другие отрасли и специальности при повышении спроса на данную категорию специалистов. Таким образом, было показано, что возможность достижения сбалансированности (или по крайней мере снижения степени несбалансированности) спроса и предложения труда ИТС существует при реализации сценариев сбалансированного роста инвестиций в промышленность и повышения относительного уровня заработной платы в обрабатывающей промышленности.

Предложенная методология анализа сбалансированности спроса и предложения труда ИТС, основанная на использовании разработанной макроэкономической модели и решении оптимизационных задач, дает возможность получить приближенные оценки показателей спроса и предложения ИТС и, соответственно, возможной степени несбалансированности. Для получения более точных оценок необходимо дополнительно учитывать и моделировать показатели профессиональной мобильности, миграции, а также дополнительные социально-экономические факторы, воздействующие на динамику рынка труда ИТС.

В результате работы были также выявлены направления исследований, развитие которых актуально для анализа и моделирования спроса и предложения труда ИТС в дальнейшем. Так, остается задача учета и выявления ряда дополнительных факторов, оказывающих влияние на динамику рынка труда ИТС. При этом, учитывая влияние престижности профессии на формирование предложения

труда на долгосрочную перспективу, в целях прогнозирования может быть целесообразным учитывать экспертные оценки перспективной престижности профессий и направлений развития науки и технологий (см., например, [177]). Отдельного внимания при моделировании занятости ИТС на национальном уровне для развитых и развивающихся стран является разработка возможностей анализа и учета процессов деиндустриализации и реиндустриализации, а также развития сектора профессиональных услуг, использование процессов аутсорсинга и офшоринга.

Учитывая роль в достижении сбалансированности спроса и предложения труда ИТС таких показателей как доля молодых специалистов, работающих по специальности, а также уровень оплаты труда в отраслях, предъявляющих спрос на данную категорию специалистов, в значительной степени способствовать сбалансированности спроса и предложения труда ИТС могут следующие меры: создание системы планирования и прогнозирования потребности в ИТС с участием вузов, государственного сектора и промышленности; поддержка промышленных производств; повышение престижности инженерной профессии; а также организация инженерного образования, в том числе развитие системы практик и стажировок; обеспечение дополнительной профессиональной подготовки и переподготовки специалистов в условиях смены технологического уклада. При этом предполагается, особую роль в комплексной системе подготовки ИТС могут сыграть научно-производственные структуры: наукограды, технопарки, инновационные инкубаторы при сотрудничестве НИИ и вузов.

## Заключение

Проблема несбалансированности спроса и предложения ИТС в настоящее время является актуальной для разных стран. Внедрение робототехники в производство и сферу услуг, цифровизация оказывают значительное влияние на рынок труда, способствуя устареванию одних профессий и появлению новых, а также росту потребности в квалифицированных специалистах инженерно-технического профиля. Решение задач, связанных с модернизацией и реиндустриализацией экономики России, повышением инновационной активности, обеспечением экономической и национальной безопасности в условиях глобализации невозможны без повышенного внимания к проблемам развития отечественного инженерно-технического кадрового потенциала.

Проведенные в диссертационной работе анализ и моделирование показателей спроса и предложения труда ИТС показали, что динамика численности инженерно-технических специалистов в индустриальной экономике в значительной мере связана с развитием промышленности, в первую очередь высокотехнологичных и среднетехнологичных отраслей, концентрирующих в себе основные достижения научно-технического прогресса. Кроме того, необходимо учитывать динамику численности специалистов других профессий, а также изменение других макроэкономических показателей.

Анализ и моделирование с использованием разработанной модели выпуска ИТС (раздел 2.3.1) показали существование равновесной точки типа «узел» для доли выпуска по инженерно-техническим и социально-гуманитарным специальностям. Было показано, что даже при устойчивости модели к колебаниям стохастических переменных, отражающих изменение выпуска промышленности и сферы услуг, на изменение положения равновесия могут оказать влияние сложно поддающиеся формализации факторы, например, изменение общественного мнения и восприятия профессий в результате произошедшего финансово-экономического кризиса, которые на данный момент могут быть учтены в урав-

нении в качестве, например, фиктивных переменных. Таким образом, инерционность процессов формирования трудовых ресурсов приводит к тому, что численность инженерно-технических специалистов может оказаться малочувствительна к отдельным шокам и провалам в динамике промышленного производства, однако общий упадок, снижение производственного потенциала, неэффективное обновление и использование основных фондов, стагнация промышленного производства ведут к снижению и потерям инженерно-технического потенциала.

Показано, что разработанные модель численности выпуска ИТС (раздел 2.3.1) и макроэкономическая модель для исследования степени сбалансированности спроса и предложения ИТС (параграф 3.1) могут быть использованы для проведения предварительного анализа степени сбалансированности спроса и предложения труда ИТС, а также нахождения условий сбалансированности спроса и предложения ИТС на краткосрочную перспективу. Сформулированы основные показатели и предложен подход к определению степени сбалансированности спроса и предложения труда ИТС (раздел 3.2.1).

Проведенный анализ для различных сценариев развития экономики (раздел 3.2.2) свидетельствует о возможности сохранения несбалансированности спроса и предложения труда ИТС на краткосрочную перспективу при сохранении текущих тенденций. Возможность достижения относительной сбалансированности спроса и предложения труда ИТС существует для целевого сценария развития, предложенного МЭР, характеризующегося более высокими темпами роста промышленных производств.

С помощью решения трех оптимизационных задач (раздел 3.3) было показано, что возможность достижения сбалансированности спроса и предложения труда ИТС (или, по крайней мере, снижения степени несбалансированности) существует при реализации сценариев одновременного роста инвестиций в промышленности и повышения относительного уровня заработной платы в обрабатывающей промышленности. Так, в результате решения оптимизационной задачи 1 было показано, что достижение относительной сбалансированности спроса и пред-

ложения ИТС с учетом оттока молодых специалистов на уровне 38% (наблюдавшемся в 2016 г.) может быть достигнуто при росте доли инвестиций в ОП в инвестициях в ОП экономики в целом с 14,2% в 2019 г. до 17,7% в 2030 г. при росте отношения средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ ) с 0,43 в 2019 г. до 0,51 в 2030 г. Решение задачи 2 свидетельствует о том, что достижение сбалансированности спроса и предложения ИТС при снижении оттока специалистов из инженерной профессии хотя бы на 3% (до 35% к 2030 г.) требует как роста отношения средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ ) с 0,43 в 2019 г. до 0,52 в 2030 г. при более высоких темпах роста доли инвестиций в ОП до 27% в 2030 г. Результаты решения задачи 3 показывают, что достижение сбалансированности спроса и предложения труда ИТС при росте спроса на ИТС требует значительного снижения оттока кадров в другие отрасли и специальности (с 38% в 2019 г. до 20% к 2030 г.) при достаточно высоких темпах роста инвестиционных затрат в ОП (до 23% в 2030 г.) и относительного уровня оплаты труда в ОП (с 0,43 в 2019 г. до 0,59 в 2030 г.).

Учитывая роль в достижении сбалансированности спроса и предложения ИТС таких показателей как доля молодых специалистов, работающих по специальности, а также уровень оплаты труда в отраслях, предъявляющих спрос на данную категорию специалистов, способствовать снижению несбалансированности спроса и предложения труда ИТС могут развитие системы планирования и прогнозирования потребности в ИТС с участием вузов, государственного сектора и промышленности; поддержка и модернизация промышленных производств; повышение престижности инженерной профессии, а также развитие системы инженерного образования, включающее систему практик и стажировок, обеспечение дополнительной профессиональной подготовки и переподготовки специалистов в условиях смены технологического уклада.



## Список литературы

1. Крыштановская О.В. Инженеры: становление и развитие профессиональной группы. – М.: Наука, 1989.
2. Экономический словарь / В.Г. Золотогоров, Г.Ф. Кузнецова, М.Ю. Пасюк; Науч. ред. А.И. Горанин. – Мн.: Наука и техника, 1983, с.73.
3. An emerging and critical problem of the Science and Engineering labor force (A companion to Science and Engineering Indicators (2004)). National Science Board, 2004. URL: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uiug.30112105087206&view=1up&seq=1> (дата обращения: 26.10.2020)
4. Boswell C., Stiller S., Straubhaar T. Forecasting Labour and Skills Shortages: How Can Projections Better Inform Labour Migration Policies? // Hamburg Institute of International Economics (HWWA). Prepared for European Commission. 2004.
5. Engineering: Issues, Challenges and Opportunities for Development. UNESCO, 2010.
6. О численности и потребности организаций в работниках по профессиональным группам за 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018 гг. ГКС [официальный сайт], URL: [http://old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1245749635312](http://old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1245749635312) (дата обращения: 26.10.2020)
7. Сведения о заработной плате работников в организациях по категориям персонала и профессиональным группам работников / Выборочные обследования. Росстат. <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/60671> (дата обращения: 26.10.2020)
8. Общероссийский классификатор специальностей по образованию. URL: <http://doc.unicor.ru/classifiers/classifiers-OKSO.htm> (дата обращения: 26.10.2020)
9. Роцин С.Ю., Разумова Т.О.. Экономика труда: экономическая теория труда: Учебное пособие, — М.: ИНФРА-М. 2001.
10. Коровкин А.Г., Долгова И.Н., Единак Е.А., Королев И.Б. Согласование спроса на рабочую силу и ее предложения на региональных рынках труда: опыт анализа и моделирования // Научные труды: Институт народнохозяйственного

- прогнозирования РАН. 2012. №10. URL:  
<https://cyberleninka.ru/article/n/soglasovanie-sprosa-na-rabochuyu-silu-i-ee-predlozheniya-na-regionalnyh-rynkah-truda-opyt-analiza-i-modelirovaniya> (дата обращения: 29.03.2021).
11. Сигова С. В. Повышение сбалансированности российского рынка труда // Социальная политика и социальное партнерство. — 2010. — № 5. — с.24-31.  
URL: <http://openbudgetrf.ru/doc/76/>
  12. Гуртов В.А., Питухин Е.А., Серова Л.М. Моделирование потребностей экономики в кадрах с профессиональным образованием // Проблемы прогнозирования. - 2007. - №6. – С. 91–107.
  13. Гуртов В.А., Питухин Е.А. Прогнозирование потребностей экономики в квалифицированных кадрах: обзор подходов и практик применения. Университетское управление: практика и анализ. 2017;21(4):130-161.  
<https://doi.org/10.15826/umpa.2017.04.056>
  14. Прогнозирование потребности высокотехнологичных секторов экономики в кадрах с высшим профессиональным образованием / В.А. Гуртов, Л.М. Серова, И.С. Степусь. – М., 2010. – 80 с. (Экономика высшей школы: Аналитические обзоры по основным направлениям развития высшего образования / ФИРО; Вып. 8).
  15. Ольховик А.О. Составление баланса спроса и предложения специалистов с высшим образованием в регионе (на примере Вологодской области). URL: [http://sisupr.mrsu.ru/2015-1/PDF/Olkhovik\\_A\\_O\\_2015-1.pdf](http://sisupr.mrsu.ru/2015-1/PDF/Olkhovik_A_O_2015-1.pdf)
  16. Жаров В.С., Щеглова А.Н. Методика прогнозирования спроса на специалистов в системе высшего профессионального образования региона // Экономический анализ: теория и практика. 2014. №12 (361). URL:  
<https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-prognozirovaniya-sprosa-na-spetsialistov-v-sisteme-vysshego-professionalnogo-obrazovaniya-regiona> (дата обращения: 29.03.2021).

17. Варшавский А.Е., Кочеткова Е.В. Проблемы дефицита инженерно-технических кадров // Экономический анализ: теория и практика, 32(431), 2015. с.2-16.
18. Larson R.C., Xue Yi. STEM crisis or STEM surplus? Yes and yes // Monthly Labor Review. Bureau of Labor Statistics. May 2015. URL: <http://www.bls.gov/opub/mlr/2015/article/stem-crisis-or-stem-surplus-yes-and-yes.htm> (дата обращения: 26.10.2020)
19. Talent Shortage Survey. Research Results / Manpower Group, 2012. URL; <https://www.slideshare.net/deaveldan/2012-talent-shortage-survey> (дата обращения: 26.10.2020)
20. An Assessment of Skill Needs in Engineering (2000). URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/4154295.pdf>
21. Talent Shortage Survey. Solving the Talent Shortage: Build, Buy, Borrow and Bridge / Manpower Group, 2018. URL: <https://manpowergroup.ru/media/research/2018-talent-shortage-survey.html> (дата обращения: 26.10.2020)
22. The Engineering Workforce: Current State, Issues, and Recommendations. May 2005. URL: [http://www.nsf.gov/attachments/104206/public/Final\\_Workforce.doc](http://www.nsf.gov/attachments/104206/public/Final_Workforce.doc) (дата обращения: 26.10.2020)
23. Industrial Development Report 2013. Sustaining Employment Growth: The Role of Manufacturing and Structural Change. UNIDO, Austria, November 2013. URL: [https://www.unido.org/sites/default/files/2013-12/UNIDO\\_IDR\\_2013\\_main\\_report\\_0.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/2013-12/UNIDO_IDR_2013_main_report_0.pdf) (дата обращения: 26.10.2020)
24. Science and Engineering Indicators–2002 // National Science Foundation, Division of Science Resources Statistics. National Science Board, 2002. URL: <https://wayback.archive-it.org/5902/20150627184733/http://www.nsf.gov/statistics/seind02/> (дата обращения: 26.10.2020)

25. Wadhwa V., Gereffi G., Rissing B., Ong R. Where the Engineers Are // Issues in Science and Technology 23, no. 3 (Spring 2007). URL: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1015843](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1015843) (дата обращения: 26.10.2020)
26. Engineering Labour Market Conditions 2009-2018. Final Report. Engineers Canada, 2010 - [http://www.engineerscanada.ca/files/engineering\\_labour\\_market\\_conditions\\_report\\_2010.pdf](http://www.engineerscanada.ca/files/engineering_labour_market_conditions_report_2010.pdf) (дата обращения: 26.10.2020)
27. Pan-Organizational Summit on the U.S. Science and Engineering Labour Force. NAS, 2003.
28. Lynn L., Salzman H., Kuehn D. Dynamics of Engineering Labour Markets: Petroleum Engineering and Responsive Supply, 2011.
29. Petroff A. Engineers get rich as talent war heats up. July 25, 2013. URL: <http://money.cnn.com/2013/07/25/news/economy/engineering-jobs-pay/> (дата обращения: 26.10.2020)
30. Проблемы оценки и измерения человеческого капитала в образовании и науке. М.; СПб. : Нестор-История, 2014. – 240 с. – (Экономика и социология образования).
31. Комкина Т.А. Анализ динамики показателей подготовки научных и инженерно-технических кадров // Анализ и моделирование экономических и социальных процессов. Сборник трудов XX международной конференции «Математика. Компьютер. Образование». Выпуск 22. Том 3. Москва - Ижевск: Изд-во «Регулярная и хаотическая динамика», 2015. – С.68-75.
32. Гимпельсон В.Е. Дефицит квалификации навыков на рынке труда // Вопросы экономики. 2004. № 3.
33. Lowell B.L., Salzman H. Into the Eye of the Storm. Assessing the Evidence on Science and Engineering Education, Quality, and Workforce Demand. Urban Institute. October, 2007. URL: [http://www.urban.org/research/publication/eye-storm/view/full\\_report](http://www.urban.org/research/publication/eye-storm/view/full_report)

34. Census Bureau reports majority of STEM college graduates do not work in STEM occupations (U.S. Census Bureau, 2014)
35. National Science Board. 2015. Revisiting the STEM Workforce, A Companion to Science and Engineering Indicators 2014, Arlington, VA: National Science Foundation (NSB-2015-10).
36. The labour market experience of recent engineering graduates. Engineers Australia Policy Note. August, 2014.
37. Варшавский А.Е., Кочеткова Е.В. Анализ показателей численности инженерно-технических специалистов в России // Экономический анализ: теория и практика, 9(456) - 2016 сентябрь, с.67-85.
38. Народное хозяйство СССР, сборники за 1955-1990 гг. URL: <http://istmat.info/node/21341> (дата обращения: 26.10.2020)
39. Сатдыков А.И. Привлечение квалифицированных рабочих как элемент стратегического планирования промышленных предприятий // В сборнике: Стратегическое планирование и развитие предприятий Материалы Восемнадцатого всероссийского симпозиума. Под редакцией Г.Б. Клейнера. 2017. С. 144-146.
40. Стратегия создания в оборонно-промышленном комплексе системы многоуровневого непрерывного образования на период до 2015 года. Утверждена приказом Минпромторга России от «13» апреля 2009 г. № 256
41. Розина Н. О разработке нового поколения государственных образовательных стандартов // Высшее образование в России. 2007. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-razrabotke-novogo-pokoleniya-gosudarstvennyh-obrazovatelnyh-standartov> (дата обращения: 26.10.2020).
42. Медовников Д.С. Розмирович С.Д. Преодоление дефицита кадров для инновационной экономики (инженеров, менеджеров разного уровня, предпринимателей) // Раздел 6.1. Доклада на заседании экспертной группы №5 «Переход от стимулирования инноваций к росту на их основе» в рамках подготовки «Социально-экономической стратегии России на период до 2020 г.» — НИУ ВШЭ — апрель 2011. URL:

- [https://www.hse.ru/data/2011/04/29/1210686366/Доклад%20на%20комиссию\\_кадры\\_28.04.2011.pdf](https://www.hse.ru/data/2011/04/29/1210686366/Доклад%20на%20комиссию_кадры_28.04.2011.pdf) (дата обращения: 26.10.2020).
43. Выжutowич В. За заслуги перед профессией от 27.11.2014 // Российская газета - Федеральный выпуск № 6544 (272); URL: <http://www.rg.ru/2014/11/28/esli.html> (дата обращения: 26.10.2020).
44. Гимпельсон, В.Е. Нужны ли нашей промышленности квалифицированные работники? История последнего десятилетия : Препринт WP3/2010/04 [Текст] / В. Е. Гимпельсон ; Гос. ун-т – Высшая школа экономики. – М.: Изд. дом Гос. ун-та – Высшей школы экономики, 2010.
45. Мониторинг экономической ситуации в России. Тенденции и вызовы социально-экономического развития URL: <https://www.ranepa.ru/uceniyy-issledov/strategii-i-doklady-2/monitoring-ekonomicheskoy-situatsii> (дата обращения: 26.10.2020).
46. Данилина Я.В. Укрепление взаимосвязей компаний и вузов как фактор повышения сбалансированности экономической системы // В кн.: Стратегическое планирование и развитие предприятий Материалы Шестнадцатого всероссийского симпозиума. Под редакцией Г.Б. Клейнера. 2015. С. 45-47.
47. Государственная программа Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности» на 2013–2025 годы. Минпромторг, 2012.
48. Кадровый голод в ОПК // ВПК, №20 (488) от 29.05.2013: <http://vpk-news.ru/articles/16084> (дата обращения: 26.10.2020).
49. Кадровый голод в ОПК сохраняется // ВПК, №31 (499) от 14.09.2013: <http://vpk-news.ru/articles/17071> (дата обращения: 26.10.2020).
50. Серова Л.М., Степуть И.С. Актуальные проблемы подготовки и трудоустройства кадров инженерно-технического профиля в Российской Федерации // Материалы Десятой Всероссийской научно-практической конференции "Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России" 30-31.10.2013 г. URL:

[http://www.labourmarket.ru/i\\_confs/conf10/book/iconf10\\_book1.pdf#page=225](http://www.labourmarket.ru/i_confs/conf10/book/iconf10_book1.pdf#page=225)

(дата обращения: 26.10.2020).

51. Престиж и доход: какие профессии выбирают россияне? / ВЦИОМ, пресс-выпуск №3799, 24.10.2018. URL: <https://wciom.ru/index.php?id=236&uid=9387> (дата обращения: 26.10.2020).
52. Кочеткова Е.В. Выявление факторов профессиональной мобильности инженерно-технических специалистов в России в 2010–2016 гг. // Анализ и моделирование экономических и социальных процессов / Математика. Компьютер. Образование: Сб. научн. трудов. Выпуск 25. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2018. с. 97-105.
53. Портал вакансий Headhunter. URL: <https://hh.ru/> (дата обращения: 26.10.2020).
54. Humans Wanted: Robots Need You // Skill Revolution 4.0. Manpower Group, 2020. URL: <https://www.manpowergroup.com/workforce-insights/world-of-work/skills-revolution-series> (дата обращения: 26.10.2020).
55. О концепции доктрины подготовки инженерных кадров в России // Аналитический вестник, выпуск 5. Федеральное собрание РФ, Комитет Государственной Думы по образованию. Москва, 2012 - <http://iam.duma.gov.ru/node/8/4921#> (дата обращения: 26.10.2020).
56. Варшавский А.Е., Варшавский Л.Е. Экономические и социальные проблемы сохранения науки в России // Экономика и математические методы, 1995. Т. 31, вып. 3. с.34–49.
57. Levinson M. Manufacturing the Future: Why Reindustrialization Is the Road to Recovery // New Labor Forum Volume 21, Number 3, 2012, pp. 10-15. URL: <https://muse.jhu.edu/article/485675/summary> (дата обращения: 26.10.2020).
58. Prisecaru P. EU Reindustrialization on the Coordinates of Scientific and Technical Progress // Procedia Economics and Finance, Volume 22, 2015, Pages 485-494.
59. Zhang Y., Gregory M., Neely A. Global engineering services: Shedding light on network capabilities // Journal of Operations Management Vol.42-43 (2016), p.80-94

60. Народное хозяйство РСФСР: Статистический сборник / Госкомстат СССР. Выпуски 1965-1988 гг. URL: <http://istmat.info/node/21356> (дата обращения: 26.10.2020).
61. Российский статистический ежегодник / Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/12994> (дата обращения: 26.10.2020).
62. Бляхман Л.С., Шкаратан О.И. НТР, рабочий класс, интеллигенция. М.: Политиздат, 1973.
63. Комплексная программа научно-технического прогресса СССР на 1986-2005 годы (по пятилетиям) / Проблемный раздел 3.4. Подготовка кадров и образование. М.: Академия наук СССР, Государственный комитет по науке и технике, 1983.
64. Научно-технический прогресс в СССР: Статистический сборник / Госкомстат СССР. — М.: Финансы и статистика, 1986.
65. Народное образование, наука и культура СССР : Статистический сборник / Госкомстат СССР. — М.: Финансы и статистика, 1971.
66. Народное образование и культура СССР : Статистический сборник / Госкомстат СССР. — М.: Финансы и статистика, 1989.
67. Из приказа Министра высшего образования СССР от 9 сентября 1954 г. № 975.
68. Федоренко Н.П. Россия: уроки прошлого и лики будущего. - М.: ЗАО Издательство "Экономика", 2000.
69. Яременко Ю.В. Об экономике / Отв. ред. В.В. Ивантер. - М.: МАКС-Пресс, 2015.
70. Гладышевский А.И. Прогнозирование воспроизводственных процессов в экономике (инвестиционный аспект): Научные труды ИНИ РАН. - М.: МАКС Пресс, 2004.
71. Сутягин В.С. Анализ и прогнозирование народнохозяйственной динамики. М.: Наука, 1992.
72. Анчишкин А.И. Прогнозирование роста социалистической экономики. М., Экономика, 1973.
73. Труд в СССР: Статистический сборник / Госкомстат СССР. — М.: Финансы и статистика, 1988.



74. Бреев Б.Д., Нанавян А.М. Рост занятости в сфере услуг и проблемы подготовки кадров // Общество и экономика, №11-12, 2000. с. 118-131.
75. Индексы производства по видам экономической деятельности Российской Федерации (в % к предыдущему году) // Федеральная служба государственной статистики. URL:  
[http://old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/industrial/#](http://old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/industrial/#) (дата обращения: 26.10.2020).
76. Струмилин С.Г. Проблемы экономики труда / Избранные сочинения в 5 томах. Т. 3. - М.: Изд-во АН СССР, Наука, 1962–1968.
77. Движение рабочих кадров в промышленности. Под ред. Л. М. Данилова. Статистика, 1973.
78. Arrow K. J., Capron W. M. Dynamic Shortages and Price Rises: The Engineer-scientist Case // The Quarterly Journal of Economics, 1959. Vol.73, Issue 2. P. 292–308.
79. Blank D.M., Stigler G.J. The Demand and Supply of Scientific Personnel. New York: National Bureau of Economic Research, 1957. P. 29-30. URL:  
<http://www.nber.org/books/blan57-1> (дата обращения: 26.10.2020)
80. Hansen W.L. The Shortage of Engineers // Review of Economics Statistics, 1961. Vol.43, pp. 251-56
81. Hansen W.L., Moser C., Brown D. The Economics of Scientific and Engineering Manpower // The Journal of Human Resources, 1967. Vol. 2, No. 2, P. 191-220.
82. Folk H. Another Look at the Shortage of Engineers and Scientists // Working Paper 6412, Department of Economics, Washington University, St. Louis, Missouri.
83. Alchian A.A., Arrow K.J., Capron W.M. An economic analysis of the market for scientists and engineers. Research memorandum 2190. RAND Corporation. 6 June 1958.
84. Гвоздев Н.Н. Проблемы стимулирования труда. — М.: Мысль, 1980.
85. Иванова Р.К. Научно-техническая революция и развитие общественного труда в СССР. М.: Наука, 1976.
86. Косаев А.Г. Трудовой потенциал и занятость в условиях интенсификации / отв. ред. Маслова И.С.; АН СССР. Ин-т экономики. - М.: Наука, 1990.

87. Мангутов И.С. Инженер: социолого-экономический очерк. 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Сов. Россия, 1980.
88. Кривневич В.В. Влияние научно-технического прогресса на изменение структуры рабочего класса СССР. Итоги и перспективы. М.: Наука, 1971.
89. Минц Л.Е. Трудовые ресурсы в СССР. – М.: Наука, 1975.
90. Головачев А.С., Скаржинский М.И. Эффективность инженерного труда. – М.: Экономика, 1983.
91. Комаров В.Е. Экономические проблемы подготовки и использования кадров специалистов. – М.: «Экономика», 1972.
92. Горохов В.Г. Знать, чтобы делать. История инженерной профессии и ее роль в современной культуре. – М.: Знание, 1987.
93. Бреев Б.Д., Крюков В.П. Межотраслевой баланс движения населения и трудовых ресурсов. (Методологические вопросы). М.: Наука, 1974.
94. Баранов Э.Ф., Бреев Б.Д. Основные принципы построения балансов движения трудовых ресурсов. М.: ЦЭМИ АН СССР, 1969.
95. Балтинь Г.А., Бреев Б.Д., Привалов В.П. Об опыте разработки и использования баланса движения населения и трудовых ресурсов // Экономика и матем. методы, 1977, т.13 (5), с.986-997.
96. Лебедев О.Т. Прогнозирование подготовки инженерных кадров для электронной промышленности (методологические проблемы). - Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 1977.
97. Коровкин А.Г., Долгова И.Н., Единак Е.А., Королев И.Б. Прогнозно-аналитическое исследование взаимосвязей сферы занятости и профессионального образования в России // Вестник Российского фонда фундаментальных исследований. Гуманитарные и общественные науки. 2018. № 4(93). С.38–49. DOI: 10.22204/2587-8956-2018-093-04-38-49
98. Капелюшников Р. И. Спрос и предложение высококвалифицированной рабочей силы в России: кто бежал быстрее? / Препринты. ГУ ВШЭ. Серия WP3 «Проблемы рынка труда». 2011. № 09.

99. Гимпельсон В. Е., Капелюшников Р. И., Лукьянова А. Л. Спрос на труд и квалификацию в промышленности: между дефицитом и избытком // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2007. Т. 11. № 2. С. 163-199.
100. Варшавский А.Е., Никонова М.А. Анализ региональных особенностей динамики численности исследователей // Вестник университета (ГУУ), 2010, №2.
101. Варшавский А.Е. Актуальные вопросы разработки научно-технологической и инновационной политики. Модернизация и экономическая безопасность России, т.4 под ред. акад. Н.Я.Петракова. Под ред. акад. Н.Я.Петракова. – М.; СПб.: Нестор-история, 2014. / Гл.1, с.11-52.
102. Варшавский Л.Е. Кадры науки: анализ состояния и прогноз долгосрочных тенденций изменения / глава в кн. Наука и высокие технологии России на рубеже третьего тысячелетия (социально-экономические аспекты развития) / Руководители авт.колл. В.Л. Макаров, А.Е. Варшавский. - М.: Наука, 2001. - с. 134-157.
103. Варшавский Л.Е. Прогнозирование динамики кадровой составляющей научного потенциала России // Экономика и матем. методы, 1999, т.35, вып.1, с.43–55.
104. Варшавский Л.Е., Дубинина М.Г., Петрова И.Л. Развитие человеческого капитала в научно-технической сфере в России и за рубежом // Информационное общество, 2006, вып. 2-3, с. 115-123.
105. Нанавян А.М. Динамика занятости в науке и подготовка кадров высшей квалификации в регионах России // Евразийское Научное Объединение. 2019. № 10-4 (56). С. 318-321. DOI: 10.5281/zenodo.3533721
106. Кочетков Г. Инновационная экономика и инженерный корпус // Человек и труд, №6, 2008, с. 61-65; продолжение - №7, 2008, с. 52-55.
107. Варшавская Е.Я., Котырло Е.С. Выпускники инженерно-технических и экономических специальностей: между спросом и предложением // Вопросы образования. 2019. № 2. с.98–128. DOI: 10.17323/1814-9545-2019-2-98-128.

108. Chan A.P.C., Anson M., Chiang Y.H., Hui E.C.M., Chan E.H.W., Tse R.Y.C., Wong A.K.D., Mak S.W.K., Choy L.H.T. and Wong J.M.W. Final Report to the Consultancy Study on the Demand and Supply of the Construction Personnel, Unpublished Consultancy Report to the ETWB of the HKSAR Government, 2002.
109. Merikull J., Eamets R., Humal K., Espenberg K. Power without manpower: Forecasting labour demand for Estonian energy sector // *Energy Policy*, 2012. Vol.49, P. 740–750.
110. ИТ-кадры 2010 / Аналитическое исследование. АПКИТ, 2010. URL: [http://apkit.ru/files/personal2009\\_final.pdf](http://apkit.ru/files/personal2009_final.pdf) (дата обращения: 26.10.2020)
111. Wong J.M.W., Chan A.P.C., Chiang Y.H. A critical review of forecasting models to predict manpower demand. *The Australian Journal of Construction Economics and Building*. Vol.4, №2, pp.43-55.
112. Spaletti S. History of manpower forecasting in modeling labour market. June, 2008. URL: <http://www.unimc.it/sviluppoeconomico/wpaper/wpaper00018/filePaper> (дата обращения: 26.10.2020)
113. Smith A.R., Bartholomew D.J. Manpower Planning in the United Kingdom: A Historical Review. *The Journal of the Operational Research*, 1988, 39(3), pp.235-248.
114. Psacharopoulos, G. From manpower planning to labour market analysis. *International Labour Review*, 1991. Vol. 130, P. 459–474.
115. Willems E.J.T.A., de Grip A. Forecasting replacement demand by occupation and education // *International Journal of Forecasting*, 993. Vol. 9, P. 173–185.
116. Evans G.J., Lindley R.M. The Use of RAS and Related Models in Manpower Forecasting // *Economics of Planning*, 1973. Vol. 13, No. I-2.
117. Bezdek R.H. Long-Range U.S. Manpower Forecasts in Retrospect: How Accurate Were We? // *Economic Change and Restructuring*, 1986, vol. 20, issue 1, p.52-67.
118. Bezdek R.H. Alternate Manpower Forecasts for the Coming Decade: Second Guessing the US Department of Labor // *Socio-Econ. Plan. Sci.* 1973. Vol.7, pp.511-521.
119. Campbell C.P. Workforce requirement: the basis for relevant occupational training. *Journal of European Industrial Training*, 1997, 21(8), pp.279-297.

120. Blaug M. Approaches to Educational Planning // *Economic Journal*, 1967. Vol.77 (306), pp. 262-287.
121. Coping with changes in international classifications of sectors and occupations: Application in skills forecasting. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Cedefop research paper; No 43.
122. Коровкин А.Г. Динамика занятости и рынка труда. Вопросы макроэкономического анализа и прогнозирования. - М.: МАКС-Пресс, 2001.
123. Comparative Analysis of Methods of Identification of Skill Needs on the Labour Market in Transition to the Low Carbon Economy. ILO, Geneva, 2011.
124. Васильев В.Н., Гуртов В.А., Питухин Е.А. и др. Рынок труда и рынок образовательных услуг в субъектах Российской Федерации. М.: Техносфера, 2006; Питухин Е.А., Гуртов В.А. Математическое моделирование динамических процессов в системе «экономика– рынок труда– профессиональное образование». СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006.
125. Pindyck R.S., Rubinfeld D.L. *Econometric Models and Economic Forecasts*, 4<sup>th</sup> ed., The McGraw-Hill Companies Inc., USA, 1998.
126. Лебедев В.В., Лебедев К.В. Математическое моделирование нестационарных экономических процессов. М.: eТест, 2011. URL: [https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o\\_71396](https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_71396)
127. Kodera, J., Vosvrda, M. (2007). “ Goodwin's Predator-Prey Model with Endogenous Technological Progress. ” IES Working Paper 9/2007. IES FSV. Charles University; Weber L. A Contribution To Goodwin’s Growth Cycle Model From A System Dynamics Perspective. Brandenburg University of Technology Cottbus and University of Bergen. URL: <http://www.systemdynamics.org/conferences/2005/proceed/papers/WEBER196.pdf>
128. Вайдлих В. Социодинамика: Системный подход к математическому моделированию в социальных науках. Пер. с англ. / Под ред. Ю.С. Попкова, А.Е. Семечкина. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010.

129. Буланичев В.А. Синергетическое моделирование образовательных процессов / В.А. Буланичев, Л.А. Серков. - Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН; Издательство АМБ, 2007.
130. Хавинсон М.Ю., Кулаков М.П., Мищук С.Н. Прогнозирование динамики внешней трудовой миграции на региональном уровне // Проблемы прогнозирования. – 2013. – № 2. – С. 99-111
131. Хавинсон М.Ю., Кулаков М.П. Математическое моделирование динамики численности разновозрастных занятых в экономике региона // Компьютерные исследования и моделирование, 2014, т. 6, № 3, с. 441-454.
132. Малинецкий Г.Г. и др. Математическое моделирование системы образования. Препринт / ИПМ им. М.В. Келдыша; РАН, 1995. №100.
133. Tuckman H.P. Supply, Human Capital, and the Average Quality Level of the Science and Engineering Labor Force // Economics of Education Review, 1988. Vol. 7, No. 4, pp. 405-421.
134. Freeman R.B. A cobweb model of supply and starting salary of new engineers. Industrial and new relations review, 1976. Vol. 29 (2), pp.236-248.
135. Ryoo J., Rosen S. The Engineering Labor Market // Journal of Political Economy, 2004. vol. 112, no. 1. pp.110–140.
136. Majumdar S., Shimotsu K. Enrollment Responses to Labour Market Conditions: A Study of the Canadian Market for Scientists and Engineers. Dept. of Economics, Queen's University, Canada. Queen's Economics Department Working Paper No. 1105. September 2006.
137. O'Connell J. F. The Labor Market for Engineers: An Alternative Methodology // Journal of Human Resources, 1972. Vol.7(1), pp. 71-86.
138. Fiorito J., Dauffenbach R.C. Market and nonmarket influences on curriculum choice by college students // Industrial and Labor Relations Review, 1982. Vol.36, №1.
139. Neugart, M. The supply of new engineers in Germany. Berlin: WZB, 2000. (WZB-Discussion Paper, FS I 00-209).

140. Blume-Kohout M.E., Clack J.W. (2013) Are Graduate Students Rational? Evidence from the Market for Biomedical Scientists. PLoS ONE 8(12): e82759. doi:10.1371/journal.pone.0082759
141. Digest of Educational Statistics. National Center for Education Statistics (NCES). URL: <https://nces.ed.gov/programs/digest/> (дата обращения: 26.10.2020)
142. Census Program / Statistics Canada. URL: <http://www12.statcan.gc.ca/> (дата обращения: 26.10.2020)
143. Eurostat database. URL: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (дата обращения: 26.10.2020)
144. OECD.Stat. URL: <https://stats.oecd.org/Index.aspx> (дата обращения: 26.10.2020)
145. Study to provide an Inventory of Reserves of Activities linked to professional qualifications requirements in 13 EU Member States & assessing their economic impact; URL: [https://www.actuel-expert-comptable.fr/sites/default/files/20120214-reportcorr\\_en.pdf](https://www.actuel-expert-comptable.fr/sites/default/files/20120214-reportcorr_en.pdf) (дата обращения: 26.10.2020)
146. Гимпельсон В.Е., Капелюшников Р.И. и др. Выбор профессии: чему учились и где пригодились // Экономический журнал Высшей школы экономики, 2009. Т. 13. № 2. с. 172–216.
147. Профессии на российском рынке труда [Текст] : аналит. докл. НИУ ВШЭ / отв. ред. Н. Т. Вишневская; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики. — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2017.
148. Страница суммарной методологии / Росстат. URL: [http://www.gks.ru/bgd/free/b00\\_24/IssWWW.exe/Stg/d000/I000081R.HTM](http://www.gks.ru/bgd/free/b00_24/IssWWW.exe/Stg/d000/I000081R.HTM) (дата обращения: 26.10.2020)
149. National Science Foundation Statistics. URL: <https://www.nsf.gov/statistics/> (дата обращения: 26.10.2020)
150. Бюро статистики труда США (BLS). URL: [www.bls.gov](http://www.bls.gov) (дата обращения: 26.10.2020)

151. Бюро переписи населения США (Current Population Survey, CPS). URL: <https://www.census.gov/programs-surveys/cps.html> (дата обращения: 26.10.2020)
152. Bureau of Economic Analysis. URL: <https://www.bea.gov/national/index.htm> (дата обращения: 26.10.2020)
153. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2024 года. URL: <http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/prognoz/2019093005> (дата обращения: 26.10.2020)
154. Супян В.Б. Наемный труд в США на новом этапе НТР: качественная эволюция и проблемы использования. М.: Наука, 1990.
155. Научно-технический прогресс в США: опыт, проблемы и перспективы. М.: Наука, 1981.
156. U.S. Congress, Office of Technology Assessment, Demographic Trends and the Scientific and Engineering Work Force —A Technical Memorandum (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, OTA-TM-SET-35, December 1985)
157. Ashenfelter O., Heckman J. Estimating labor supply functions. Princeton University. Working paper №34. February, 1972.
158. Александров А. Ю., Жабко А. П. О равномерной диссипативности нелинейных нестационарных систем // Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия. 2013. №3. с.3–11.
159. Александров А. Ю. Об устойчивости положения равновесия неавтономных колебательных систем // Вестник СПбГУ. Серия 10. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2005. №1-2. с.94–102.
160. Бондырева И.Б. Тенденции развития инженерного образования и его адаптация к вызовам современности // Научные труды Вольного экономического общества России. 2012. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-inzhenernogo-obrazovaniya-i-ego-adaptatsiya-k-vyzovam-sovremennosti> (дата обращения: 09.05.2021).



161. Horn, L. Stopouts or Stayouts? Undergraduates who leave college in their first year. U.S. Department of Education. National Center for Education Statistics. NCES 1999-087, by Laura Horn. Project Officer: Dennis Carroll. Washington DC: 1998. URL: <https://nces.ed.gov/pubs99/1999087.pdf> (дата обращения: 26.10.2020)
162. Percentage of 2011–12 First Time Postsecondary Students Who Had Ever Declared a Major in an Associate’s or Bachelor’s Degree Program Within 3 Years of Enrollment, by Type of Degree Program and Control of First Institution: 2014 // National Center for Education Statistics (NCES). URL: <https://nces.ed.gov/datalab/tableslibrary/viewtable.aspx?tableid=11764> (дата обращения: 26.10.2020)
163. Roa J.A., de Weert E. What do Educational Mismatches Tell us about Skill Mismatches? A Cross Country Analysis. Paper for the Seminar: European Labour Market of Higher Education Graduates: Analysis of the CHEERS Project Segovia. 2005. URL: <https://research.utwente.nl/en/publications/what-do-educational-mismatches-tell-us-about-skill-mismatches-a-c> (дата обращения: 26.10.2020)
164. Robst, J. Education and Job Match: The Relatedness of College Major and Work // Economics of Education Review, 2007. Vol.26 (4), pp.397-407.
165. Martin, N., Persson I., Rooth D.-O. Education-Occupation Mismatch: Is there an Income Penalty? // IZA Discussion Paper No. 3806. 2008.
166. Abreu M., Faggian A.; McCann Ph. Migration and inter-industry mobility of UK graduates: Effect on earnings and career satisfaction, 51st Congress of the European Regional Science Association: "New Challenges for European Regions and Urban Areas in a Globalised World", 30 August - 3 September 2011, Barcelona, Spain, European Regional Science Association (ERSA), Louvain-la-Neuve, 2011.
167. Образование в Российской Федерации: статистический сборник. – Москва : Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». Выпуски за 2004, 2010, 2014.
168. Rahman M.M., Khatoun R. A Small Macroeconometric Model of the Bangladesh Economy. 2011. URL:

- [https://www.research.manchester.ac.uk/portal/en/publications/a-small-macroeconomic-model-of-the-bangladesh-economy\(ea10526f-a213-4f10-adfd-545e86b6a0ff\)/export.html#export](https://www.research.manchester.ac.uk/portal/en/publications/a-small-macroeconomic-model-of-the-bangladesh-economy(ea10526f-a213-4f10-adfd-545e86b6a0ff)/export.html#export) (дата обращения: 26.10.2020)
169. Srivastava D.K. A Macro-Econometric Model of the Indian Economy Based on Quarterly Data (Version January 2013). URL: <http://www.mse.ac.in/wp-content/uploads/2016/09/Draft-Report-Quarterly-Model-M11-2013.pdf> (дата обращения: 26.10.2020)
170. Гуртов В.А., Серова Л.М., Степуть И.С. Приоритеты экономики: прогнозирование потребностей в кадрах с высшим профессиональным образованием // Университетское управление: практика и анализ, 2011. №4. С.43–51.
171. Егоршин А.П., Аблязова Н.О., Гуськова И.В. Состояние и прогнозы развития высшего экономического образования России до 2015 г. // Вопросы образования, 2007. № 2. С. 43–55
172. Gurtov V.A., Shchegoleva L.V. Forecasting the Economic Need for Personnel with Higher Scientific Qualifications. Studies on Russian Economic Development. 2018. Vol. 29. No. 4. PP. 415–422.
173. Шереги Ф.Э., Арефьев А.Л., Ключарев Г.А., Тюрина И.О. Численность обучающихся, педагогического и профессорско-преподавательского персонала, число образовательных организаций Российской Федерации. (Прогноз до 2020 года и оценка тенденций до 2030 года). М.: Институт социологии РАН, Центр социального прогнозирования и маркетинга, 2015.
174. Итоги выборочного обследования рабочей силы. Росстат. Выпуски за 2013-2017 гг. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13265> (дата обращения: 26.10.2020)
175. Кочеткова Е.В. Моделирование численности выпуска инженерно-технических специалистов // Анализ и моделирование экономических и социальных процессов / Математика. Компьютер. Образование: Сб. научн. трудов. Выпуск 26. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2019. с.141-149.

176. Jasbir S.A. More on Numerical Methods for Constrained Optimum Design / Chapter 13 in Introduction to Optimum Design (Fourth Edition). Academic Press, 2017. P.555-599. doi: 10.1016/B978-0-12-800806-5.00013-5.
177. Варшавский А.Е., Винокурова Н.А., Кочеткова Е.В. Представления ученых о том, какие профессии являются наиболее подходящими для их детей и внуков // Народонаселение, 2020, т.23, №1, с.119-134.  
doi: 10.19181/population.2020.23.1.10
178. LABORSTA \ International Labour Organization. URL: <http://laborsta.ilo.org/> (дата обращения: 26.10.2020).
179. Occupational employment statistics. Bureau of Labor Statistics, USA. URL: <http://www.bls.gov/oes/tables.htm> (дата обращения: 26.10.2020).
180. Гимпельсон В.Е. Дефицит квалификации и навыков на рынке труда: недостаток предложения, ограничения спроса или ложные сигналы работодателей? Препринт WP3/2004/01 - М.: ГУ ВШЭ, 2004.
181. Пономаренко А.Н. Исторические национальные счета России 1961-1990 гг. // Экономический журнал ВШЭ, №2, 2001. С. 238–261.
182. World Development Indicators. URL: <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators> (дата обращения: 26.10.2020)

## Приложение 1

**Межстрановые сопоставления удельных показателей численности занятых ИТС.** Проведен анализ изменения удельных показателей численности ИТС с использованием межстрановых сопоставлений с целью определения устойчивых соотношений, которые могли бы быть использованы в качестве нормативных показателей относительной численности ИТС.

**Отношение численности занятых ИТС к численности населения и занятых.** При проведении анализа рассматривались показатели численности занятых ИТС с учетом и без учета специалистов в области компьютерной техники и информационных технологий (ИТ) (см. подробнее раздел 1.1.1).

Анализ показывает, что доля ИТС (с учетом специалистов в области компьютерной техники и ИТ) и инженеров, в частности, в численности занятых для различных стран в определенные периоды оставалась достаточно стабильна. Так, в 1960 г. в СССР доля инженеров в численности занятых была в 1,38 раз выше, чем в США — примерно так же, как и в 2008 и 2012 гг. (в 1,31 и 1,38 раз соответственно, расчет по данным [6, 38, 178, 179]). В Германии и во Франции ее уровень в 1989 и 2000 гг. был примерно таким же, как в СССР 1970-1980 гг., а в США такой же уровень был достигнут в 2000 и 2008 гг. (см. табл.П1.1).

Результаты проведенного анализа показали, что несмотря на значительные различия в методологии учета ИТС, доля инженеров (с учетом специалистов в области компьютерной техники и ИТ) в численности занятых в рассмотренных странах возрастала с близкими темпами. За период 2008–2014 гг. в России рост доли инженеров в численности занятых составил примерно 1,17 раза, что примерно соответствует росту в 1,29 за десятилетие с тем же среднегодовым темпом, то есть примерно соответствует росту удельных показателей численности инженеров в Канаде (1,29), Великобритании (1,33), Германии (1,33) в 1980–1990 гг., в США (1,42) в 1990–2000 гг., несколько превышало темпы роста доли численности инженеров в общей численности занятых в Германии (1,14) и Франции (1,13) в 1990–2000 гг. В США за тот же период 2008-2014 гг. наблюдаемый рост составил примерно 1,11 раз (что примерно соответствует росту в 1,19 за десятилетие с тем же среднегодовым

темпом). В табл.П1.1 из-за отсутствия информации показатели были рассчитаны по данным для соседних лет: для США приведены значения для 1983, 1991, 2013 гг.; для Канады — 1981, 1991 гг.; для Германии — 1989; для Франции — 1982, 1990 гг.; для Великобритании — 1981, 1990 гг.

Таблица П1.1. Численность инженеров (с учетом специалистов в области компьютерной техники и ИТ), занятых в экономике. Расчет по данным [6, 38, 178,179].

Страна / год	1960	1970	1975	1980	1985	1989	2000	2008	2014
в расчете на 1000 человек населения									
СССР	5,3	10,3	14,5	18,6	21,9	23,0	...	...	...
РСФСР	6,3	12,2	...	22,0	25,8	...	...	...	...
Россия	...	...	...	...	...	...	...	23,2	28,7
США	5,0	...	...	9,0	...	11,3	15,7	16,1	16,7
Канада	...	4,6	...	8,0	...	10,2	...	...	...
Германия	...	...	8,2	9,5	...	12,7	18,4	...	...
Франция	...	...	6,3	7,9	...	12,2	14,2	...	...
Великобритания	...	...	...	9,1	...	13,1	19,7	...	...
в % от численности занятых									
СССР	1,8	2,8	3,6	4,4	5,1	5,7	-	-	-
РСФСР	1,9	2,9	...	4,7	5,5	...	-	-	-
Россия	-	-	-	-	-	-	...	4,7	5,5
США	1,3	...	...	2,1	...	2,4	3,4	3,6	4,0
Германия	...	...	2,5	2,7	...	3,6	4,1	...	...
Франция	...	...	1,6	2,0	...	3,0	3,4	...	...
Великобритания	...	...	...	2,1	...	2,8	4,3	...	...

Высокие темпы роста рассматриваемых показателей в определенный период могут свидетельствовать о несбалансированности спроса и предложения труда ИТС. Например, высокие темпы роста численности ИТС в СССР в 1970–1985 гг. способствовали формированию избыточного предложения ИТС на рынке труда в конце 1980-х гг., и, как следствие, оттоку кадров в другие отрасли экономики и повышению доли работающих не по специальности до уровня, сохраняющегося и в настоящее время в России, что подтверждается оценками экспертов [180].

**Отношение численности ИТС в расчете на 1 млн долл. ВВП.** Анализ численности инженеров (с учетом специалистов в области компьютерной техники и информационных технологий (ИТ)) в расчете на 1 млн долл. ВВП (индекс ВВП РСФСР рассчитан по данным, приведенным в работе [181]; для проведения межстрановых сопоставлений ВВП был рассчитан по данным Всемирного банка, в сопоставимых ценах 2010 г. по паритету покупательной способности) выявил, что уровень данного показателя относительно стабилен для всех рассмотренных стран (СССР, Россия, США, Германия, Франция, Великобритания); см. табл. П1.2.

Таблица П1.2. Численность инженеров (с учетом специалистов в области компьютерной техники и ИТ), занятых в экономике, в расчете на 1 млн долл. ВВП (в постоянных ценах 2010 г. по ППС). Расчет по данным [6, 38, 178, 179, 182].

Страна / год	1960	1970	1980	1985	1989	2000	2008	2014	2016
<b>РСФСР</b>	<b>0,9</b>	<b>1,0</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	...	-	-	-	
<b>Россия</b>	-	-	-	-	-	...	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>
США	...	...	0,5	...	0,5	0,5	0,5	0,5	
Германия	...	...	0,4	...	0,4	0,5	...	...	
Франция	...	...	0,3	...	0,4	0,4	...	...	
Великобритания	...	...	0,5	...	0,5	0,6	...	...	

Значительный рост данного показателя, наблюдавшийся в РСФСР и СССР в 1970–1985 гг. (почти в 1,5 раза), таким образом, также может свидетельствовать об избыточности предложения ИТС к концу периода. При этом величина данного показателя для России в 2000-х гг. примерно соответствует уровню СССР в 1970–1980 гг. и в настоящее время в 2–3 раза превышает уровень наиболее развитых стран, что может также свидетельствовать о существовании структурных диспропорций на рынке труда ИТС.

В то же время стабильность показателя численности инженеров (с учетом специалистов в области ЭВМ и ИТ) в расчете на 1 млн долл. ВВП, наблюдаемая для рассматриваемых стран, позволяет сделать вывод о возможности его использования для предварительной оценки потребности в ИТС.

## Приложение 2

Таблица П2.1. Абсолютная и удельная численность инженеров и техников в РСФСР (1941-1989) и России (2008,2012); расчеты по данным [38,60].

	1941	1960	1970	1980	1985	2008	2014
	РСФСР					Россия	
Специалисты с высшим образованием, тыс.человек	527	2083	3898	6710	7938	<b>13230</b>	<b>14534</b>
Инженеры, тыс.человек	191	760	1594	3056	3716	<b>3306</b>	<b>4115</b>
Специалисты со средним специальным образованием, тыс.человек	916	3248	6007	9836	11148	<b>10818</b>	<b>10899</b>
Техники, тыс.человек	214	1337	2810	4883	5552	<b>1172</b>	<b>1624</b>
Численность занятых, млн человек	22,2	39,5	54,4	65,6	67,6	<b>71,0</b>	<b>71,5</b>
Численность населения, млн человек	111,4*	120,8	130,7	139,2	144,1	<b>142,7</b>	<b>146,3</b>
Численность инженеров на 1000 чел. населения	1,7	6,3	12,2	22,0	25,8	<b>23,2</b>	<b>28,7</b>
Численность техников на 1000 чел. населения	1,9	11,1	21,5	35,1	38,5	<b>12,1</b>	<b>11,3</b>
Доля инженеров в общей численности занятых, %	0,9	1,9	2,9	4,7	5,5	<b>4,7</b>	<b>5,8</b>
Доля техников в общей численности занятых, %	1,0	3,4	5,2	7,4	8,2	<b>2,4</b>	<b>2,3</b>
Доля инженеров в численности специалистов с высшим образованием, %	36,2	36,5	40,9	45,5	46,8	24,6	26,5
Доля техников в численности специалистов со средним специальным образованием, %	23,4	41,2	46,8	49,6	49,8	15,3	13,4

Прим.: данные за \*1940 \*\*1988

Таблица П2.2а. Динамика основных социально-экономических показателей СССР (расчет по данным [38]), индекс, 1960=100%.

Показатель / год	1965	1970	1975	1980	1985	1989
Валовой общественный продукт	137,0	208,7	282,9	347,5	413,5	467,1
Произведенный национальный доход	137,2	199,2	262,2	323,8	379,0	421,1
Продукция промышленности	150,9	227,1	325,1	404,2	482,4	552,4
Производственные основные фонды	161,2	239,1	357,7	510,9	694,8	840,7
Численность населения	108,1	113,8	119,3	124,5	130,1	135,0
Среднегодовая численность рабочих и служащих	124,0	145,1	164,7	181,4	189,9	186,1
Численность специалистов с высшим образованием	138,0	193,3	267,3	340,6	408,6	447,7
Численность специалистов со средним специальным образованием	137,0	190,6	254,2	315,7	364,7	393,5
Численность инженеров	143,7	219,0	324,5	433,0	533,7	581,0
Численность техников	147,6	221,5	311,5	395,2	457,6	480,2

Таблица П2.2б. Динамика основных социально-экономических показателей СССР (расчет по данным [38])

	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1989
Валовой общественный продукт, в ценах 1989 г., млрд руб.	341,1	467,3	712,0	965,2	1185,4	1410,6	1593,5
Произведенный национальный доход, в ценах 1989 г., млрд руб.	156,0	214,0	310,7	408,9	505,1	591,1	656,8
Продукция промышленности, в ценах 1989 г., млрд руб.	170,8	252,7	387,8	555,2	690,5	824,0	943,5



Производственные основные фонды, в ценах 1989 г., млрд руб.	250,0	397,5	588,3	891,2	1273,5	1736,5	2092,6
Численность населения, млн человек	212,4	229,6	241,7	253,3	264,5	276,3	286,7
Среднегодовая численность рабочих и служащих, млн человек	62,0	76,9	90,2	102,2	112,5	117,8	115,4
Численность специалистов с высшим образованием, тыс. человек	3545	4891	6853	3477	12073	14485	15870
Численность специалистов со средним специальным образованием, тыс. человек	5239	7175	9988	13319	16539	19107	20614
Численность инженеров, занятых в народном хозяйстве, тыс. человек	1135	1631	2486	3638	4914	6058	6594
Численность техников, занятых в народном хозяйстве, тыс. человек	1956	2887	4333	6093	7731	8950	9393

Таблица П2.3. Усредненные значения эластичности численности инженерно-технических кадров в СССР по величине ВОП (соотношение темпов прироста показателей), расчет по данным [38].

Показатель / год	1960-1972	1973-1980	1981-1989
Эластичность численности инженеров	1,29	1,35	0,87
Эластичность численности техников	1,28	1,13	0,55

Таблица П2.4. Эластичность численности инженеров и техников по выпуску промышленной продукции, СССР (расчет по данным [38]).

Показатель / год	1960-1972	1973-1980	1981-1989
Эластичность численности инженеров	1,02	1,23	0,82
Эластичность численности техников	1,02	1,02	0,53

Таблица П2.5. Динамика производства продукции по отраслям промышленности, СССР (расчет по данным [38]), 1955-1989 гг. (индекс, 1960=100%)

Показатель / год	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1989
Вся промышленность	61,1	100	151,0	229,0	324,4	400,8	476,9	545,0
Электроэнергетика	54,0	100	177,7	265,5	383,5	486,7	584,1	647,3
Топливная промышленность	66,6	100	137,1	181,3	240,8	277,6	294,3	310,9
Черная металлургия	69,0	100	146,9	194,6	251,0	272,0	299,2	329,1
Химическая и нефтехимическая промышленность	53,6	100	195,3	350,6	571,4	753,2	828,6	911,4
Машиностроение и металлообработка	51,5	100	179,4	309,7	542,0	796,5	1075,2	1314,2
Лесная, деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная промышленность	64,6	100	127,6	161,6	208,8	225,6	268,5	304,5
Промышленность строительных материалов	39,8	100	153,0	229,4	322,9	348,3	...	...
Легкая промышленность	71,1	100	113,6	167,9	210,7	250,0	270,0	295,0
Пищевая	67,5	100	142,5	206,1	267,5	285,1	325,0	373,5

Табл.П2.6 Численность специалистов с высшим и средним специальным образованием, занятых на промышленных предприятиях СССР, тыс.человек (расчет по данным [64])

	1970	1975	1980	1985
Всего специалистов с высшим и средним спец образованием, занятых на промышленных предприятиях, в том числе	3846	5460	7236	8779
специалистов с высшим образованием	1117	1659	2346	3023
из них инженеров	832	1226	1698	2193
специалистов с средним спец образованием	2729	3801	4890	5756
из них техников	2170	2944	3697	4313

Табл.П2.7. Отношение численности специалистов с высшим и средним специальным образованием, занятых на промышленных предприятиях, к численности ИТР в СССР (расчет по данным [64])

	1970	1975	1980	1985
Отношение численности специалистов с высшим образованием, занятых на промышленных предприятиях, к численности ИТР	0,30	0,39	0,46	0,55
Отношение численности специалистов со средним специальным образованием, занятых на промышленных предприятиях, к численности ИТР	0,74	0,89	0,95	1,04

Табл.П2.8. Численность инженеров в расчете на 10 техников по месту работы, СССР (расчет по данным [38])

	1941	1955	1960	1965	1970	1980	1985	1987
Всего в народном хозяйстве, в том числе	9,1	7,3	5,8	5,6	5,7	6,4	6,8	7,0
на промышленных предприятиях	8,2	5,1	3,9	3,6	3,8	4,6	5,1	5,2

в колхозах, совхозах, подсобных и прочих производственных сельскохозяйственных предприятиях	2,2	3,1	3,5	2,9	3,2	...	...	...
на предприятиях транспорта	4,5	4,1	2,9	2,7	2,8	3,2	3,6	3,8
на предприятиях связи	1,7	2,2	1,6	1,4	1,7	2,6	3,0	3,1
в строительных организациях	7,0	8,2	4,9	4,6	4,6	5,2	5,9	6,0
в проектных и проектно-исследовательских организациях, обслуживающих строительство	20,2	20,2	16,9	17,2	17,0	20,1	23,3	24,3
в учреждениях просвещения и культуры	21,2	21,3	13,7	12,5	14,7	...	...	...
в учреждениях науки и научного обслуживания	22,0	14,7	13,7	15,0	16,4	20,7	24,0	25,8
в аппарате органов государственного и хозяйственного управления, органов управления кооперативных и общественных организаций	13,0	12,5	10,9	10,6	10,6	13,6	15,4	17,7

Таблица П2.9. Динамика выпуска специалистов вузами в СССР в 1950-1988 гг., 1960=100% (расчет по данным [65,66])

	1950	1960	1965	1970	1980	1985	1988
Всего специалистов	51,5	100,0	117,7	183,7	238,1	250,2	225,8
<b>в т.ч. инженеров по специальностям</b>	<b>31,1</b>	<b>100,0</b>	<b>140,9</b>	<b>213,8</b>	<b>298,4</b>	<b>312,4</b>	<b>261,3</b>
геология и разведка месторождений полезных ископаемых	43,6	100,0	82,1	130,8	159,0	161,5	133,3
разработка месторождений полезных ископаемых	26,4	100,0	75,5	118,9	164,2	173,6	152,8

энергетика	28,6	100,0	83,3	125,0	210,7	208,3	172,6
металлургия	35,9	100,0	123,1	166,7	223,1	233,3	207,7
машиностроение и приборостроение	29,7	100,0	150,3	225,5	276,5	279,7	223,5
электронная техника, электроприборостроение и автоматика	17,3	100,0	303,7	500,0	653,1	698,8	633,3
радиотехника и связь	22,2	100,0	222,2	314,3	355,6	379,4	341,3
химическая технология	45,6	100,0	177,2	282,5	257,9	249,1	217,5
лесоинженерное дело и технология древесины, целлюлозы и бумаги	18,9	100,0	78,4	89,2	154,1	148,6	132,4
технология продовольственных продуктов	65,7	100,0	137,1	225,7	348,6	388,6	351,4
технология товаров широкого потребления	38,7	100,0	103,2	174,2	287,1	338,7	309,7
строительство	27,7	100,0	120,3	171,2	346,3	360,5	267,8
геодезия и картография	50,0	100,0	150,0	166,7	333,3	350,0	283,3
гидрология и метеорология	57,1	100,0	142,9	157,1	185,7	185,7	171,4
сельское и лесное хозяйство	37,4	100,0	98,3	169,0	187,0	202,9	179,4
транспорт	47,0	100,0	145,5	225,8	333,3	384,8	342,4
экономика	32,9	100,0	132,9	246,3	352,4	375,6	374,9
право	95,0	100,0	115,0	135,0	271,7	288,3	271,7
здравоохранение и физкультура	67,6	100,0	101,3	143,1	194,8	212,1	207,2
специальности университетов	41,1	100,0	102,7	162,9	214,4	214,4	183,9
специальности педагогических институтов и вузов культуры	77,7	100,0	98,3	150,7	166,1	173,0	165,0
искусство	96,0	100,0	156,0	256,0	300,0	320,0	308,0

Таблица П2.10. Динамика выпуска специалистов ссузами СССР в 1950–1988 гг. по специальностям, тыс. человек (расчет по данным [65,66]).

	1950	1960	1965	1970	1980	1985	1988
Всего специалистов	64,9	100	128,5	213,7	263,6	257,8	255,9
геология и разведка месторождений полезных ископаемых	72,0	100	100,0	192,0	216,0	204,0	188,0
разработка месторождений полезных ископаемых	42,6	100	42,6	83,0	77,3	87,9	93,6
энергетика	50,0	100	172,7	290,9	290,3	271,4	263,6
металлургия	87,5	100	121,4	182,1	212,5	203,6	201,8
машиностроение и приборостроение	35,5	100	115,2	165,6	176,4	160,3	152,1
электромашиностроение и электроприборостроение	35,3	100	275,0	467,6	539,7	522,1	497,1
радиотехника и связь	41,6	100	174,4	247,2	289,6	264,8	237,6
химическая технология	62,9	100	191,4	332,9	264,3	242,9	224,3
лесоинженерное дело и технология древесины, целлюлозы и бумаги	35,8	100	95,5	126,9	176,1	149,3	135,8
технология продовольственных продуктов	40,8	100	156,7	240,0	369,2	365,8	331,7
технология товаров широкого потребления	55,6	100	191,1	274,4	306,7	316,7	306,7
строительство	42,7	100	105,8	181,0	300,9	246,5	221,9
геодезия и картография	53,3	100	73,3	100,0	240,0	180,0	180,0
гидрология и метеорология	42,9	100	107,1	121,4	121,4	92,9	78,6
сельское хозяйство	69,3	100	102,2	178,7	246,4	231,1	221,4
транспорт	52,1	100	157,7	261,0	340,8	320,2	294,4
экономика	36,7	100	145,4	263,4	338,7	335,2	318,3
право		...	...	...	...	...	...
здравоохранение и физическая культура	84,2	100	118,0	215,1	242,5	259,5	273,3
просвещение	160,1	100	124,2	208,8	249,7	291,2	364,9
искусство	66,7	100	217,3	282,7	364,0	352,0	324,0

Таблица П2.11. Структура ВОП (в ценах соответствующих лет, в % к итогу). Расчет по данным [38].

	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990
Валовой общественный продукт в фактических ценах, млрд руб.	304,0	420,2	643,5	862,2	1078,5	1363,6	1631,6
Валовой общественный продукт	100	100	100	100	100	100	100
промышленность	62,2	63,4	63,6	64,7	63,6	61,9	58,2
сельское хозяйство	16,1	16,9	16,1	14,2	14,1	16,1	18,1
транспорт и связь	4,3	4,4	4,0	4,3	4,4	4,8	5,1
строительство	10,5	9,6	10,5	10,6	9,6	10,0	10,4
торговля, материально-техническое снабжение, заготовки и другие отрасли материального производства	6,9	5,8	5,8	6,2	8,3	8,6	8,1

Таблица П2.12. Структура валового общественного продукта по отраслям народного хозяйства, СССР (расчет по данным [38])

	1958	1960	1965	1970	1975	1978	1980	1985	1990
Валовой общественный продукт	100	100	100	100	100	100	100	100	100
в том числе произведенный в отраслях народного хозяйства:									
промышленность	59,3	62,2	63,4	63,6	64,7	63,8	63,6	61,9	58,2
сельское хозяйство	20,4	16,1	16,9	16,1	14,2	14,8	14,1	16,1	18,1
транспорт и связь	3,7	4,3	4,4	4,0	4,3	4,4	4,4	4,8	5,1
строительство	9,9	10,5	9,6	10,5	10,6	10,0	9,6	10,0	10,4
торговля, материально-техническое снабжение, заготовки и другие отрасли материального производства	6,7	6,9	5,8	5,8	6,2	7,0	8,3	8,6	8,1

Таблица П2.13. Численность специалистов с высшим и средним специальным образованием, занятых на промышленных предприятиях. Расчет по данным [73].

<b>Показатель / год</b>	<b>1970</b>	<b>1975</b>	<b>1980</b>	<b>1985</b>
Всего специалистов с высшим и средним специальным образованием, занятых на промышленных предприятиях, тыс. человек, в том числе	3846	5460	7236	8779
<b>Специалисты с высшим образованием, из них</b>	1117	1659	2346	3023
Инженеры	832	1226	1698	2193
Доля инженеров, работавших рабочими в % от общей численности инженеров, занятых в промышленности	2,9	4,4	5,1	8,4
Доля инженеров, работавших рабочими в % от всех специалистов с высшим образованием, работавших рабочими	55,8	63,5	61,3	66,4
<b>Специалисты со средним специальным образованием, из них</b>	2729	3801	4890	5756
Техники	2170	2944	3697	4313
Доля техников, работавших рабочими в % от общей численности техников, занятых в промышленности	24,2	30,4	33,6	40,9
Доля техников, работавших рабочими в % от всех специалистов со средним специальным образованием, работавших рабочими	84,7	83,4	80,8	82,6



Таблица П2.14. Распределение молодых специалистов выпуска 1985-1987 гг. по причинам работы не по специальности, %. Источник: [73]

	Всего	Из них	
		с высшим	со средним специальным
Всего опрошено специалистов	100	100	100
из них неработающих по специальности	46,6	41	59,8
в том числе по причинам:			
выполняемая работа выше оплачивается	4,2	2,9	7,4
не удовлетворены полученной специальностью и считают, что выполняемая работа более интересна и перспективна в плане продвижения по должности	7,3	6,2	10,1
отсутствие вакансий по специальности	21,7	20,1	25,5
недостаточный уровень подготовки в учебном заведении, необходимость приобретения практических навыков, по семейным обстоятельствам и др.	13,4	11,9	16,9

Таблица П2.15. Индексы промышленного производства Российской Федерации (1991=1); источник: [75]

	1995	2000	2005	2010	2014
Промышленное производство, в том числе	0,54	0,57	0,75	0,84	0,91
добыча полезных ископаемых	0,71	0,74	0,99	1,09	1,12
обрабатывающие производства, в том числе	0,47	0,51	0,69	0,79	0,91
химическое производство	0,55	0,7	0,82	0,93	1,1
производство машин и оборудования	0,38	0,32	0,45	0,49	0,49
производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования	0,37	0,45	1,16	1,14	1,31
производство транспортных средств и оборудования	0,45	0,53	0,53	0,5	0,75

Таблица П2.16. Структура валовой добавленной стоимости, созданной по видам экономической деятельности в России в 2002-2013 гг., %. Расчет по данным: [61]

	2002	2005	2008	2011	2013
Валовая добавленная стоимость, произведенная в экономике, в основных ценах, в том числе	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	6,0	4,7	4,2	4,2	3,8
Рыболовство, рыбоводство	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Добыча полезных ископаемых	6,7	11,1	9,3	10,7	10,8
Обрабатывающие производства	17,2	18,3	17,5	15,6	14,8
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	3,6	3,3	2,9	3,8	3,4
Строительство	5,4	5,3	6,3	7,4	7,2
Оптовая и розничная торговля; ремонт автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного пользования	22,9	19,5	20,3	19,1	18,2
Гостиницы и рестораны	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0
Транспорт и связь	10,2	10,2	9,3	8,6	8,5
Финансовая деятельность	2,9	3,8	4,4	4,1	4,9
Операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг	10,6	9,9	11,3	11,5	12,0
Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное страхование	5,1	5,2	5,4	5,6	6,7
Образование	2,9	2,7	2,8	2,9	3,0
Здравоохранение и предоставление социальных услуг	3,4	3,0	3,4	3,7	3,8
Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6

### Приложение 3

Таблица ПЗ.1. Показатели численности и подготовки квалифицированных кадров, в том числе инженерно-технических, в СССР и РСФСР.

Показатель	Период	Источники
<i>Численность специалистов в народном хозяйстве СССР и РСФСР</i>		
Численность специалистов с высшим и средним специальным образованием в СССР	1941-1990	«Народное хозяйство СССР» за 1941-1990 гг.
Численность специалистов с высшим и средним специальным образованием в СССР	1941-1989	"Народное хозяйство СССР" за 1941-1989 гг., сборник "Труд в СССР" за 1988 г.
Численность специалистов с высшим и средним специальным образованием в РСФСР	1941-1985	«Народное хозяйство РСФСР» за 1965-1985 гг.
Численность специалистов с высшим и средним специальным образованием, занятых в народном хозяйстве СССР, по отраслям	1940-1987	"Труд в СССР" за 1988 г.
<i>Численность инженеров и техников в народном хозяйстве</i>		
Численность инженеров в народном хозяйстве СССР	1941-1989	«Народное хозяйство СССР» за 1941-1989 гг.
Численность техников в народном хозяйстве СССР	1941-1989	«Народное хозяйство СССР» за 1941-1989 гг.
Численность дипломированных инженеров, занятых в народном хозяйстве, по отраслям	1941-1987	«Народное образование, наука и культура в СССР» за 1971 и 1989 гг.
Численность дипломированных техников, занятых в народном хозяйстве, по отраслям	1941-1987	"Народное образование, наука и культура в СССР" за 1971 и 1989 гг.
<i>Численность специалистов в промышленности</i>		

Среднегодовая численность промышленно-производственного персонала (ППП) в промышленности СССР, по категориям (в т.ч. рабочие, ИТР, служащие)	1932-1986	"Народное хозяйство СССР" сборники за 1917-1977, 1922-1972, 1922-1982, ежегодн. 1956-1985 гг.
Среднегодовая численность промышленно-производственного персонала (ППП) в промышленности РСФСР, по категориям (в т.ч. рабочие, ИТР, служащие)	1940-1975	«Народное хозяйство РСФСР» за 1960-1975 гг.
Численность специалистов с высшим и средним специальным образованием, в т.ч. инженеров и техников, занятых на промышленных предприятиях СССР	1970-1985	"Технический прогресс в СССР" за 1986 г.
Численность специалистов с высшим и средним специальным образованием, занятых в промышленности СССР, по отраслям	1960-1987	"Труд в СССР" за 1988 г., "НТП в СССР" за 1986 г.
Численность специалистов с высшим и средним специальным образованием, работающих рабочими, в промышленности	1970-1987	"Труд в СССР" за 1988 г.
<i>Численность инженерно-технических работников в промышленности</i>		
Численность инженерно-технических работников (ИТР) в промышленности СССР	1932-1986	"Народное хозяйство СССР" за 1917–1977, 1922–1972, 1922–1982, 1956, 1958, 1960, 1982, 1985 гг.
Доля ИТР в общей численности промышленно-производственного персонала по отраслям	1970-1985	"НТП в СССР" в 1986 г.
Численность инженеров, занятых в промышленности	1970-1985	"НТП в СССР" за 1986 г.

Численность инженеров, занятых в отраслях промышленности, по специальностям	1960	"Народное хозяйство СССР" за 1960 г.
Численность техников, занятых в промышленности СССР	1970-1985	«Технический прогресс в СССР» за 1986 г.
<i>Подготовка специалистов высшими и средними специальными учебными заведениями</i>		
Выпуск специалистов из высших учебных заведений СССР, по группам специальностей	1950-1988	«НТП в СССР» за 1986 г., «Народное образование, наука и культура СССР» за 1971 г., «Народное образование и культура СССР» за 1989 г.
Выпуск специалистов из высших учебных заведений РСФСР, по группам специальностей	1958-1988	«Народное хозяйство РСФСР» за 1965, 1988, 1989 гг., за 60 лет, за 70 лет
Выпуск инженеров из высших учебных заведений СССР, по группам специальностей	1950-1988	«Народное образование, наука и культура» за 1971 г., «Народное образование и культура» за 1989 г.
Выпуск специалистов из средних специальных учебных заведений СССР, по группам специальностей	1950-1988	«Народное образование, наука и культура» за 1971 г., «Народное образование и культура» за 1989 г., «НТП в СССР» за 1986 г.
Выпуск специалистов из средних специальных учебных заведений РСФСР, по группам специальностей	1958-1988	«Народное хозяйство РСФСР» за 1965, 1988, 1989 гг., за 60 лет, за 70 лет
Выпуск техников средними специальными учебными заведениями СССР, по группам специальностей	1960-1988	«Народное образование и культура» за 1989 г.

## Приложение 4

Таблица П4.1. Коэффициенты корреляции между исследуемыми факторами и переменными численности научных и инженерно-технических кадров.

	Переменная		
	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
Доля валовой добавленной стоимости (ВДС) промышленности, % ВВП (X <sub>1</sub> )	<b>0,34</b>	0,00	0,03
Доля НДС обрабатывающей промышленности (ОП), % ВВП (X <sub>2</sub> )	<b>0,36</b>	0,02	0,00
Доля НДС добывающих отраслей в НДС экономики в целом, % (X <sub>3</sub> )	0,15	<b>0,38</b>	<b>0,42</b>
Доля НДС высокотехнологичных производств в НДС экономики в целом, % (X <sub>4</sub> )	0,23	<b>0,32</b>	<b>0,31</b>
Доля НДС высоко- и среднетехнологичных производств в НДС экономики в целом, % (X <sub>5</sub> )	<b>0,39</b>	0,01	0,09
Доля НДС сектора услуг в НДС экономики в целом, % (X <sub>6</sub> )	0,29	0,32	0,04
Доля НДС услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг в НДС экономики в целом, % (X <sub>7</sub> )	0,20	0,21	0,24
Доля НДС компьютерных услуг и услуг, связанных с НИОКР в НДС экономики в целом, % (X <sub>8</sub> )	0,07	0,15	0,19
Доля НДС компьютерных услуг и услуг, связанных с НИОКР в НДС услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг, % (X <sub>9</sub> )	0,02	0,12	0,22
Доля НДС услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг <i>за исключением</i> компьютерных услуг и услуг, связанных с НИОКР в НДС экономики в целом, % (X <sub>10</sub> )	0,21	0,19	0,21
Соотношение НДС высоко- и среднетехнологичных производств и НДС сектора услуг (X <sub>11</sub> )	<b>0,44</b>	0,03	0,05
Соотношение НДС высоко- и среднетехнологичных произ-	<b>0,42</b>	0,11	0,03

водств и ВДС сектора услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг (X <sub>12</sub> )			
Соотношение ВДС высокотехнологичных производств и ВДС сектора услуг в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг (X <sub>13</sub> )	<b>0,38</b>	0,02	0,19
Соотношение численности занятых в области финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг и занятых на высоко- и среднетехнологичных производствах (X <sub>14</sub> )	0,27	0,23	0,09
Соотношение средней заработной платы в высоко- и среднетехнологичных производствах и заработной платы в сфере финансов, страхования, недвижимости, и других профессиональных услуг (X <sub>15</sub> )	<b>0,36</b>	<b>0,24</b>	<b>0,30</b>
Соотношение средней заработной платы в отраслях компьютерных услуг и НИОКР и заработной платы в области финансов и недвижимости (X <sub>16</sub> )	0,02	0,22	<b>0,40</b>
Расходы на НИОКР, % ВВП (X <sub>17</sub> )	0,23	<b>0,55</b>	<b>0,51</b>
Собственные расходы промышленности на НИОКР, % ВВП (X <sub>18</sub> )	0,05	<b>0,49</b>	<b>0,52</b>
Наукоемкость высоко- и среднетехнологичных производств (X <sub>19</sub> )	0,00	<b>0,57</b>	<b>0,52</b>
Соотношение экспорта и импорта высокотехнологичной продукции (X <sub>20</sub> )	0,02	0,29	<b>0,43</b>
Экспорт высокотехнологичной продукции в % от экспорта продукции ОП (X <sub>21</sub> )	0,01	0,25	<b>0,44</b>
Импорт высокотехнологичной продукции в % от импорта продукции ОП (X <sub>22</sub> )	0,02	<b>0,50</b>	<b>0,40</b>
Экспорт высокотехнологичной продукции, % ВВП (X <sub>23</sub> )	0,22	<b>0,55</b>	<b>0,48</b>
Экспорт продукции ОП, % ВВП (X <sub>24</sub> )	0,01	<b>0,43</b>	<b>0,38</b>
Импорт высокотехнологичной продукции, % ВВП (X <sub>25</sub> )	0,02	0,28	<b>0,48</b>
Импорт продукции ОП, % ВВП (X <sub>26</sub> )	<b>0,48</b>	0,13	0,05
Доля расходов на третичное образование в государственных расходах, % (X <sub>27</sub> )	0,00	0,26	0,28

Расходы на высшее образование в расчете на 1 студента к ВВП на душу населения, % (X <sub>28</sub> )	0,14	<b>0,36</b>	0,12
Соотношение долей доходов 10% наиболее богатых и 10% наиболее бедных слоев населения (X <sub>29</sub> )	0,17	0,08	0,04
Индекс Джини (X <sub>30</sub> )	0,26	0,22	0,20

Таблица П4.2. Коэффициенты корреляции доли студентов на инженерно-технических специальностях в общей численности студентов (Y<sub>4</sub>) и доли выпускников инженерно-технических специальностей в общем числе выпускников (Y<sub>5</sub>) с показателями экономического развития, 2000 и 2006 гг.

	Y <sub>1</sub>		Y <sub>2</sub>	
	2000	2006	2000	2006
Доля суммарной ВДС добывающей, ОП, строительства и энергетики в ВДС экономики, % (X <sub>31</sub> )	0,48	0,53	0,70	0,67
Доля ВДС ОП в ВВП, % (X <sub>2</sub> )	0,63	0,45	0,60	0,38
Доля занятых в ОП в общей численности занятых, % (X <sub>32</sub> )	0,55	0,54	0,57	0,62
Доля ВДС высоко- и среднетехнологичных производств в ВДС экономики, % (X <sub>5</sub> )	0,42	0,42	0,41	0,32
Доля занятых в высоко- и среднетехнологичных производствах в общей численности занятых, % (X <sub>33</sub> )	0,32	0,57	0,46	0,35
Доля инвестиций в высоко- и среднетехнологичный сектор в инвестициях в целом, % (X <sub>34</sub> )	0,48	0,43	0,68	0,29
Собственные расходы на НИОКР в промышленности, % ВВП (X <sub>18</sub> )	0,72	0,61	0,61	0,45
Индекс Джини (X <sub>30</sub> )	0,26	0,31	0,55	0,55



Таблица П4.3. Корреляционная матрица рассматриваемых факторов для моделей доли дипломированных ИТС в общей численности специалистов с профессиональным образованием ( $Y_1$ ).

	$X_2$	$X_5$	$X_{11}$	$X_7$	$X_{10}$	$X_{30}$
$X_2$	1,00	0,84	0,90	-0,77	-0,79	-0,36
$X_5$	0,84	1,00	0,99	-0,46	-0,50	-0,54
$X_{11}$	0,90	0,99	1,00	-0,56	-0,60	-0,52
$X_7$	-0,77	-0,46	-0,56	1,00	0,99	0,35
$X_{10}$	-0,79	-0,50	-0,60	0,99	1,00	0,39
$X_{30}$	-0,36	-0,54	-0,52	0,35	0,39	1,00

Таблица П4.4. Корреляционная матрица рассматриваемых факторов для моделей доли научно-технических работников в численности занятых ( $Y_2$ ).

	$X_7$	$X_{30}$	$X_{19}$	$X_4$	$X_9$	$X_{28}$	$X_{15}$
$X_7$	1.01	0.29	0.17	-0.28	0.69	0.09	0.23
$X_{30}$	0.29	1.00	-0.35	-0.70	-0.11	-0.73	-0.08
$X_{19}$	0.17	-0.35	1.00	0.21	0.34	0.22	-0.34
$X_4$	-0.28	-0.70	0.21	1.00	0.24	0.17	-0.02
$X_9$	0.69	-0.11	0.34	0.24	1.00	0.05	-0.25
$X_{28}$	0.09	-0.73	0.22	0.17	0.05	1.00	0.38
$X_{15}$	0.23	-0.08	-0.34	-0.02	-0.25	0.38	1.00

Таблица П4.5. Корреляционная матрица рассматриваемых факторов для моделей доли ученых и инженеров в численности занятых ( $Y_3$ ).

	$X_{30}$	$X_{19}$	$X_4$	$X_{25}$	$X_{18}$	$X_9$	$X_{27}$	$X_{16}$
$X_{30}$	1.00	-0.29	-0.69	-0.37	-0.86	-0.01	-0.78	-0.69
$X_{19}$	-0.29	1.00	0.19	0.11	0.40	0.35	0.43	0.58
$X_4$	-0.69	0.19	1.00	-0.05	0.89	0.23	0.65	0.49

Таблица П4.5. Продолжение.

	X <sub>30</sub>	X <sub>19</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>25</sub>	X <sub>18</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>27</sub>	X <sub>16</sub>
X <sub>25</sub>	-0.37	0.11	-0.05	1.00	0.12	0.11	0.55	0.22
X <sub>18</sub>	-0.86	0.40	0.89	0.12	1.00	0.31	0.70	0.76
X <sub>9</sub>	-0.01	0.35	0.23	0.11	0.31	1.00	0.03	0.48
X <sub>27</sub>	-0.78	0.43	0.65	0.55	0.70	0.03	1.00	0.44
X <sub>16</sub>	-0.69	0.58	0.49	0.22	0.76	0.48	0.44	1.00

Таблица П4.6. Корреляционная матрица рассматриваемых факторов для моделей доли студентов на инженерно-технических специальностях в общей численности студентов (Y<sub>4</sub>) и доли выпускников инженерно-технических специальностей в общем числе выпускников (Y<sub>5</sub>).

	X <sub>2</sub>	X <sub>32</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>33</sub>	X <sub>34</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>18</sub>	X <sub>30</sub>
X <sub>2</sub>	1.00	0.96	0.93	0.95	0.46	0.44	0.52	-0.71
X <sub>32</sub>	0.96	1.00	0.84	0.90	0.46	0.26	0.37	-0.63
X <sub>5</sub>	0.93	0.84	1.00	0.98	0.41	0.61	0.69	-0.71
X <sub>33</sub>	0.95	0.90	0.98	1.00	0.49	0.54	0.64	-0.69
X <sub>34</sub>	0.46	0.46	0.41	0.49	1.00	0.53	0.55	-0.45
X <sub>17</sub>	0.44	0.26	0.61	0.54	0.53	1.00	0.96	-0.64
X <sub>18</sub>	0.52	0.37	0.69	0.64	0.55	0.96	1.00	-0.58
X <sub>30</sub>	-0.71	-0.63	-0.71	-0.70	-0.45	-0.64	-0.58	1.00

## Приложение 5

Таблица П5.1. Результаты расчета координат стационарной точки (2.11) при различных значениях  $m_{t-5}$  и  $s_{t-6}$ .

Входные значения		Координаты стац. точки (2.11)		Входные значения		Координаты стац. точки (2.11)	
$m_{t-5}$	$s_{t-6}$	ge	gs	$m_{t-5}$	$s_{t-6}$	ge	gs
0	0	18,483	55,379	-10	4	12,747	61,792
6,7	6,1	21,730	52,923	-10	8	12,468	62,637
-10	-10	13,721	58,835	-10	-5	13,373	59,891
4	4	20,387	53,997	4	0	20,666	53,152
8	8	22,292	52,614	4	6,1	20,240	54,443
-5	-5	16,102	57,107	4	-10	21,362	51,039
0	6,1	18,057	56,671	4	8	20,109	54,842
0	-10	19,179	53,267	4	-5	21,014	52,096
0	4	18,204	56,224	8	0	22,849	50,924
0	8	17,926	57,069	8	6,1	22,423	52,216
0	-5	18,831	54,323	8	-10	23,545	48,812
6,7	0	22,156	51,631	8	4	22,570	51,769
6,7	-10	22,852	49,519	8	-5	23,197	49,868
6,7	4	21,878	52,476	-5	0	15,754	58,163
6,7	8	21,599	53,321	-5	6,1	15,328	59,455
6,7	-5	22,504	50,575	-5	-10	16,450	56,051
-10	0	13,025	60,947	-5	4	15,475	59,008
-10	6,1	12,599	62,239	-5	8	15,197	59,853

## Приложение 6

Таблица П6.1. Оценки показателей спроса, предложения и степени сбалансированности спроса и предложения труда ИТС в 2020-2024 гг., сценарий 1.

	$ET_t$	$DET_t$	$SGE_t$	$SGE_t / DET_t$
2020	6433	280,0	300,0	1,1
2021	6555	334,5	316,9	0,9
2022	6706	367,1	330,5	0,9
2023	6874	388,9	339,0	0,9
2024	7045	398,7	343,5	0,9

Таблица П6.2. Оценки показателей спроса, предложения и степени сбалансированности спроса и предложения труда ИТС в 2020-2024 гг., сценарий 2.

	$ET_t$	$DET_t$	$SGE_t$	$SGE_t / DET_t$
2020	6490	319,1	300,0	0,9
2021	6692	415,4	316,9	0,8
2022	6906	435,0	330,5	0,8
2023	7134	455,8	339,0	0,7
2024	7369	470,8	343,5	0,7

Таблица П6.3. Оценки показателей спроса, предложения и степени сбалансированности спроса и предложения труда ИТС в 2020-2024 гг., сценарий 3.

	$ET_t$	$DET_t$	$SGE_t$	$SGE_t / DET_t$
2020	6510	338,2	300,0	0,9
2021	6711	416,6	316,9	0,8
2022	6926	436,2	330,5	0,8
2023	7155	457,1	339,0	0,7
2024	7391	472,2	343,5	0,7

## Приложение 7

Таблица П7.1. Результаты решения оптимизационной задачи 1 при начальном условии  $aim_t = 0,13$ .

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Доля инвестиций в ОФ в ВВП, % ( $a*100\%$ )	19,3	20,1	21,8	23,6	25,6	27,7	30,0
Темп прироста инвестиций в ОФ в экономике, % ( $\Delta I_t/I_{t-1}$ )	6,2	6,3	6,7	7,2	7,6	8,1	8,6
Темп прироста ВВП, % ( $\Delta Y_t/Y_{t-1}$ )	2,1	2,3	2,7	3,1	3,6	4,1	4,6
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aim_t*100\%$ )	13,0	13,6	14,8	16,2	17,7	19,3	21,0
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aiq_t*100\%$ )	19,0	18,7	18,1	17,6	17,0	16,5	16,0
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aid_t*100\%$ )	7,0	6,8	6,4	6,0	5,7	5,3	5,0
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности ( $I_i/Y_i$ ), %	10,8	11,2	12,2	13,3	14,5	15,8	17,3
Темп прироста инвестиций в ОФ промышленности, % ( $\Delta I_i/I_{i-1}$ )	6,0	6,5	7,1	7,8	8,4	9,2	9,9
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестициях в ОФ экономики ( $I_i/I_t$ ), %	39,0	39,1	39,3	39,8	40,3	41,1	42,0

Темп прироста выпуска промышленности, % ( $\Delta Y_i/Y_{i-1}$ )	2,1	2,5	3,0	3,5	4,1	4,7	5,3
Доля ВДС промышленности в ВВП ( $Y_i/Y_t$ ), %	27,9	28,0	28,1	28,3	28,6	28,9	29,3
Доля численности занятых в промышленности в общей численности занятых в экономике ( $L_i/L_t$ ), %	18,2	18,2	18,2	18,3	18,4	18,6	18,8
Доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и ссузов ( $c_t*100\%$ )	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ( $ET_t/L_t$ )	9,2	9,3	9,5	9,6	9,8	10,1	10,4
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ )	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,49	0,51
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. человек ( $DET_t$ )	279,5	292,8	307,7	342,1	371,3	386,5	
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. человек ( $SGE_t$ )	286,3	314,8	325,7	338,6	363,8	385,5	
Показатель сбалансированности рынка труда ИТС в % от дополнительной потребности в ИТС ( $(DET_t-SGE_t)/DET_t\%$ )	-2,46	-7,53	-5,84	1,02	2,00	0,26	

Таблица П7.2. Результаты решения оптимизационной задачи 1 при начальном условии  $aim_t = 0,17$ .

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Доля инвестиций в ОФ в ВВП, % ( $a*100\%$ )	19,3	20,1	21,8	23,6	25,6	27,7	30,0
Темп прироста инвестиций в ОФ в экономике, % ( $\Delta I_t/I_{t-1}$ )	6,2	6,3	6,8	7,2	7,6	8,1	8,6
Темп прироста ВВП, % ( $\Delta Y_t/Y_{t-1}$ )	2,1	2,3	2,7	3,2	3,6	4,1	4,5
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aim_t*100\%$ )	17,0	17,2	17,7	18,2	18,7	19,2	19,7
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aiq_t*100\%$ )	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aid_t*100\%$ )	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности ( $I_i/Y_i$ ), %	10,8	11,3	12,3	13,4	14,6	15,8	17,2
Темп прироста инвестиций в ОФ промышленности, % ( $\Delta I_i/I_{i-1}$ )	6,0	6,9	7,4	7,9	8,3	8,8	9,3
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестициях в ОФ экономики ( $I_i/I_t$ ), %	39,0	39,2	39,7	40,2	40,7	41,2	41,7
Темп прироста выпуска промышленности, % ( $\Delta Y_i/Y_{i-1}$ )	2,1	2,5	3,0	3,6	4,2	4,7	5,2

Доля ВДС промышленности в ВВП ( $Y_i/Y_t$ ), %	27,9	28,0	28,1	28,3	28,6	29,0	29,3
Доля численности занятых в промышленности в общей численности занятых в экономике ( $L_i/L_t$ ), %	18,2	18,2	18,2	18,3	18,4	18,6	18,8
Доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и ссузов ( $c_t*100\%$ )	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ( $ET_i/L_t$ )	9,2	9,3	9,5	9,6	9,9	10,1	10,4
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ )	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,49	0,51
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. человек ( $DET_t$ )		279,9	294,0	309,3	343,7	371,9	384,8
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. человек ( $SGE_t$ )		286,3	314,8	325,7	338,7	363,9	385,6
Показатель сбалансированности рынка труда ИТС в % от дополнительной потребности в ИТС ( $(DET_t-SGE_t)/DET_t\%$ )		-2,28	-7,08	-5,29	1,47	2,13	-0,20



Таблица П7.3. Результаты решения оптимизационной задачи 1 при начальном условии  $aim_t = 0,21$ .

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Доля инвестиций в ОФ в ВВП, % ( $a*100\%$ )	19,3	20,1	21,8	23,6	25,6	27,7	30,0
Темп прироста инвестиций в ОФ в экономике, % ( $\Delta I_t/I_{t-1}$ )	6,2	6,5	6,9	7,3	7,7	8,1	8,5
Темп прироста ВВП, % ( $\Delta Y_t/Y_{t-1}$ )	2,3	2,5	2,9	3,3	3,7	4,1	4,4
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aim_t*100\%$ )	21,0	21,0	21,1	21,2	21,3	21,4	21,5
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aiq_t*100\%$ )	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aid_t*100\%$ )	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности ( $I_i/Y_i$ ), %	11,3	11,8	12,7	13,7	14,8	15,8	17,0
Темп прироста инвестиций в ОФ промышленности, % ( $\Delta I_i/I_{i-1}$ )	11,4	6,6	7,1	7,5	7,8	8,2	8,6
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестициях в ОФ экономики ( $I_i/I_t$ ), %	41,0	41,0	41,1	41,2	41,3	41,4	41,5
Темп прироста выпуска промышленности, % ( $\Delta Y_i/Y_{i-1}$ )	2,5	2,8	3,3	3,7	4,3	4,7	5,1

Доля ВДС промышленности в ВВП ( $Y_i/Y_t$ ), %	28,0	28,0	28,2	28,5	28,8	29,1	29,5
Доля численности занятых в промышленности в общей численности занятых в экономике ( $L_i/L_t$ ), %	18,2	18,2	18,2	18,3	18,4	18,6	18,9
Доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и ссузов ( $c_t*100\%$ )	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8	61,8
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ( $ET_i/L_t$ )	9,2	9,3	9,5	9,7	9,9	10,1	10,4
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ )	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,49	0,51
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. человек ( $DET_t$ )		285,5	298,8	314,3	346,6	372,4	383,2
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. человек ( $SGE_t$ )		286,3	314,8	325,9	339,0	364,2	385,8
Показатель сбалансированности рынка труда ИТС в % от дополнительной потребности в ИТС ( $(DET_t-SGE_t)/DET_t\%$ )		-0,30	-5,37	-3,70	2,17	2,20	-0,68

Таблица П7.4. Результаты решения оптимизационной задачи 2 при начальном условии  $aim_t = 0,13$ .

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Доля инвестиций в ОФ в ВВП, % ( $a*100\%$ )	19,3	20,1	21,8	23,6	25,6	27,7	30,0
Темп прироста инвестиций в ОФ в экономике, % ( $\Delta I_t/I_{t-1}$ )	6,2	6,3	6,9	7,5	8,1	8,8	9,5
Темп прироста ВВП, % ( $\Delta Y_t/Y_{t-1}$ )	2,1	2,4	2,9	3,5	4,2	4,9	5,5
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aim_t*100\%$ )	13,0	13,8	15,4	17,3	19,4	21,7	24,3
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aiq_t*100\%$ )	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aid_t*100\%$ )	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности ( $I_i/Y_i$ ), %	10,8	11,4	12,8	14,4	16,2	18,1	20,3
Темп прироста инвестиций в ОФ промышленности, % ( $\Delta I_i/I_{i-1}$ )	6,0	8,3	9,1	9,9	10,7	11,6	12,5
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестициях в ОФ экономики ( $I_i/I_t$ ), %	39,0	39,8	41,4	43,3	45,4	47,7	50,3
Темп прироста выпуска промышленности, % ( $\Delta Y_i/Y_{i-1}$ )	2,1	2,6	3,3	4,1	5,0	5,9	6,7

Доля ВДС промышленности в ВВП ( $Y_i/Y_t$ ), %	27,9	28,0	28,2	28,5	28,9	29,4	30,1
Доля численности занятых в промышленности в общей численности занятых в экономике ( $L_i/L_t$ ), %	18,2	18,2	18,2	18,3	18,4	18,7	19,0
Доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и ссузов ( $c_t*100\%$ )	61,8	62,1	62,7	63,3	63,9	64,6	65,2
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ( $ET_i/L_t$ )	9,2	9,3	9,5	9,7	10,0	10,2	10,6
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ )	0,43	0,44	0,45	0,46	0,48	0,50	0,53
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. человек ( $DET_t$ )		281,6	301,0	323,0	350,9	381,1	408,2
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. человек ( $SGE_t$ )		287,8	319,6	333,9	350,9	381,1	408,2
Показатель сбалансированности рынка труда ИТС в % от дополнительной потребности в ИТС ( $(DET_t-SGE_t)/DET_t\%$ )		-2,20	-6,18	-3,38	0,00	0,00	0,00

Таблица П7.5. Результаты решения оптимизационной задачи 2 при начальном условии  $aim_t = 0,17$ .

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Доля инвестиций в ОФ в ВВП, % ( $a*100\%$ )	19,3	20,1	21,8	23,6	25,6	27,7	30,0
Темп прироста инвестиций в ОФ в экономике, % ( $\Delta I_t/I_{t-1}$ )	6,2	6,3	7,0	7,6	8,3	9,1	9,8
Темп прироста ВВП, % ( $\Delta Y_t/Y_{t-1}$ )	2,1	2,4	3,0	3,7	4,4	5,2	5,9
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aim_t*100\%$ )	17,0	18,0	20,2	22,6	25,3	28,3	31,7
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aiq_t*100\%$ )	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aid_t*100\%$ )	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности ( $I_i/Y_i$ ), %	10,8	11,5	13,1	14,8	16,8	19,0	21,5
Темп прироста инвестиций в ОФ промышленности, % ( $\Delta I_i/I_{i-1}$ )	6,0	9,0	9,8	10,7	11,6	12,6	13,5
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестициях в ОФ экономики ( $I_i/I_t$ ), %	39,0	40,0	42,1	44,6	47,3	50,3	53,7
Темп прироста выпуска промышленности, % ( $\Delta Y_i/Y_{i-1}$ )	2,1	2,6	3,5	4,4	5,3	6,3	7,2

Доля ВДС промышленности в ВВП ( $Y_i/Y_t$ ), %	27,9	28,0	28,2	28,5	29,0	29,6	30,4
Доля численности занятых в промышленности в общей численности занятых в экономике ( $L_i/L_t$ ), %	18,2	18,2	18,2	18,3	18,5	18,7	19,0
Доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и ссузов ( $c_t*100\%$ )	61,8	62,1	62,7	63,3	63,9	64,6	65,2
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ( $ET_i/L_t$ )	9,2	9,3	9,5	9,7	10,0	10,2	10,6
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ )	0,43	0,44	0,45	0,46	0,48	0,50	0,53
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. человек ( $DET_t$ )		282,3	301,0	323,0	350,9	381,3	408,6
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. человек ( $SGE_t$ )		287,8	319,6	333,9	350,9	381,3	408,6
Показатель сбалансированности рынка труда ИТС в % от дополнительной потребности в ИТС ( $(DET_t-SGE_t)/DET_t\%$ )		-1,94	-6,18	-3,38	0,00	0,00	0,00

Таблица П7.6. Результаты решения оптимизационной задачи 2 при начальном условии  $aim_t = 0,21$ .

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Доля инвестиций в ОФ в ВВП, % ( $a*100\%$ )	19,3	20,1	21,8	23,6	25,6	27,7	30,0
Темп прироста инвестиций в ОФ в экономике, % ( $\Delta I_t/I_{t-1}$ )	6,2	6,5	7,2	8,0	8,7	9,5	10,3
Темп прироста ВВП, % ( $\Delta Y_t/Y_{t-1}$ )	2,3	2,7	3,3	4,0	4,8	5,6	6,4
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aim_t*100\%$ )	21,0	22,2	24,9	27,9	31,2	35,0	39,2
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aiq_t*100\%$ )	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aid_t*100\%$ )	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности ( $I_i/Y_i$ ), %	11,3	12,1	13,9	15,8	18,0	20,5	23,3
Темп прироста инвестиций в ОФ промышленности, % ( $\Delta I_i/I_{i-1}$ )	11,4	9,7	10,6	11,5	12,5	13,5	14,5
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестициях в ОФ экономики ( $I_i/I_t$ ), %	41,0	42,2	44,9	47,9	51,2	55,0	59,2
Темп прироста выпуска промышленности, % ( $\Delta Y_i/Y_{i-1}$ )	2,5	3,0	3,9	4,9	5,9	7,0	7,9

Доля ВДС промышленности в ВВП ( $Y_i/Y_t$ ), %	28,0	28,1	28,3	28,8	29,4	30,1	31,0
Доля численности занятых в промышленности в общей численности занятых в экономике ( $L_i/L_t$ ), %	18,2	18,2	18,2	18,3	18,5	18,8	19,1
Доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и ссузов ( $c_t*100\%$ )	61,8	62,1	62,7	63,3	63,9	64,6	65,2
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ( $ET_i/L_t$ )	9,2	9,3	9,5	9,7	10,0	10,2	10,6
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ )	0,43	0,44	0,45	0,46	0,48	0,50	0,53
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. человек ( $DET_t$ )		289,1	301,0	324,1	351,4	382,0	409,5
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. человек ( $SGE_t$ )		287,8	319,6	334,1	351,4	382,0	409,5
Показатель сбалансированности рынка труда ИТС в % от дополнительной потребности в ИТС ( $(DET_t-SGE_t)/DET_t\%$ )		0,46	-6,18	-3,07	0,00	0,00	0,00



Таблица П7.7. Результаты решения оптимизационной задачи 3 при начальном условии  $aim_t = 0,13$ .

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Доля инвестиций в ОФ в ВВП, % ( $a*100\%$ )	19,3	20,1	21,8	23,6	25,6	27,7	30,0
Темп прироста инвестиций в ОФ в экономике, % ( $\Delta I_t/I_{t-1}$ )	6,2	6,3	6,8	7,4	7,9	8,5	9,1
Темп прироста ВВП, % ( $\Delta Y_t/Y_{t-1}$ )	2,1	2,4	2,9	3,4	4,0	4,5	5,1
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aim_t*100\%$ )	13,0	13,5	14,7	16,0	17,3	18,8	20,4
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aiq_t*100\%$ )	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aid_t*100\%$ )	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности ( $I_i/Y_i$ ), %	10,8	11,4	12,6	14,0	15,5	17,1	18,9
Темп прироста инвестиций в ОФ промышленности, % ( $\Delta I_i/I_{i-1}$ )	6,0	7,8	8,4	9,1	9,7	10,4	11,0
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестициях в ОФ экономики ( $I_i/I_t$ ), %	39,0	39,5	40,7	42,0	43,3	44,8	46,4
Темп прироста выпуска промышленности, % ( $\Delta Y_i/Y_{i-1}$ )	2,1	2,6	3,2	3,9	4,7	5,4	6,0

Доля ВДС промышленности в ВВП ( $Y_i/Y_t$ ), %	27,9	28,0	28,2	28,4	28,8	29,2	29,7
Доля численности занятых в промышленности в общей численности занятых в экономике ( $L_i/L_t$ ), %	18,2	18,2	18,2	18,3	18,4	18,6	18,9
Доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и ссузов ( $c_i*100\%$ )	61,8	63,3	66,5	69,9	73,4	77,1	80,0
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ( $ET_i/L_t$ )	9,2	9,3	9,7	10,2	10,5	10,8	11,4
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ )	0,43	0,44	0,47	0,50	0,52	0,55	0,59
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. человек ( $DET_t$ )		280,9	384,3	420,7	402,6	454,7	506,4
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. человек ( $SGE_t$ )		293,5	339,0	368,4	402,6	454,7	506,4
Показатель сбалансированности рынка труда ИТС в % от дополнительной потребности в ИТС ( $(DET_t-SGE_t)/DET_t\%$ )		-4,47	11,78	12,43	0,00	0,00	0,00

Таблица П7.8. Результаты решения оптимизационной задачи 3 при начальном условии  $aim_t = 0,17$ .

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Доля инвестиций в ОФ в ВВП, % ( $a*100\%$ )	19,3	20,1	21,8	23,6	25,6	27,7	30,0
Темп прироста инвестиций в ОФ в экономике, % ( $\Delta I_t/I_{t-1}$ )	6,2	6,3	6,9	7,5	8,1	8,7	9,3
Темп прироста ВВП, % ( $\Delta Y_t/Y_{t-1}$ )	2,1	2,4	2,9	3,5	4,1	4,7	5,3
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aim_t*100\%$ )	17,0	17,7	19,2	20,9	22,7	24,7	26,8
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aiq_t*100\%$ )	16,0	16,0	16,0	16,0	16,1	16,1	16,1
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aid_t*100\%$ )	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности ( $I_i/Y_i$ ), %	10,8	11,4	12,8	14,3	16,0	17,8	19,8
Темп прироста инвестиций в ОФ промышленности, % ( $\Delta I_i/I_{i-1}$ )	6,0	8,3	9,0	9,7	10,4	11,1	11,8
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестициях в ОФ экономики ( $I_i/I_t$ ), %	39,0	39,7	41,3	42,9	44,8	46,7	48,9
Темп прироста выпуска промышленности, % ( $\Delta Y_i/Y_{i-1}$ )	2,1	2,6	3,3	4,1	4,9	5,7	6,4

Доля ВДС промышленности в ВВП ( $Y_i/Y_t$ ), %	27,9	28,0	28,2	28,5	28,9	29,4	30,0
Доля численности занятых в промышленности в общей численности занятых в экономике ( $L_i/L_t$ ), %	18,2	18,2	18,2	18,3	18,4	18,7	18,9
Доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и ссузов ( $c_i*100\%$ )	61,8	63,3	66,5	69,9	73,4	77,1	80,0
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ( $ET_i/L_t$ )	9,2	9,3	9,7	10,2	10,4	10,8	11,4
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ )	0,43	0,44	0,47	0,50	0,52	0,55	0,59
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. человек ( $DET_t$ )		281,5	384,3	420,7	402,7	454,9	506,8
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. человек ( $SGE_t$ )		293,5	339,0	368,4	402,7	454,9	506,8
Показатель сбалансированности рынка труда ИТС в % от дополнительной потребности в ИТС ( $(DET_t-SGE_t)/DET_t\%$ )		-4,3	11,8	12,4	0,0	0,0	0,0

Таблица П7.9. Результаты решения оптимизационной задачи 3 при начальном условии  $aim_t = 0,21$ .

	2019	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Доля инвестиций в ОФ в ВВП, % ( $a*100\%$ )	19,3	20,1	21,8	23,6	25,6	27,7	30,0
Темп прироста инвестиций в ОФ в экономике, % ( $\Delta I_t/I_{t-1}$ )	6,2	6,5	7,2	7,8	8,4	9,1	9,7
Темп прироста ВВП, % ( $\Delta Y_t/Y_{t-1}$ )	2,3	2,6	3,2	3,8	4,5	5,1	5,8
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aim_t*100\%$ )	21,0	21,9	23,8	25,9	28,1	30,5	33,2
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aiq_t*100\%$ )	15,0	15,0	15,0	15,0	15,1	15,1	15,1
Доля инвестиций в ОФ обрабатывающей промышленности в инвестициях в ОФ экономики, % ( $aid_t*100\%$ )	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Доля инвестиций в ОФ в промышленности в выпуске промышленности ( $I_i/Y_i$ ), %	11,3	12,0	13,5	15,2	17,0	19,0	21,2
Темп прироста инвестиций в ОФ промышленности, % ( $\Delta I_i/I_{i-1}$ )	11,4	8,9	9,6	10,3	11,1	11,9	12,6
Доля инвестиций в ОФ промышленности в инвестиции в ОФ экономики ( $I_i/I_t$ ), %	41,0	41,9	43,8	45,9	48,2	50,6	53,3
Темп прироста выпуска промышленности, % ( $\Delta Y_i/Y_{i-1}$ )	2,5	3,0	3,7	4,5	5,4	6,3	7,0

Доля ВДС промышленности в ВВП ( $Y_i/Y_t$ ), %	28,0	28,0	28,3	28,7	29,2	29,8	30,5
Доля численности занятых в промышленности в общей численности занятых в экономике ( $L_i/L_t$ ), %	18,2	18,2	18,2	18,3	18,5	18,7	19,1
Доля молодых специалистов, продолжающих работать по специальности после выпуска из вузов и ссузов ( $c_i*100\%$ )	61,8	63,3	66,5	69,9	73,4	77,1	80,0
Доля численности занятых ИТС в общей численности занятых, % ( $ET_i/L_t$ )	9,2	9,3	9,7	10,2	10,4	10,8	11,4
Отношение средней заработной платы в промышленности к средней заработной плате в финансовой деятельности ( $w_t$ )	0,43	0,44	0,47	0,50	0,52	0,55	0,59
Дополнительная потребность в ИТС, тыс. человек ( $DET_t$ )		288,1	384,3	421,8	403,2	455,6	507,7
Выпуск ИТС с учетом оттока кадров из специальности, тыс. человек ( $SGE_t$ )		293,5	339,0	368,6	403,2	455,6	507,7
Показатель сбалансированности рынка труда ИТС в % от дополнительной потребности в ИТС ( $(DET_t-SGE_t)/DET_t\%$ )		-1,87	11,78	12,60	0,00	0,00	0,00