

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Ижевский государственный технический университет
имени М.Т. Калашникова»

На правах рукописи



БАВИЛОВА ДАЙАНА ДАМИРОВНА

**МЕТОДИКА, МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА
ДИНАМИКИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА**

Научная специальность 05.13.10

Управление в социальных и экономических системах

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор физ.-мат. наук, профессор
Кетова Каролина Вячеславовна

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	19
1.1 Человеческий капитал как показатель развития экономической системы	19
1.2 Общие принципы моделирования и прогнозирования динамики показателей социально-экономических процессов	22
1.3 Нейросетевые алгоритмы прогнозирования динамики показателей социально-экономических процессов	25
1.4 Критерии оценивания адекватности моделей	28
Выводы	29
ГЛАВА 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА	31
2.1 Моделирование демографической динамики и динамики социальных групп	31
2.2 Анализ динамики структуры населения по уровню образования	41
2.2.1 Математическая модель	41
2.2.2 Исходная статистическая информация и её преобразование	44
2.2.3 Анализ динамики социальных групп по уровню образования	47
2.3 Анализ динамики структуры населения по уровню здоровья	49
2.3.1 Математическая модель	49
2.3.2 Исходная статистическая информация и её преобразование	51
2.3.3 Анализ динамики социальных групп по уровню здоровья	55
2.4 Анализ динамики структуры населения по уровню культуры	58
2.4.1 Математическая модель	58
2.4.2 Исходная статистическая информация и её преобразование	61
2.4.3 Анализ динамики социальных групп по уровню культуры	64
Выводы	70

ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА	71
3.1 Постановка задачи	71
3.2 Нейросетевой алгоритм прогнозирования	76
3.3 Решение задачи прогнозирования инвестиций в составляющие человеческого капитала.....	82
3.4 Методика определения весовых коэффициентов для составляющих человеческого капитала.....	91
Выводы.....	99
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРИМЕРЕ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ	101
4.1 Информационно-аналитическая система анализа и прогноза социально-экономических процессов	101
4.1.1 Структура базы данных цифровой информации	101
4.1.2 Структура аналитической подсистемы	102
4.1.3 Визуализация результатов	104
4.2 Анализ и прогноз динамики человеческого капитала региональной экономической системы	107
4.3 Параметрический анализ и оценка тенденций изменения человеческого капитала социально-экономической системы	119
4.4 Обобщение опыта внедрения результатов диссертационного исследования	125
4.4.1 Внедрение теоретических и практических результатов исследований в учебный процесс	125
4.4.2 Использование результатов диссертационной работы в научном процессе.....	127
4.4.3 Внедрение результатов исследований в рабочий процесс разработки программы социально-экономического развития территорий	129
Выводы.....	132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	134

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	136
Приложение А. Акт о внедрении результатов диссертационного исследования в учебный процесс.....	150
Приложение Б. Справка об использовании результатов диссертационного исследования в научном процессе.....	151
Приложение В. Акт о внедрении результатов диссертационного исследования в рабочий процесс	152
Приложение Г. Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ	153
Приложение Д. Интерфейс и модули ИАС «Моделирование и прогнозирование показателей социально-экономических процессов региона».....	156

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Обозначения:

H – человеческий капитал;

M – полное множество демографических элементов;

τ – возраст демографического элемента;

t – время;

x_1 – уровень образования демографического элемента;

x_2 – уровень здоровья демографического элемента;

x_3 – уровень культуры демографического элемента;

$\rho(t, \tau)$ – плотность демографических элементов, которая определяет в момент времени t численность населения с возрастом τ ;

$\beta(t, \tau)$ – коэффициент распределения рождений, который определяет долю рожденных в момент времени t в возрасте τ ;

$\mu(t, \tau)$ – коэффициент распределения смертности, задающий долю умирающих в единицу времени t в возрасте τ ;

$l(t, \tau)$ – коэффициент миграционного взаимодействия (разность между долей прибывших и долей выбывших демографических элементов в единицу времени t в возрасте τ);

$a(t, \tau)$ – распределение, задающее долю населения возраста τ , участвующую в общественном производстве в единицу времени t ;

$P(t)$ – общая численность населения (демографических элементов) в единицу времени t ;

$\nu(t, \tau)$ – функция выбытия человеческого капитала демографических элементов в возрасте τ в единицу времени t ;

$s_i(t, \tau)$ – удельные расходы государства в i -ю составляющую человеческого капитала демографических элементов в возрасте τ в единицу времени t ;

S_i – годовые расходы государства в i -ю составляющую человеческого капитала;

$p_i(t, \tau)$ – удельные частные инвестиции в i – ю составляющую человеческого капитала демографических элементов в возрасте τ в единицу времени t ;

P_i – годовые частные инвестиции в i – ю составляющую человеческого капитала;

$h_i(t, \tau)$ – удельная величина i – ой составляющей человеческого капитала демографических элементов в возрасте τ в единицу времени t ;

R^2 – индекс детерминации модели;

F – критерий Фишера;

α – уровень значимости;

r – коэффициент корреляции;

$\bar{\delta}$ – средняя относительная погрешность.

Сокращения:

ЧК – человеческий капитал;

ИНС – искусственная нейронная сеть;

МНК – метод наименьших квадратов;

ЛПР – лицо, принимающее решение;

УР – Удмуртская Республика;

ПФО – Приволжский федеральный округ;

РФ – Российская Федерация;

ИАС – информационно-аналитическая система;

УИС – уголовно-исправительная система;

ОПФ – основные производственные фонды;

ВРП – валовой региональный продукт;

ПФ – производственная функция.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Залогом устойчивого развития страны является максимальная реализация социально-экономических возможностей ее регионов. Стабильный рост показателей состояния региональной экономической системы закладывается при построении стратегии ее развития, в рамках которой определяются оптимальные соотношения объемов финансирования производственной и социальной сфер деятельности. При построении такой стратегии в её основу должны быть положены математически подтвержденные и экономически обоснованные результаты. Соответственно, необходимо иметь инструментарий для оперативного анализа и точного прогноза показателей социально-экономических процессов в регионах.

Актуальность темы также обусловлена процессами цифровизации. Фундаментальным документом, регламентирующим цифровизацию в Российской Федерации, является утвержденная Президентом В.В. Путиным Стратегия развития информационного общества в РФ на 2017-2030 гг. Особое внимание процессам цифровизации свидетельствует о ключевой роли государства как инициатора и регулятора цифровой трансформации. Применение цифровых технологий позволяет усилить системный подход к реализации и мониторингу национальных проектов, направленных на социально-экономическое развитие территорий, таких как «Цифровая экономика», «Демография» и «Здоровье».

Если производственная сфера деятельности характеризуется величиной и структурой производственного капитала, методология оценки и расчета которого хорошо известна, то для оценки социальной сферы в последнее время все чаще применяется такой показатель, как человеческий капитал (ЧК) [1–6]. В настоящее время ЧК как объект инвестиций должен рассматриваться в не меньшей степени, чем материально-технический фактор, поскольку он становится существенным ресурсом, обеспечивающим повышение эффективности функционирования современной экономики.

Показатели социально-экономических процессов тесно взаимосвязаны. В частности, демографические процессы в обществе влияют на экономические. При этом прогнозирование социально-экономических показателей является актуальной задачей, важность которой определяется необходимостью выявления тенденций развития данных показателей в будущем с целью упреждения либо сглаживания негативных последствий для развития экономики.

Для повышения точности и предсказуемости прогнозов динамики социально-экономических процессов большое значение приобретает оперативность и адаптивность их построения. В этой связи актуальной задачей является построение информационно-аналитической системы анализа и прогноза социально-экономических процессов, использующей адаптивные алгоритмы моделирования и прогнозирования, которые обладают способностью дифференцировать информационную ценность различных членов временных рядов и на этой основе улучшать прогнозные оценки показателей. Применение математического инструментария адаптивного прогнозирования позволяет своевременно корректировать программу стратегического развития, а также осуществлять построение более точных сценариев развития региональных экономик.

Степень разработанности тематики. Активное исследование показателей, отражающих социально-экономические процессы в обществе, начинается в XVIII-XIX вв.: большой вклад в их моделирование внесли О. Курно [7], У. Джевонс [8], Л. Вальрас [9], А. Маршал [10], И. Фишер [11], др. В начале XX в. развиваются теории применения динамических моделей к анализу экономических процессов (Я. Тинберген [12], Р. Фриш [13], Т. Купманс [14], др.). В отечественной науке в это время формируются теоретические подходы к решению задач моделирования социально-экономических показателей (М.И. Туган-Барановский [15], Н.Д. Кондратьев [16], А.Н. Ковалевский [17], др.).

В XX веке исследования социально-экономических показателей привели к утверждению, что основным фактором благосостояния экономики является человек [18, 19]. Начиная с середины XX века получает развитие современная теория человеческого капитала. Оценка ЧК находит отражение в работах аме-

риканских ученых-экономистов Т. Шульца [20], Дж. Минсера [21], С. Кузнеца [22], Г. Беккера [23], Дж. Кендрика [24], Л. Туроу [25], Д. Йоргенсона [26]. Также значительный вклад в развитие теории человеческого капитала внесли М. Блауг [27], Р. Лукас [28], М. Перлмен [29], Б. Фраумени [30] и др. Среди отечественных исследователей проблем оценки ЧК можно отметить М.М. Критского [31], С.А. Дятлова [32], А.В. Корицкого [33], С.А. Курганского [34], Р.И. Капелюшникова [35], М.Ю. Романовского [36]. Общепринятой количественной методики оценки величины человеческого капитала в настоящее время не существует.

Имеется достаточное число работ, посвященных разработке программных продуктов для моделирования и анализа показателей социально-экономических процессов, включающих понятие человеческий капитал.

Из зарубежных исследований можно выделить работы [37-41]. В частности, в [37] реализована методика автоматизированной оценки величины ЧК на уровне организации, в основу расчета которой заложены прямые и косвенные расходы на сотрудников. Программный продукт [2] используется для анализа и прогноза инвестиций, направляемых в человеческий капитал организации. Патент [3] раскрывает метод оценки текущей стоимости человеческого капитала сотрудника организации на основе модели, учитывающей данные о его продвижении по службе, возрасте, размере заработной платы и её изменении. Программный продукт [4] содержит методы построения эвристических прогнозов временных рядов. Патент [5] представляет систему построения прогнозов различных индикаторов из многомерной базы данных, при этом описание используемых математических алгоритмов и прогнозируемых индикаторов в патенте не представлено.

Среди отечественных разработок программных продуктов для решения задач анализа и прогноза социально-экономических показателей можно выделить работы [42-46]. Существует программа анализа динамики основных макроэкономических индикаторов [42], которая основана на моделях векторной авторегрессии и нейронной сети, однако в ней не рассматриваются показатели де-

мографических процессов. Учет демографических процессов осуществлен в программе прогнозирования показателей развития региона [43], при этом не рассматривается человеческий капитал населения. Аналитическая система [44] содержит информацию о социально-экономических и финансовых показателях текущей ситуации в Воронежской области; в ее атрибутивных таблицах содержатся результаты статистической обработки показателей.

В [9] реализовано прогнозирование временных рядов макроэкономических процессов, осуществляется отбор регрессионных моделей по выделенным пользователем окнам данных и ретроспективное тестирование моделей при различных параметрах. Система [10] используется для прогноза модельных значений показателя по его известным значениям в прошлом на основе искусственной нейронной сети. Данная система включает способ шифрования данных, создания продленных рядов метаданных, подсистему обучения ИНС, способ построения прогноза с помощью ИНС, прошедшей процедуру обучения.

Патентный поиск отечественных и зарубежных программных продуктов показал, что существует необходимость разработки ИАС с точки зрения комплексного подхода к изучению социально-экономических показателей региона, включая количественную оценку человеческого капитала.

Представленная в работе ИАС позволяет выполнять комплексное исследование показателей социально-экономических процессов с применением современных технологий математического моделирования, методов машинного обучения и вычислительного эксперимента. При этом в отличие от рассмотренного выше программного обеспечения, разработанная в рамках диссертационной работы информационно-аналитическая система позволяет прогнозировать не только основные макроэкономические показатели, но рассчитывать новые социально-экономические показатели на уровне региона, которые ранее не моделировались: структуру населения, человеческий капитал (удельный и совокупный для экономической системы в целом), индексы образования, здоровья, культуры и др. Кроме того, построение прогнозов показателей социально-

экономических процессов происходит в автоматическом адаптивном режиме с учетом вновь поступающей информации.

Объектом исследования в настоящей диссертационной работе является математический и инструментальный аппарат описания динамики человеческого капитала и показателей социально-экономических процессов.

Предмет исследования: анализ и прогноз динамики человеческого капитала с использованием методов машинного обучения.

Цель диссертационной работы: разработка математического аппарата и программного обеспечения для решения задач анализа и прогноза динамики человеческого капитала.

В ходе работы решались следующие научные и практические **задачи:**

1. Построение методики и математических моделей оценки и прогноза величины человеческого капитала.

2. Разработка алгоритма прогнозирования количественных и качественных составляющих человеческого капитала.

3. Проектирование и наполнение базы данных показателей социально-экономических процессов в регионе, на основе которых производится цифровая обработка и визуальное представление информации.

4. Создание информационно-аналитической системы анализа и прогноза показателей социально-экономических процессов, включая человеческий капитал населения.

5. Проведение параметрических исследований показателей социально-экономических процессов, определяющих величину человеческого капитала.

Территориальные рамки исследования: один из регионов Российской Федерации – Удмуртская Республика (УР), а также регионы Приволжского федерального округа (ПФО).

Хронологические рамки исследования: статистический материал, который в зависимости от наличия и полноты информации варьируется в диапазоне от 2000 до 2020 года с временным интервалом 1 год.

Источниками данных для исследования послужили статистические данные по демографическим и экономическим разделам официальных сайтов: Федеральной службы государственной статистики РФ, Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по УР, Федеральных статистических наблюдений по социально-демографическим проблемам в РФ, министерств РФ и УР, исследований Высшей школы экономики и др.

Методика работы основана на использовании общенаучных методов исследования, методов статистической обработки данных, применении алгоритмов математического моделирования и прогнозирования, методов машинного обучения.

Достоверность и обоснованность полученных результатов. Обоснованность результатов обеспечена применением научной методологии и использованием современных методов математического моделирования и прогнозирования, достоверность методов – исследованием их сходимости и оценкой точности. В практических расчетах использованы статистические данные по Удмуртской Республике.

Область исследования диссертационной работы соответствует указанному в паспорте специальности 05.13.10 «Управление в социальных и экономических системах» (технические науки) пунктам: п. 5 «Разработка специального математического и программного обеспечения систем управления и принятия решений в социальных и экономических системах»; п.7 «Разработка методов идентификации в организационных системах на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации»; п.8 «Разработка методов и алгоритмов анализа и синтеза организационных структур».

Научная новизна работы:

1. Разработана оригинальная математическая модель количественной оценки человеческого капитала, отличающаяся от известных моделей комплексным учетом вклада качественной структуры населения в составляющие человеческого капитала: образование, здоровье и культуру.

2. Впервые реализован вычислительный нейросетевой алгоритм для прогнозирования количественных и качественных составляющих человеческого капитала с учетом влияния факторов внешней среды региональной социально-экономической системы.

3. Создана новая информационно-аналитическая система прогнозирования и параметрических исследований показателей социально-экономической системы, включающая, в отличие от существующих, определение величины и динамики человеческого капитала населения.

4. Впервые выполнено комплексное исследование показателей социально-экономических процессов Удмуртской Республики, позволяющее оценить влияние количественных и качественных характеристик различных групп населения на динамику человеческого капитала. Показано, что основной вклад (более 65 %) в величину человеческого капитала вносит образовательная составляющая.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии математических моделей и алгоритмов оценки количественных и качественных составляющих человеческого капитала населения. Предложена методика оценки и прогноза величины и динамики человеческого капитала с учетом факторов внешней среды социально-экономической системы региона. Созданный математический и инструментальный аппарат предоставляет возможность решения задач прогнозирования динамики показателей социально-экономических процессов, определяющих величину человеческого капитала.

Практическая значимость работы подтверждается результатами внедрения диссертационной работы в деятельность организации АНО «Цифровая экономика Удмуртской Республики» при Правительстве РФ и в научно-образовательный процесс ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова».

Использование разработанных алгоритмов и программного обеспечения позволило АНО «Цифровая экономика Удмуртской Республики» снизить время, затрачиваемое на анализ и построение прогнозов исследуемых показателей

социально-экономического развития региона, в 2-3 раза, а также повысить точность прогнозов: средняя относительная ошибка прогнозирования показателей снизилась до 3-5 %. При этом ИАС «Моделирование и прогнозирование показателей социально-экономических процессов региона» предоставляет возможность определять и рассматривать в динамике новые показатели социально-экономического развития, такие как человеческий капитал населения экономической системы в целом, удельный человеческий капитал, индексы образования, здоровья, культуры и др.

Внедрение результатов диссертационной работы в научно-образовательный процесс ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова» позволило исключить временные затраты обучающихся, связанные с концептуальным и логическим проектированием базы данных, при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ, посвященных решению задач анализа и прогноза социально-экономического развития различных регионов РФ. Кроме того, созданная база данных статистической информации по УР требует только ежегодного дополнения, тем самым сокращает время подготовки исходной информации при решении задач адаптивного прогнозирования социально-экономических показателей.

Реализация результатов. Полученные в ходе диссертационного исследования результаты использованы:

– в учебном процессе кафедры «Прикладная математика и информационные технологии» ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова» при проведении лабораторных и курсовых работ по дисциплинам: «Математическое моделирование», «Эконометрика», «Методы оптимизации и теория оптимального управления» и «Проектирование программного обеспечения», а также при выполнении выпускных квалификационных работ в процессе подготовки бакалавров направления 01.03.04 Прикладная математика по профилю «Применение математических методов и программных средств для решения инженерных и экономических задач» и магистрантов направления 01.04.04 Прикладная математика по программе «Разработка программного обеспечения и математиче-

ских методов решения задач с использованием искусственного интеллекта» (Приложение А);

– в научном процессе при выполнении гранта ИжГТУ имени М.Т. Калашникова №01.04.04/18ККВ от 29.12.2018 г. на 2019-2020 гг. по теме: «Анализ демографических процессов и исследование динамики человеческого капитала региона (на примере Удмуртской Республики)» (Приложение Б);

– в рабочем процессе АНО «Цифровая экономика Удмуртской Республики», финансируемой из средств федерального бюджета в рамках реализации программы «Цифровая экономика РФ» и имеющей своей задачей выполнение проектов, формируемых в министерствах и ведомствах на территории региона. Результаты, полученные на основе ИАС «Моделирование и прогнозирование показателей социально-экономических процессов региона», использованы при выполнении проекта Министерства экономики УР «Разработка прогноза социально-экономического развития Удмуртской Республики на среднесрочный период» (Приложение В).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Методика и математическая модель количественной оценки человеческого капитала, учитывающая влияние временных и возрастных изменений демографической структуры и распределение капиталовложений в ее качественные составляющие: образование, здоровье и культуру.

2. Вычислительный нейросетевой алгоритм прогнозирования количественных и качественных составляющих человеческого капитала, учитывающий влияние факторов внешней среды социально-экономической системы, что повышает точность прогноза: средняя относительная погрешность на участке ретропрогноза снизилась до 3-5%, по сравнению с алгоритмом без показателей внешней среды во входных данных, где погрешность составила 10-14%.

3. Информационно-аналитическая система анализа, прогноза и параметрических исследований показателей социально-экономических процессов, включая величину и динамику человеческого капитала, позволяющая лицу, принимающему решения, существенно сократить время их принятия, вслед-

ствие снижения времени, затрачиваемого на анализ и построение прогнозов исследуемых показателей в 2-3 раза.

4. Результаты комплексного исследования показателей социально-экономических процессов Удмуртской Республики, позволяющие оценить влияние количественных и качественных характеристик различных групп населения на динамику человеческого капитала.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на следующих научных конференциях:

1. Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Математические методы и модели в исследовании современных проблем экономики» (Уфа, Башкирский государственный университет, ноябрь 2014 г.).

2. VIII Международная конференция «Технические университеты: интеграция с европейскими и мировыми системами образования» (Ижевск, ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, апрель 2019 г.).

3. X international scientific conference «Informatization of society: socio-economic, socio-cultural and international aspects – 2020» (Прага, январь 2020 г.).

4. Международная научно-практическая конференция Евразийского научного объединения «Перспективные направления развития современной науки» (Москва, март 2020 г.).

5. IV Международная научно-техническая конференция «Прикладная математика и информатика: современные исследования в области технических наук» (Тольятти, Тольяттинский государственный университет, апрель 2020 г.).

6. Международная научно-практическая конференция «Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий (Сочи, сентябрь 2020 г.).

7. II International Conference «ICMSIT-II-2021: International Conference on Metrological Support of Innovative Technologies» (Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, март 2021 г.).

8. Полностью работа докладывалась на научном семинаре «Математическое моделирование технических и социально-экономических систем» д.т.н., профессора Русяка И.Г. на кафедре «Прикладная математика и информационные технологии» Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова (Ижевск, сентябрь 2021 г.).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 22 работы, в том числе 2 статьи Web of Science [47, 48], 3 статьи Scopus [49–51], 6 статей в изданиях, рекомендованных ВАК [52–57], 8 статей, размещенных в РИНЦ [58–65], а также получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ [66–68] (Приложение Г).

Личный вклад автора. Математическая постановка задачи оценки и прогнозирования человеческого капитала, а также анализ результатов, полученных в диссертации, осуществлены совместно с научным руководителем. Самостоятельно обработана статистическая информация, разработана информационно-аналитическая система, разработан и реализован алгоритм нейросетевого моделирования и прогнозирования показателей социально-экономических процессов в регионе.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Объем диссертации – 157 страниц, включая 56 рисунков, 25 таблиц и список литературы из 147 наименований.

Во **введении** обосновывается актуальность темы, определены цель и задачи работы, сформулированы научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** проводится обзор математических методов и алгоритмов решения задач моделирования и прогнозирования показателей социально-экономических процессов.

Вторая глава посвящена построению математических моделей анализа структуры населения по уровню образования, здоровья и культуры для изучения характеристик человеческого капитала региона.

В третьей главе представлена математическая модель человеческого капитала, учитывающая демографическую структуру населения и временно-возрастное распределение капиталовложений в его составляющие: образование, здоровье и культуру, а также описан нейросетевой алгоритм прогнозирования количественных и качественных составляющих ЧК с учетом индикаторов направлений социально-экономического развития региона.

Четвертая глава посвящена разработке информационно-аналитической системы «Моделирование и прогнозирование показателей социально-экономических процессов региона». Приведены результаты численных исследований задачи моделирования и прогнозирования показателей социально-экономических процессов на примере статистических данных по Удмуртской Республике и по регионам Приволжского федерального округа. Проведен параметрический анализ возможных сценарных прогнозов развития человеческого капитала при различных комбинациях входящих факторов. Представлено внедрение теоретических и практических результатов диссертационного исследования в учебный, научный и рабочий процесс организаций.

В заключении приводятся основные результаты и выводы по диссертационной работе.

В приложении представлены акты о внедрении и использовании результатов исследования, свидетельства о регистрации программ ЭВМ, интерфейс и основные модули разработанной информационно-аналитической системы.

Благодарности. Автор искренне признателен научному руководителю профессору К.В. Кетовой за постоянное внимание и поддержку в работе, а также коллективу кафедры «Прикладная математика и информационные технологии» ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, возглавляемой профессором И.Г. Русяком, за всестороннюю помощь при проведении исследований и подготовке диссертации.

ГЛАВА 1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1.1 Человеческий капитал как показатель развития экономической системы

В настоящее время общепризнано, что одним из наиболее важных факторов, обеспечивающих развитие региональной социально-экономической системы является человеческий капитал.

Вопрос о смысле и об оценке ЧК стал подниматься, начиная с XVII в. Считается, что впервые это понятие стал обсуждать известный ученый-экономист У. Петти, затем этой темой заинтересовался А. Смит. В дальнейшем, в XIX в., по данному направлению работали Д. Рикардо, А. Маршалл и И. Фишер.

Современная теория ЧК появилась в научной литературе во второй половине XX в. в работах американских ученых-экономистов Т. Шульца, Дж. Минсера, С. Кузнеца и Г. Беккера.

Т. Шульц полагал, что человеческий капитал обладает необходимыми признаками производительного характера, способен накапливаться и воспроизводиться [20].

Дж. Минсер одним из первых предложил модель распределения доходов среди населения, которое объяснялось исключительно на основе различий полученного профессионального обучения [21].

С. Кузнец раскрыл роль ЧК в качестве фактора экономического роста, заявив, что «самым большим капиталом страны являются ее люди с их мастерством, опытом и побуждениями к полезной экономической деятельности» [22].

Г. Беккер определил ЧК на микроуровне как совокупность навыков, знаний и умений работников [23]. Он доказал на обширном статистическом мате-

риале, что образование является фундаментом увеличения доходов и работников, и работодателей, и государства в целом [69].

Таким образом, ЧК накапливается в результате инвестиций в образование и способности людей, эффективную созидательную деятельность в обществе, поддержание здоровья и т.д.

Также к числу исследователей, внесших наибольший вклад в развитие теории ЧК, относятся Дж. Кендрик, Л. Туроу, Д. Йоргенсон, М. Блауг, Р. Лукас, М. Перлмен, Д. Джоргенсон, Б. Фраумени и другие экономисты, социологи и историки.

Дж. Кендрик, развивая теорию Т. Шульца, предложил подход к оценке ЧК, учитывающий помимо расходов, связанных с обучением, альтернативные издержки времени, затрачиваемого учащимися на обучение [24].

Д. Джоргенсон и Б. Фраумени рассматривали количественную оценку ЧК с точки зрения стоимости будущих заработков индивидов за вычетом их расходов на содержание самих себя с учетом вероятностей дожития [30].

Среди современных отечественных исследователей проблем ЧК можно отметить М.М. Критского, С.А. Дятлова, А.В. Корицкого, С.А. Курганского, Р.И. Капелюшникова, С.А. Айвазяна, М.Ю. Романовского и др.

М.М. Критский рассматривал человеческий капитал как потенциал инновационной экономики. Он полагал, что ЧК в рыночных условиях под действием науки и передовых знаний последовательно трансформируется в форму интеллектуального капитала. ЧК он называет «персонификацией единства запасов потребностей и способностей» [31].

С.А. Дятлов [32] и Р.И. Капелюшников [35] под ЧК понимали инвестиционно-накопленный запас знаний, здоровья, мотивации, способностей, пригодных в сфере общественного производства, который генерирует рост производительности труда и доходов.

С.А. Айвазян [70] предложил подход к оценке ЧК по величине потенциального дохода сотрудника, рассчитанного на основе методологии стохастической границы, который позволяет оценить человеческий капитал компании.

Наиболее известной методикой оценки уровня ЧК, разработанный в конце XX в., является индекс человеческого развития стран в рамках Программы Организации объединенных наций [71].

В дальнейшем Организацией экономического сотрудничества и развития была представлена методология измерения человеческого капитала в терминах инвестирования в этот капитал (образование), его выбытия (смертность и миграция) и переоценок под влиянием рыночных факторов [72].

Следует отметить, что оценка ЧК чрезвычайно трудная задача. Построение общей методики его расчета затруднено наличием большой доли субъективных оценок при моделировании этого показателя. Анализ научной литературы показал, что ЧК можно рассматривать, например, как качество жизни, как объем инвестиций, как способность к инновационной деятельности, как стоимость товаров, работ и услуг, которые может произвести работник.

Количественная оценка ЧК населения невозможна без учета демографической составляющей или численного воспроизводства населения. Демографические процессы представляют собой изменение структуры населения определенной территории за счет естественного и миграционного движения. Они непосредственно и косвенно воздействуют на социально-экономическое развитие региона и государства в целом.

Другой важной составляющей ЧК является качественная составляющая. Она имеет многоаспектный характер. Среди этих аспектов будем выделять образование и науку, здравоохранение и спорт, культуру и отдых.

Инвестиции в образование способствуют повышению общего уровня квалификации на региональном рынке труда, открывая наибольшие резервы для повышения эффективности функционирования современной экономики.

Капиталовложения в здравоохранение повышают общий уровень здоровья в обществе, что способствует продлению экономически активной жизни каждого человека и увеличению количества экономически активных людей вследствие снижения уровня смертности.

Вложения в культуру улучшают среду обитания человека, формируют нравственные ценности, повышают творческий потенциал личности, что, безусловно, сказывается на социально-экономическом развитии региона.

Актуальность решения проблемы повышения качества ЧК очевидна. Так, в 2017 г. Правительством РФ была разработана программа [73], направленная на повышение уровня человеческого капитала, включающая совершенствование системы образования, обеспечение экономики компетентными кадрами. Предполагается трансформация рынка труда, который должен опираться на требования цифровой экономики.

Современные подходы к оценке уровня ЧК представлены в докладе 2019 г. коллектива авторов научно-исследовательского университета «Высшая школа экономики», где оценивается влияние составляющих человеческого капитала на экономический рост России [74].

Данное исследование посвящено, в том числе, построению модельного инструментария для решения задач анализа и прогноза качественных составляющих человеческого капитала (образование, здоровье, культура) в неразрывной связи с их демографической количественной составляющей. Для оценки экономической эффективности финансовых вложений в ЧК используется инструментарий математического моделирования. Безусловно, результаты подобного анализа являются существенными для определения экономически обоснованного объема инвестирования в человеческий капитал как основного фактора экономического роста.

1.2 Общие принципы моделирования и прогнозирования динамики показателей социально-экономических процессов

Математические модели, используемые для прогнозирования различных процессов и явлений, можно разделить на две группы по характеру отображаемых свойств: статистические и структурные (см. рисунок 1.1).

В настоящее время к основным математическим методам, с помощью которых осуществляется моделирование и прогнозирование различных процессов и явлений, относят статистические модели регрессионного анализа [48, 75–78], модели адаптивных алгоритмов [79–83] и искусственные нейронные сети [84–89].



Рисунок 1.1 – Математические модели и алгоритмы прогнозирования

Модели регрессионного анализа представляют собой метод моделирования измеряемых данных, у которых каждое значение результирующей переменной зависит от множества независимых переменных. Линейная регрессионная модель имеет вид:

$$y(x) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m + \varepsilon, \quad (1.1)$$

где $y(x)$ – зависимая переменная (результат-фактор регрессионной модели); $\{b_0, b_1, \dots, b_m\}$ – неизвестные параметры модели; $\{x_1, \dots, x_m\}$ – независимые переменные (признак-факторы модели); ε – случайная ошибка модели.

Построение модели (1.1) сводится к оценке ее параметров, где классическим подходом является метод наименьших квадратов (МНК), который позволяет получить такие оценки параметров, при которых сумма квадратов откло-

нений фактических значений результат-фактора (y_i) от теоретических (y_i^{mod} , $i = \overline{1, n}$, где n – количество наблюдений) минимальна:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^{\text{mod}})^2 \rightarrow \min. \quad (1.2)$$

Процедура построения регрессионных моделей состоит из двух этапов: на первом этапе осуществляется выбор независимых переменных, на втором – производится выбор фактор-признаков, влияющих на результативный фактор. Модель с параметрами, доставляющая минимум заданному функционалу качества (1.2), называется моделью оптимальной структуры [75].

На практике изменения в социально-экономических показателях происходят под действием различных факторов, которые в силу их многочисленности, а в некоторых ситуациях и сложности количественного измерения, не позволяют построить адекватную многофакторную регрессионную модель вида (1.1). В этом случае выдвигается предположение, что суммарное влияние факторов приводит к формированию внутренних закономерностей в динамике развития, которое предоставляет возможность использовать трендовую модель анализа [76]. Построение трендовых моделей называют аналитическим выравниванием ряда, поскольку предполагает нахождение аналитической функции зависимости уровней ряда от времени: $y = f(t)$. Численное оценивание параметров трендовых моделей осуществляется МНК.

Моделирование экономических временных рядов путем построения модели трендовой и (или) сезонной составляющих не всегда приводит к удовлетворительным результатам, а ряд остатков часто имеет статистические закономерности. В таком случае используют авторегрессионные модели и скользящего среднего (ARIMA модели [76, 81]), где подразумевается, что текущее значение временного ряда y_t зависит от предыдущих значений $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-p}$, которые выступают в качестве объясняющих переменных, а также учитываются ошибки $\varepsilon, \varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t-q}$:

$$y_t^{\text{mod}} = \xi_0 + \xi_1 \cdot y_{t-1} + \dots + \xi_p \cdot y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \cdot \varepsilon_t - \dots - \theta_q \cdot \varepsilon_{t-q}, \quad (1.3)$$

где p – порядок авторегрессионного процесса $AR(p)$; q – порядок модели скользящего среднего $MA(q)$; $\{\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_p, \theta_1, \dots, \theta_q\}$ – оцениваемые по методу максимального правдоподобия параметры модели [81, 82].

Поскольку при прогнозе наиболее ценной является информация последних периодов, нежели тенденция, которая сложилась в среднем за весь период, то стали приобретать широкое распространение адаптивные методы прогнозирования, которые позволяют учитывать «устаревание» более ранних данных и ценность последних данных. Данные алгоритмы предполагают использование в модели весов, увеличивающих или уменьшающих вклад различных уровней временного ряда [83].

Адаптивностью также обладают нейронные сети, поскольку они способны учитывать ретроспективность данных, адаптируя свои синаптические связи. Рассмотрим более подробно о них в следующем пункте работы.

1.3 Нейросетевые алгоритмы прогнозирования динамики показателей социально-экономических процессов

Нейросетевые алгоритмы широко применяется для решения задач интеллектуального анализа и прогнозирования данных [84–87], классификации и кластеризации [88–92], адаптивного управления и контроля процессами [84, 93, 94].

Как научное направление теория нейронных сетей была обозначена в 1943 г. в работе У. Мак-Каллока и В. Питтса [95]. Среди основополагающих работ также следует выделить модель Д. Хэбба [96], который в 1949 г. предложил первый алгоритм обучения. В 1958 г. Ф. Розенблатт конструирует модель однослойного перцептрона [97].

В 70-х гг. XX в. благодаря исследованиям Т. Кохонена, С. Гроссберга и Д. Андерсона был достроен фундамент, на основе которого стало возможно построение и использование многослойных ИНС [98]. В 1974 г. П. Вербосом для обучения многослойных нейронных сетей разработан базовый алгоритм, кото-

рый нашел широкое применение на практике [99]. Среди исследователей, работающих в области ИНС, можно выделить также М. Минского [100], Дж. Хопфилда [101], С. Хайкина [102], Р. Хехт-Нильсена [103]. Исследования последних лет по формированию алгоритмов нейросетевого моделирования и прогнозирования представлены, например, в работах [89, 94, 104–109].

К преимуществам использования нейросетевых моделей и их модификаций при анализе социально-экономических процессов относится то, что они обладают свойством учитывать влияние неявных факторов и включать в исследование неочевидные математические связи, которые сложно выявить при использовании классических эконометрических моделей [54]. Также ИНС демонстрирует результативность при решении плохо формализованных задач; устойчивость к частым изменениям среды; эффективность при работе с большим объемом противоречивой или неполной информации [90, 106, 109].

К недостаткам применения ИНС можно отнести то, что для эффективного моделирования и прогнозирования необходим некоторый минимум наблюдений (не менее 50-100 наблюдений), а также значительные временные затраты для достижения удовлетворительного результата.

Базовым элементом ИНС является нейрон (рисунок 1.2). У него присутствует m входов и один выход. ИНС – это совокупность нейронов, объединенных в сеть, для решения поставленной задачи. Нейрон работает следующим образом: каждый входной сигнал умножается на некие веса; далее все суммируется и прогоняется через нелинейную активационную функцию (рисунок 1.3), а результат подается на выход. Все нейроны собираются по слоям. ИНС, в которой каждый нейрон передает выходной сигнал всем остальным нейронам, называется полносвязной (рисунок 1.4). На входной слой подается входной сигнал. Между входным и выходным слоями есть некоторое число скрытых слоев, которые выполняют основные вычислительные операции. Полученные таким образом сигналы выходного слоя являются результатами моделирования.

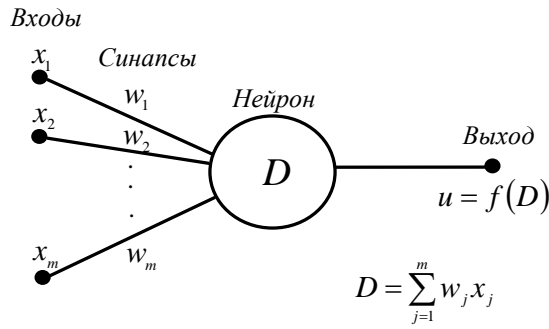


Рисунок 1.2 – Искусственный нейрон

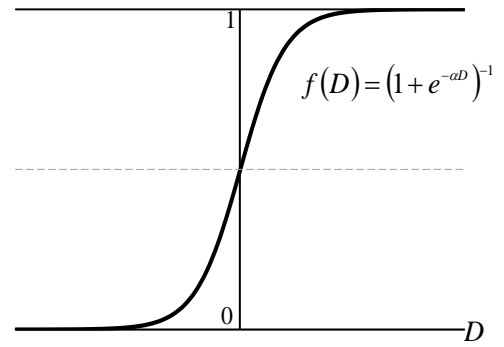


Рисунок 1.3 – Активационная функция

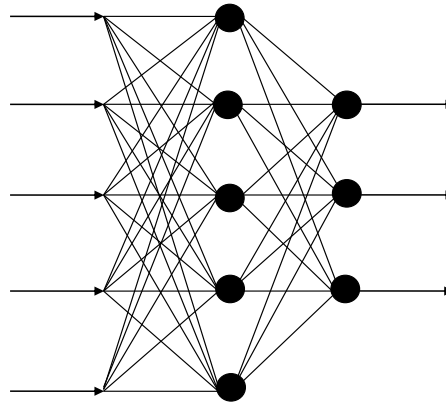


Рисунок 1.4 – Структура многослойной нейронной сети с последовательными связями

Основная задача – обучить нейроны. Обучение заключается в том, чтобы найти правильную весовую информацию, которая корректируется, исходя из анализа погрешности моделирования, определяемой по результатам сравнения значений сигналов, формируемых ИНС, и заданными значениями. Для этого может быть использован алгоритм обратного распространения ошибки [90, 104, 110].

В последние десятилетия широко стали использоваться различные комбинированные модели нейронной сети и генетических алгоритмов. Применение ИНС и генетических алгоритмов оправдано обеспечением более быстрой обучаемости ИНС, параллельной обработкой множества альтернативных решений и др. [111–113].

1.4 Критерии оценивания адекватности моделей

Для оценки адекватности модели прогнозирования исходная база статистических данных разделяется на обучающее Ω^{learn} и тестовое Ω^{test} множества (участок ретропрогноза).

Для оценки качества ретропрогнозов и выбора наилучшей прогнозной модели рассчитывается ряд показателей [53].

1. Индекс корреляции расчетных и статистических значений моделируемого показателя (r):

$$r = \frac{\sum_{t=1}^{N^{test}} (y_t - \bar{y})(y_t^{mod} - \bar{y}^{mod})}{N^{test} S_y S_{y^{mod}}}, \quad (1.4)$$

$$\text{где } S_y = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{N^{test}} (y_t - \bar{y})^2}{N^{test} - 1}}, \quad S_{y^{mod}} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{N^{test}} (y_t^{mod} - \bar{y}^{mod})^2}{N^{test} - 1}}; \quad t \in \Omega^{test};$$

2. Индекс детерминации (R^2):

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^{N^{test}} (y_t^{mod} - \bar{y})^2}{\sum_{t=1}^{N^{test}} (y_t - \bar{y})^2}, \quad (1.5)$$

который показывает долю объясненной дисперсии в общей дисперсии и характеризует качество подгонки модели к совокупности значений y_i . Для определения степени значимости модели используют статистику Фишера F :

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - k}{k - 1}, \quad (1.6)$$

где n – количество наблюдений; k – количество оцениваемых параметров.

Выдвигают основную гипотезу ($H_0 : b_j = 0$) и альтернативную гипотезы ($H_1 : b_j \neq 0$). При выполнении основной гипотезы статистика F имеет распределение Фишера с $(k - 1, n - k)$ –степенями свободы. Величину F сравнивают с

табличным значением $F_{\alpha}(k-1, n-k)$ на уровне значимости α . Если $F < F_{\text{табл}}(k-1, n-k)$, то принимают основную гипотезу о равенстве коэффициентов регрессии нулю. Если $F > F_{\text{табл}}(k-1, n-k)$, то основную гипотезу отвергают в пользу альтернативной о значимости коэффициентов регрессии, следовательно, модель адекватная [82].

3. Средняя относительная погрешность ($\bar{\delta}$):

$$\bar{\delta} = \frac{1}{N^{\text{test}}} \sum_{t=1}^{N^{\text{test}}} \left| \frac{y_t - y_t^{\text{mod}}}{y_t} \right| \cdot 100\% ; t \in \Omega^{\text{test}} . \quad (1.7)$$

Здесь N^{test} – количество элементов в Ω^{test} ; N^{learn} – количество элементов в Ω^{learn} ; y_t^{mod} – значение выходной переменной, рассчитанное по модели; \bar{y}^{mod} – среднее значение выходных переменных, рассчитанных по модели; y_t – заданное значение выходной переменной; \bar{y} – среднее значение заданных выходных переменных.

Выводы

1. Одним из главных показателей, характеризующих развитие экономической системы, является человеческий капитал. Анализ научной литературы показал, что существует множество подходов к определению понятия человеческого капитала и к его оценке (качество жизни, объем инвестиций, способность к инновационной деятельности, стоимость товаров, работ и услуг, которые может произвести работник). Однако в изученных работах не представлена количественная методология оценки, анализа и прогноза человеческого капитала с учетом его качества.

2. Математические методы прогнозирования имеют специфику применения для данных различных типов. Модели регрессионного анализа эффективны в случае выявленных факторов, влияющих на результирующую переменную. Трендовые модели используются при моделировании временных рядов, когда невозможно выделить закономерности в динамике развития процесса от внутренних факторов, предлагая нахождение аналитической функции зависимости

уровней временного ряда от времени. Однако регрессионные модели обладают недостатком: при анализе временных рядов не учитывается ценность уровней ряда, т.е. может быть занижена значимость данных последних лет. Это позволяют учесть адаптивные алгоритмы, в том числе нейронные сети. Важное преимущество при моделировании различных процессов с помощью нейронных сетей состоит в устойчивости получаемых результатов к изменениям входных данных и в результативности при работе с неполной информацией.

ГЛАВА 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА

2.1 Моделирование демографической динамики и динамики социальных групп

Главным объектом исследования в работе является человеческий капитал населения региональной социально-экономической системы. При его оценке предполагается изучение кластеров, формируемых совокупностью демографических элементов.

Рассмотрим формирование кластеров в региональной социально-экономической системе с точки зрения групповой сопричастности по уровню образования, здоровья и культуры населения. Первоначально изучим полное множество демографических элементов [61].

Главной характеристикой полного множества демографических элементов региона является их количество, которое непосредственно зависит от протекающих процессов в социально-экономической системе:

- возникновение элементов в связи с их рождением;
- исчезновением элементов в связи со смертью;
- трансформацией элементов, происходящей с течением времени;
- миграцией элементов между кластерами внутри множества демографических элементов региона;
- обменом элементов между кластерами множества демографических элементов региона и внешней средой (эмиграция и иммиграция).

Пусть M – полное динамическое множество демографических элементов региона. Это множество можно разделить на три вида кластеров:

- кластеры, которые не пересекаются, т.е. элементы одного кластера не могут трансформироваться в элементы другого кластера (рисунок 2.1, а);

– кластеры, которые пересекаются, т.е. элементы одного кластера могут трансформироваться в элементы другого кластера только в одну сторону и осуществляется последовательный переход (рисунок 2.1, б);

– кластеры, которые пересекаются, и элементы одного кластера могут трансформироваться в элементы другого кластера в обе стороны, здесь осуществляется последовательный и параллельный переход (рисунок 2.1, а).

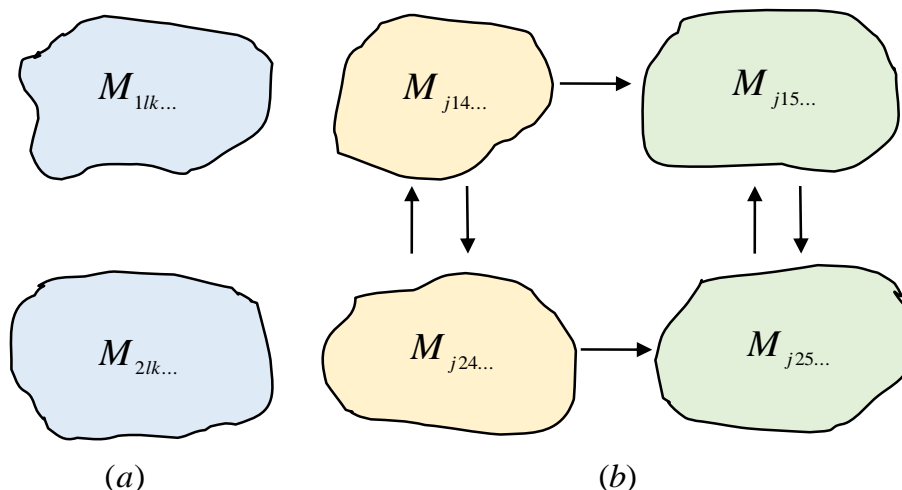


Рисунок 2.1 – Разбиение полного динамического множества демографических элементов M на непересекающиеся во времени (а) и пересекающиеся во времени (б) кластеры

Примерами непересекающихся кластеров, элементы которых не могут трансформироваться друг в друга, являются кластеры, образованные по гендерному признаку (мужчины и женщины) либо по этническому составу.

Примерами второго вида кластеров, элементы которых могут трансформироваться в элементы других кластеров только в одну сторону, являются социальные кластеры, образованные по возрасту (трудоспособное и нетрудоспособное население), состоянию здоровья и уровню образования.

К третьему типу кластеров, которые пересекаются, и элементы одного кластера могут трансформироваться в другой кластер в обе стороны, относятся кластеры, сформированные по типу поселения (городское и сельское), по уровню культуры и отношению к судебной-правовой системе и др.

Очевидно, что иерархия вложенных пересекающихся и непересекающихся кластеров может быть достаточно велика. Она определяется в зависимости от решаемой задачи.

В общем случае полное множество демографических элементов региона имеет вид:

$$M = \{M_{jkl\dots}; j, k, l, \dots \in N\}, \quad (2.1)$$

где комбинация нижних индексов характеризует принадлежность к тому или иному кластеру.

Например, если первый индекс обозначает пол ($j = 1$ – мужской пол, $j = 2$ – женский пол), второй индекс – тип поселения ($k = 1$ – городской тип, $k = 2$ – сельский тип) и третий индекс – возраст ($l = 1$ – дети до года, $l = 2$ – дошкольники, $l = 3$ – школьники, $l = 4$ – трудоспособное население, $l = 5$ – пенсионеры), то кластер M_{123} состоит из мальчиков-школьников, проживающих в сельской местности.

Введем в рассмотрение вектор переменных величин:

$$\Omega = (t, \tau, x_1, x_2, x_3) = (t, \Omega^{N+1}), \quad (2.2)$$

где t – время; τ – возраст; x_1 – уровень образования; x_2 – уровень здоровья; x_3 – уровень культуры. Множество $\Omega^{N+1} = (\tau, x_1, x_2, x_3)$ задает фазовое пространство задачи.

Рассмотрим качественные характеристики демографических элементов (уровень образования x_1 , здоровья x_2 и культуры x_3). В таблице 2.1 представлены градации этих характеристик, в соответствии с которыми осуществляется сбор официальной статистической информации.

Наиболее четкую конкретную градацию имеет уровень образования. Здесь формальным критерием является наличие диплома об образовании. Такой показатель как состояние здоровья также вполне определен, и может быть оценен с точки зрения участия в общественном процессе производства [60].

Таблица 2.1 – Градации признаков демографических элементов социума

Признак	Градация по признаку				
Уровень образования x_1	Имеющий ученую степень	Имеющий высшее образование	Имеющий среднее профессиональное или неполное высшее образование	Имеющий общее образование	Не имеющий образования
Уровень здоровья x_2	Здоровый индивид	Имеющий хронические заболевания	Работающий инвалид (3 группа инвалидности)	Неработающий инвалид (2 группа инвалидности)	Неработающий инвалид (1 группа инвалидности)
Уровень культуры x_3	Не имеющий судимость	Имеющий судимость по преступлению небольшой тяжести	Имеющий судимость по преступлению средней тяжести	Имеющий судимость по тяжким преступлениям	Имеющий судимость по особо тяжким преступлениям

Уровень культуры кажется изначально наименее формализованной характеристикой, но это не так. Сам процесс формирования в индивиде морально-этических норм, представлений о добре и зле, правил поведения в обществе, представления о собственной свободе и свободе окружающих тебя людей, о понимании того, где заканчивается твоя личная свобода и начинается свобода ближнего – все это, в конечном итоге, может быть выражено в юридических отношениях с обществом, в котором существует индивид. Поэтому конечной воплощенной в реальность формой уровня культуры индивида являются его отношения с судебной-правовой системой государства.

Далее, помимо социальной градации с точки зрения факторов «качества» индивидуумов, следует знать демографическую динамику (количественную и возрастную) в региональной социально-экономической системе. Это обусловлено связью принадлежности элементов, входящих в кластеры здоровья, культуры и образования с их возрастом. На рисунке 2.2 для примера представлены возрастные группы демографических элементов, принадлежащих к кластерам, образованным по признаку принадлежности демографических элементов к этапам трудовой деятельности и образования.

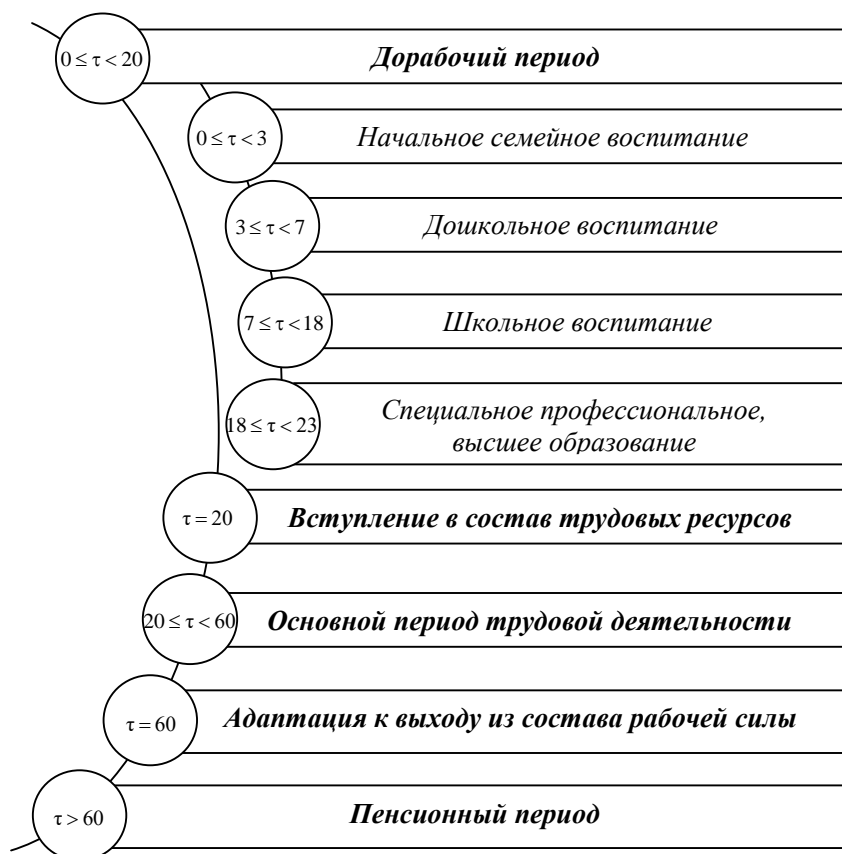


Рисунок 2.2 – Возрастные стадии демографических элементов

Математическое моделирование возрастной динамики демографических элементов в настоящее время осуществляется с использованием двух основных подходов: 1 подход – основан на балансовых матричных уравнениях передвижки возрастных групп населения, где возраст τ и время (год) t рассматриваются как дискретные переменные [114]; 2 подход – использует теорию дифференциальных уравнений и гипотезу сплошности множества элементов с применением принципов механики гетерогенных сред [115] для построения непрерывных моделей демографической динамики. Оба подхода приводят к одинаковым результатам, несмотря на то, что используют разные типы переменных. Согласование подходов осуществляется за счет построения непрерывных интерполяционных полиномов на дискретном множестве значений функций, входящих в модель [69].

Согласно 2-му подходу, для моделирования возрастной динамики демографических элементов рассмотрим временно-возрастную плоскость (t, τ) , где каждому элементарному участку $d\tau$ возрастной оси τ поставим в соответствие определенное количество демографических элементов m полного множества

демографических элементов M региона или определенное количество демографических элементов m любого из кластеров множества M (индексы опускаем):

$$dm(t, \tau) = \rho(t, \tau)d\tau, \quad (2.3)$$

где $\rho(t, \tau)$ – плотность распределения населения по возрасту τ в год t (плотность демографических элементов):

$$\rho(t, \tau) = \frac{dm(t, \tau)}{d\tau}. \quad (2.4)$$

Количество демографических элементов, находящихся в произвольном фиксированном возрастном интервале $[\tau_1, \tau_2]$, определится по формуле:

$$m(t) = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \rho(t, \tau)d\tau. \quad (2.5)$$

Изменение количества демографических элементов, находящихся в произвольном фиксированном возрастном интервале $[\tau_1, \tau_2]$, за единицу времени определится по формуле:

$$\frac{dm(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \rho(t, \tau)d\tau. \quad (2.6)$$

В силу того, что границы фиксированы, имеем:

$$\frac{d}{dt} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \rho(t, \tau)d\tau = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{\partial}{\partial t} \rho(t, \tau)d\tau. \quad (2.7)$$

С другой стороны, изменение элементов подмножества в единицу времени, обусловленное пересечением фиксированных границ (конвективная составляющая, связанная с передвижкой возрастов) будет равно:

$$\frac{dm_1(t)}{dt} = - \int_S \rho(t, \tau) \vec{v} \vec{n} d\sigma = [\rho(t, \tau)v]_{\tau_1} - [\rho(t, \tau)v]_{\tau_2}, \quad (2.8)$$

где \vec{n} – внешняя к выделенному множеству единичная нормаль; $v = |\vec{v}|$ – скорость элементов подмножества на границах выделенного множества. Очевидно,

в любой точке оси τ $v = d\tau/dt = 1$, поскольку возраст элементов и время растут одинаково.

Изменение элементов подмножества в единицу времени за счет смертности определится из выражения:

$$\frac{dm_2(t)}{dt} = - \int_{\tau_1}^{\tau_2} \mu(t, \tau) \rho(t, \tau) d\tau, \quad (2.9)$$

где $\mu(t, \tau)$ – коэффициент распределения смертности населения по возрасту, задающий долю смертей в каждой группе возраста τ в год t (сила смертности).

Изменение во времени подмножества демографических элементов, вызванное миграционными процессами, определяется выражением:

$$\frac{dm_3(t)}{dt} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} l(t, \tau) \rho(t, \tau) d\tau, \quad (2.10)$$

где $l(t, \tau)$ – коэффициент распределения миграции населения, связанной с изменением гражданства, по возрасту, задающий долю мигрантов в каждой группе возраста τ в год t (коэффициент миграционного взаимодействия).

Составляя уравнение баланса элементов, получаем:

$$\frac{dm(t)}{dt} = \frac{dm_1(t)}{dt} + \frac{dm_2(t)}{dt} + \frac{dm_3(t)}{dt}. \quad (2.11)$$

Уравнение (2.11) с учетом (2.8), (2.9), (2.10) примет вид:

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{\partial}{\partial t} \rho(t, \tau) d\tau = \rho(t, \tau_1) - \rho(t, \tau_2) - \int_{\tau_1}^{\tau_2} \mu(t, \tau) \rho(t, \tau) d\tau + \int_{\tau_1}^{\tau_2} l(t, \tau) \rho(t, \tau) d\tau. \quad (2.12)$$

Разделив обе части уравнения (2.12) на $(\tau_2 - \tau_1)$ и, переходя к пределу при $\tau_2 \rightarrow \tau_1$, получаем:

$$\frac{\partial \rho(t, \tau)}{\partial t} + \frac{\partial \rho(t, \tau)}{\partial \tau} = -\mu(t, \tau) \rho(t, \tau) + l(t, \tau) \rho(t, \tau). \quad (2.13)$$

Компоненты уравнения (2.13) отражают параллельные процессы в демографическом множестве элементов: передвижку возрастов (слагаемое $\frac{\partial \rho}{\partial t}$), вымирание (слагаемое $\mu \rho$) и миграцию населения (слагаемое $l \rho$).

Для решения уравнения (2.13) необходимо определить начальные и граничные условия, основываясь на исходных статистических данных.

Начальное условие, при $t = t_0$:

$$\rho(t_0, \tau) = \rho_0(\tau), \quad \tau > 0, \quad (2.14)$$

где $\rho_0(\tau)$ – плотность распределения населения в начальный момент времени t_0 (известная функция).

Граничное условие, при $\tau = 0$:

$$\rho(t, 0) = \int_{\tau_{1\Phi}}^{\tau_{2\Phi}} \beta(t, \tau) \rho(t, \tau) d\tau, \quad t > t_0, \quad (2.15)$$

где $\beta(t, \tau)$ – коэффициент распределения рождений по возрасту, задающий долю рождений в каждой группе возраста τ в год t (плотность распределения рождений из диапазона фертильности женщин $[\tau_{1\Phi}, \tau_{2\Phi}]$).

Для замыкания математической модели (2.13)–(2.15) необходимо определить вид функций μ , β , $l(t, \tau)$ на основе имеющегося статистического материала. Уравнение (2.13) с начальными условиями (2.14) и граничными условиями (2.15) может быть решено численно с использованием конечно-разностных схем [6, 116].

Используется явно-неявная схема с односторонними разностями, представленная на рисунке 2.3. Расчеты выполняются на разностной сетке в плоскости (t, τ) . Примем шаги по времени $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ и по возрасту $\Delta \tau = \tau_{j+1} - \tau_j$ одинаковыми. Положим $\Delta t = \Delta \tau = 1/n$, где $n = 1, 2, \dots$ – число разбиений года.

Конечно-разностная аппроксимация дифференциального уравнения (2.13) по данной конечно-разностной схеме имеет вид:

$$\frac{\rho(t_{i+1}, \tau_j) - \rho(t_i, \tau_j)}{t_{i+1} - t_i} + \frac{\rho(t_{i+1}, \tau_{j+1}) - \rho(t_{i+1}, \tau_j)}{\tau_{j+1} - \tau_j} = -\mu(t_i, \tau_j) \rho(t_i, \tau_j), \quad (2.16)$$

$$t \geq t_0, \quad \tau > 0.$$

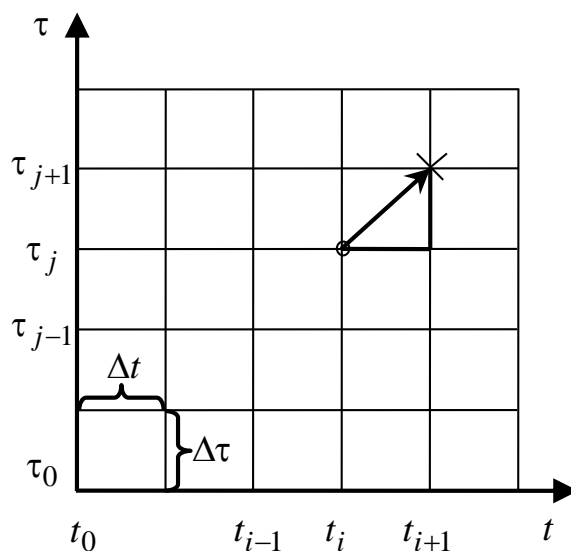


Рисунок 2.3 – Шаблон явно-неявной схемы с односторонними разностями

Откуда с учетом $\Delta t = \Delta \tau = 1/n$ и обозначениями $f_{i,j} = f(t_i, \tau_j)$, получим

$$(\rho_{i+1,j} - \rho_{i,j})n + (\rho_{i+1,j+1} - \rho_{i+1,j})n = -\mu_{i,j}\rho_{i,j}. \quad (2.17)$$

Следовательно,

$$\rho_{i+1,j+1} = (1 - (1/n)\mu_{i,j})\rho_{i,j}. \quad (2.18)$$

Расчет плотности новорожденных в точках (t_{j+1}, τ_0) проводится по формуле

$$\rho_{i+1,0} = (1/n) \sum_{j=\tau_{1\delta}}^{\tau_{2\delta}} \beta_{i+1,j} \rho_{i+1,j}. \quad (2.19)$$

Явно-неявная схема с односторонними разностями реализуется с использованием формул (2.18), (2.19). В данном случае при фиксированном t_{i+1} рассчитываются значения плотности в точках разностной сетки при различных τ_j ($j=1,2,\dots$). Причем для определения значений $\rho_{i+1,j+1}$ на вертикальном слое t_{i+1} используются значения $\rho_{i,j}$ с предыдущего вертикального слоя t_i . Далее определяется плотность новорожденных на слое t_{i+1} по формуле (2.19), с использованием уже рассчитанных значений плотности в области фертильности женщин.

Повторением этого цикла можно найти решение уравнения динамики возрастного состава в любой точке плоскости (t, τ) .

После определения функции $\rho(t, \tau)$ можем определить производные демографические характеристики в разбиении по возрасту. Например, количество людей, возраст которых выше ($\tau > \tau_1$), ниже ($\tau < \tau_2$) определенного порога или находится в определенном временном диапазоне $[\tau_1, \tau_2]$:

$$P_{\tau_1}(t) = \int_{\tau_1}^{\infty} \rho(t, \tau) d\tau, \quad P^{\tau_2}(t) = \int_0^{\tau_2} \rho(t, \tau) d\tau, \quad P_{\tau_1}^{\tau_2}(t) = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \rho(t, \tau) d\tau. \quad (2.20)$$

На основе (2.20) определяются различные демографические показатели, такие как общая численность населения, численность населения трудоспособного возраста, средний возраст населения и другие. Например, общая численность населения определяется по формуле:

$$P(t) = \int_0^{\infty} \rho(t, \tau) d\tau. \quad (2.21)$$

Количественные и качественные социальные характеристики определяют структуру человеческого капитала. Оценка структуры ЧК по трем составляющим (здоровье, культура, образование) необходима в целях анализа качества человеческого капитала.

Проведение анализа структуры населения по составляющим ЧК предполагает наличие полной и достоверной статистической информации. Информация о населении, его количественных демографических и качественных социальных характеристиках делится на исходную первичную и преобразованную (вторичную) информацию [117].

Базовой информацией всегда является первичная. Она публикуется на официальных статистических государственных сайтах, основным из которых в нашей стране является Федеральная служба государственной статистики РФ, и региональные – территориальные органы Федеральной службы статистики РФ, более конкретизированная информация по отдельным направлениям публикуется на официальных сайтах министерств и ведомств страны и региона, а также на сайтах и в изданиях статистических агентств, проводящих социологические опросы. Именно анализ этой информации позволяет нам делать выводы о ха-

рактуре и тенденциях различных социальных процессов и явлений, а также строить их прогнозы. Вторичная демографическая информация формируется методами преобразования первичной на основе разработанных аналитических методов и численных алгоритмов.

2.2 Анализ динамики структуры населения по уровню образования

2.2.1 Математическая модель

Роль образования в экономическом развитии страны играет большое значение. Особенно вопрос уровня образования актуален в период активного изменения и развития окружающей человека среды, при развитии новых техник и технологий [118]. Как уже отмечалось, в 2017 году Правительством РФ была разработана программа, направленная на развитие человеческого капитала [73], которая предусматривает создание условий для перехода страны к цифровой экономике. В рамках программы предусматривается совершенствование системы образования и мотивации по освоению населением необходимых знаний для развития цифровой экономики.

Предлагается в целях оценки качества ЧК проанализировать состав и структуру населения по уровню образования индивидуумов (см. таблицу 2.1):

- имеющий ученую степень;
- имеющий высшее образование;
- имеющий среднее профессиональное и (или) неполное высшее образование;
- имеющий общее образование;
- не имеющий образования.

Для математической постановки задачи оценки динамики и структуры численности населения по уровню образования введем обозначение:

P – численность населения региона (элементов замкнутой демографической структуры);

P_{de} – численность людей, имеющих ученую степень;

P_{he} – численность людей, имеющих высшее образование;

P_{se} – численность людей, имеющих среднее профессиональное и (или) неполное высшее образование;

P_{ge} – численность людей, имеющих среднее и (или) основное общее образование;

P_{not} – численность людей, не имеющих образования.

Допущения модели:

- 1) миграция отсутствует;
- 2) сила смертности для данных социальных групп равна силе смертности элементов демографической структуры в целом.

Для расчета численности населения, имеющего высшее образование в социально-экономической системе, рассмотрим уравнение демографической динамики в виде:

$$\frac{\partial \rho_{he}(t, \tau)}{\partial t} + \frac{\partial \rho_{he}(t, \tau)}{\partial \tau} = [\chi_{he}(t, \tau) - \mu(t, \tau)] \rho(t, \tau). \quad (2.22)$$

Здесь $\rho_{he}(t, \tau)$ – плотность населения, имеющего высшее образование, в возрасте τ в год t ; $\chi_{he}(t, \tau)$ – доля населения, получившее высшее образование в возрасте τ в год t .

Начальные и граничные условия:

при $t = t_0$

$$\rho_{he}(t_0, \tau) = \rho_{he0}(\tau); \quad (2.23)$$

при $\tau = 0$ или $\tau = \infty$:

$$\rho_{he}(t, 0) = \rho_{he}(t, \infty) = 0. \quad (2.24)$$

Тогда суммарная численность людей, имеющих высшее образование в социально-экономической системе определится по формуле:

$$P_{he}(t) = \int_0^{\infty} \rho_{he}(t, \tau) d\tau. \quad (2.25)$$

Аналогично (2.22)–(2.25) задается уравнение демографической динамики населения, имеющего среднее профессиональное и (или) неполное высшее образование, а также определяется их суммарная численность в год t :

$$\frac{\partial \rho_{se}(t, \tau)}{\partial t} + \frac{\partial \rho_{se}(t, \tau)}{\partial \tau} = [\chi_{se}(t, \tau) - \mu(t, \tau)] \rho(t, \tau), \quad (2.26)$$

$$\rho_{se}(t_0, \tau) = \rho_{se0}(\tau), \quad \rho_{se}(t, 0) = \rho_{se}(t, \infty) = 0, \quad (2.27)$$

$$P_{se}(t) = \int_0^{\infty} \rho_{se}(t, \tau) d\tau, \quad (2.28)$$

где $\rho_{se}(t, \tau)$ – плотность населения, имеющего среднее профессиональное и (или) неполное высшее образование, в возрасте τ в год t ; $\chi_{se}(t, \tau)$ – доля населения, получившее среднее профессиональное и (или) неполное высшее образование в возрасте τ в год t .

Уравнение демографической динамики населения, имеющего среднее и (или) основное общее образование и суммарная их численность определяется:

$$\frac{\partial \rho_{ge}(t, \tau)}{\partial t} + \frac{\partial \rho_{ge}(t, \tau)}{\partial \tau} = [\chi_{ge}(t, \tau) - \mu(t, \tau)] \rho(t, \tau), \quad (2.29)$$

$$\rho_{ge}(t_0, \tau) = \rho_{ge0}(\tau), \quad \rho_{ge}(t, 0) = \rho_{ge}(t, \infty) = 0, \quad (2.30)$$

$$P_{ge}(t) = \int_0^{\infty} \rho_{ge}(t, \tau) d\tau, \quad (2.31)$$

где $\rho_{ge}(t, \tau)$ – плотность населения, имеющего среднее и (или) основное общее образование, в возрасте τ в год t ; $\chi_{ge}(t, \tau)$ – доля населения, получившее среднее и (или) основное общее образование в возрасте τ в год t .

Численность населения, не имеющего образования, в год t будет вычисляться по формуле:

$$P_{not}(t) = P(t) - P_{de}(t) - P_{he}(t) - P_{se}(t) - P_{ge}(t). \quad (2.32)$$

Задачу моделирования динамики численности населения по уровню образования рассмотрим на примере социально-экономической системы УР.

2.2.2 Исходная статистическая информация и её преобразование

Рассмотрим исходные статистические данные по уровню образования населения УР [118–120] (согласно Переписям населения, проведенным в 2002 и 2010 году, и Микропереписи в 2015 году) в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Статистические данные по численности населения различных уровней образования в УР

Год	Имеющие ученую степень	Имеющие высшее образование	Имеющие среднее профессиональное и (или) неполное высшее образование	Имеющие среднее и основное общее образование	Не имеющие образования	Экономически активное население, чел.
Абсолютные значения, чел.						
2002	1 478	120 385	398 107	290 943	10 265	821 177
2010	3 161	169 865	368 429	281 999	10 315	831 855
2015	3 938	219 077	386 215	201 436	9 846	820 513
Структура, %						
2002	0,2	14,7	48,5	35,4	1,3	100,0
2010	0,4	20,3	44,3	33,8	1,2	100,0
2015	0,5	26,7	47,1	24,6	1,2	100,0

Согласно данным Переписей, представленных в таблице 2.2, видна тенденция изменения состава трудоспособного населения в УР по уровню образования.

На основе статистических данных [122, 123] рассмотрим динамику движения выпускников бакалавриата, специалитета и магистратуры в УР за период 2000-2020 годы. Соответствующие изменения представлены на рисунке 2.4, где за 100% принят весь контингент выпускников.

По рисунку 2.4 видно, что численность выпускников бакалавриата, специалитета и магистратуры в УР в 2020 году выросла в 1,4 раза по сравнению с уровнем 2000 года.

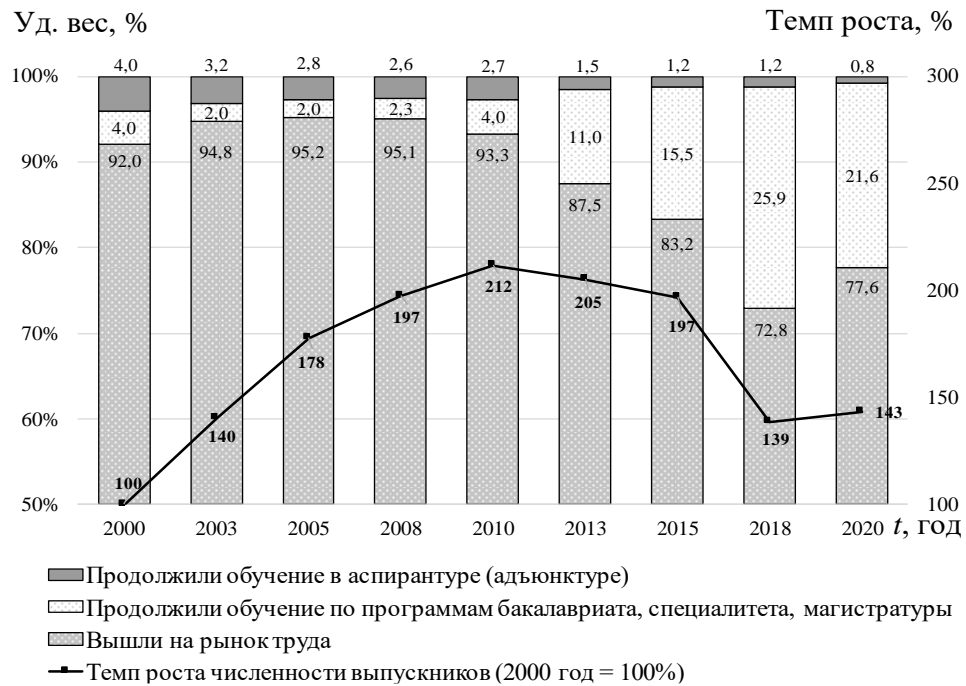


Рисунок 2.4 – Структурная динамика движения выпускников бакалавриата, специалитета и магистратуры в УР за период 2000-2020 годы, %

За рассматриваемый период значительно изменилась структура: удельный вес выпускников, вышедших на рынок труда, снизился с 92,0% до 77,6%; существенно снизился удельный вес выпускников, продолжающих обучение в аспирантуре, с 4,0% в 2000 году до 0,8% в 2020 году; вырос удельный вес выпускников, продолжающих обучение по программам магистратуры, с 4,0% до 21,6%.

Учитывая систему образования в РФ, теоретический срок обучения, численность выпускников высших учебных заведений, выпускников средних специальных профессиональных учреждений, выпускников школ, численность не окончивших обучение в данных учреждениях, а также миграционные процессы в регионе, осуществим расчет численности населения для возрастной группы $\tau \in [15;72]$ лет по уровню образования в УР в таблице 2.3.

В результате расчетов, представленных в таблице 2.3, видно, что за период 2000-2020 годы численность трудоспособного населения, имеющего ученую степень, в социально-экономической системе УР выросла с 1,5 тыс. чел. до 4,5 тыс. чел., т.е. в 3 раза.

Таблица 2.3 – Преобразованные данные численности трудоспособного населения УР по уровню образования за период 2000-2020 годы

Год	Имеющие ученую степень.	Имеющие высшее образование	Имеющие среднее профессиональное и (или) неполное высшее образование	Имеющие среднее и (или) основное общее образование	Не имеющие образования	Трудоспособное населения
2000	1 541	127 023	472 504	341 306	17 756	960 129
2001	1 687	135 958	478 013	340 190	12 590	968 437
2002	1 750	142 539	471 370	344 485	12 154	972 298
2003	1 907	149 455	473 349	343 238	11 125	979 074
2004	2 137	154 767	473 773	347 321	11 232	989 230
2005	2 338	161 351	469 318	348 018	12 455	993 480
2006	2 581	167 398	461 798	350 710	11 911	994 398
2007	2 889	173 618	454 443	347 417	11 749	990 116
2008	3 104	179 481	444 421	342 006	11 568	980 581
2009	3 265	190 691	432 801	332 587	11 369	970 714
2010	3 331	195 384	422 271	322 913	11 464	955 363
2011	3 794	202 101	419 873	302 293	11 061	939 122
2012	3 907	205 978	418 736	282 777	11 091	922 489
2013	4 001	213 047	415 017	262 264	10 643	904 973
2014	4 058	220 779	411 622	240 812	10 761	888 033
2015	4 186	232 852	410 498	214 101	10 465	872 102
2016	4 213	241 185	411 122	189 625	8 911	855 057
2017	4 249	249 378	414 749	163 473	8 998	840 847
2018	4 232	255 618	414 854	143 378	8 342	826 424
2019	4 333	253 256	410 805	137 477	8 135	814 006
2020	4 519	259 887	417 650	134 274	8 238	824 567

Также наблюдается двукратный рост численности трудоспособного населения, имеющего высшее образование, в УР с 127,0 тыс. чел. в 2000 году до 259,9 тыс. чел. в 2020 году. При этом можно отметить, что численность населения, имеющего среднее профессиональное и (или) неполное высшее образование, в УР за последнее двадцатилетие снизилась с 472,5 тыс. чел. до 417,7 тыс. чел., т.е. на 11,6%.

Можно сделать вывод о росте уровня образования населения УР за 2000-2020 годы, о чем также свидетельствует снижение в 2,5 раза численности населения, имеющего среднее и (или) основное общее образование, с 341,3 тыс. чел. до 134,3 тыс. чел. и в 2,2 раза численности людей, не имеющего образования, – с 17,8 тыс. чел. до 8,2 тыс. чел.

В целом, общая численность трудоспособного населения УР снизилась с 960,1 тыс. чел. до 824,6 тыс. чел., т.е. на 14,1%. Причем за период 2000-2006 годы наблюдался рост численности трудоспособного населения – максимальное значение в 994,4 тыс. чел. зафиксировано в 2006 году. С 2007 года наблюдалось снижение численности трудоспособного населения – минимальное значение в 814,0 тыс. чел. зафиксировано в 2019 году. Среднегодовой темп снижения численности трудоспособного населения УР за 2000-2020 годы составил 0,7%, что эквивалентно 6,8 тыс. чел./год.

2.2.3 Анализ динамики социальных групп по уровню образования

Динамика долей населения УР в делении по уровню образования за период 2000-2020 годы показана на рисунках 2.5 а-д.

Доля людей в возрасте 15-72 года населения УР, имеющих ученую степень, за период 2000-2020 годы увеличилась с 0,2 % в 2000 году до 0,5 % в 2020 году. Также положительная динамика наблюдается в росте доли населения, имеющего высшее образование: она выросла с 13,2 % в 2000 году до 31,5 % в 2020 году.

Процент населения со средним профессиональным образованием, начиная с 2000 года снижался, со значения 49,2 % до значения 44,2 % в 2010 году, далее наблюдался рост процента этой группы населения до значения 50,7 % в 2020 году.

Доля людей в населении УР со средним и основным общим образованием за период 2000-2020 годы снизилась с 35,5 % в 2000 году до 16,3 % в 2020 году. Доля населения без основного общего образования снизилась за последнее двадцатилетие с 1,8 % до 1,0 %.

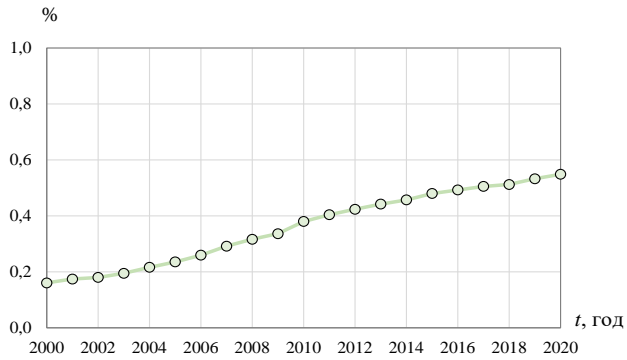


Рисунок 2.5, а – Изменение доли населения УР, имеющих ученую степень

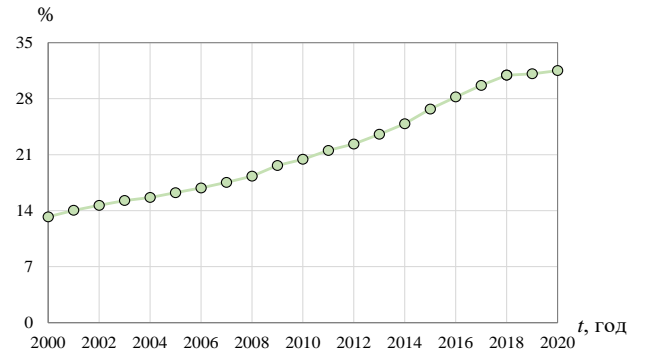


Рисунок 2.5, б – Изменение доли населения УР, имеющих высшее образование

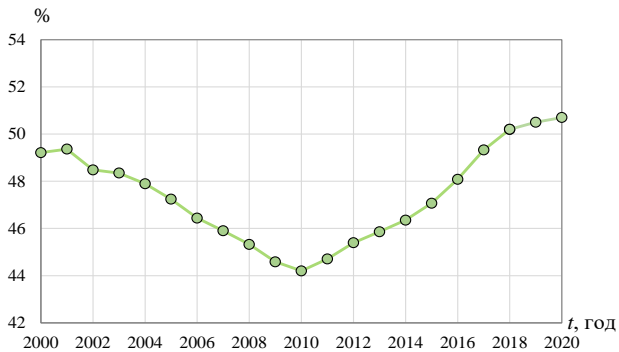


Рисунок 2.5, в – Изменение доли населения УР, имеющих среднее профессиональное или неоконченное высшее образование

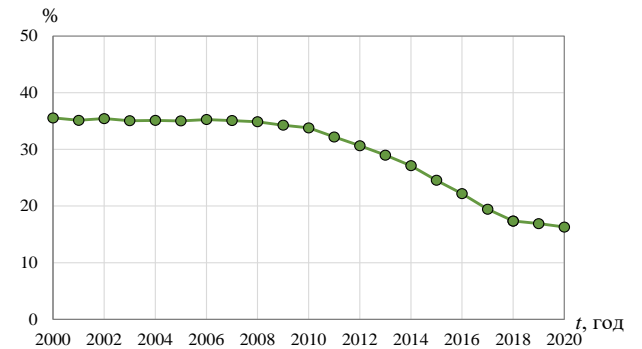


Рисунок 2.5, г – Изменение доли населения УР, имеющих среднее или основное общее образование

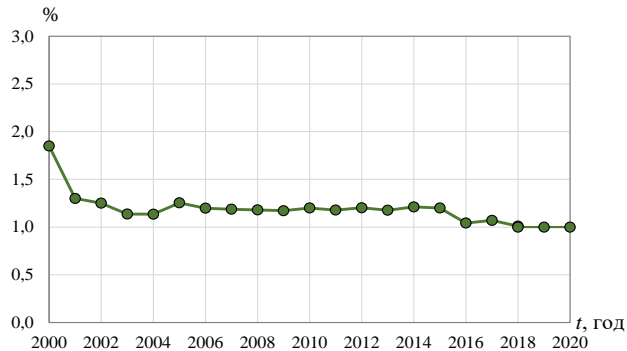


Рисунок 2.5, д – Изменение доли населения УР, не имеющих среднего образования

На рисунке 2.6 изображена диаграмма, иллюстрирующая изменение состава населения УР по уровню образования за период 2000-2020 годы.

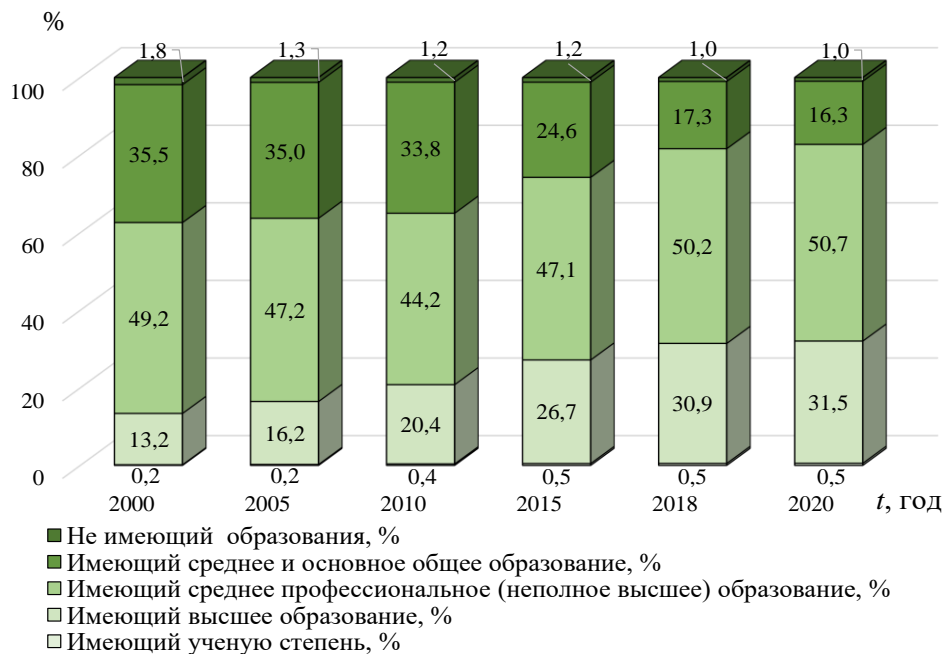


Рисунок 2.6 – Динамика структуры населения в возрастной группе $\tau \in [15;72]$ лет по составляющей образования ЧК УР за период 2000-2020 годы

Наблюдается существенный рост доли населения с высшим образованием, а также за последнее десятилетие увеличение доли населения со средним специальным образованием. Последний факт говорит о росте популярности среднего профессионального образования среди молодых людей. Такие изменения в структуре уровня образования отражают современные тенденции на рынке труда.

2.3 Анализ динамики структуры населения по уровню здоровья

2.3.1 Математическая модель

Состояние здоровья определяет возможности человека к трудовой деятельности и степень его участия в ней. Здоровый человек полностью реализует себя при участии в трудовой деятельности. Проблемы со здоровьем ограничивают его.

Предлагается в целях оценки качества ЧК проанализировать состав и структуру населения по уровню здоровья (см. таблицу 2.1):

- здоровый индивид (работающий);
- имеющий хронические заболевания (работающий);

- имеющий 3 группу инвалидности (способен к трудовой деятельности);
- имеющий 2 группу инвалидности (частично способен к трудовой деятельности);
- имеющий 1 группу инвалидности (неспособен к трудовой деятельности).

Для математической постановки задачи оценки динамики и структуры численности населения по уровню здоровья введем следующие обозначения:

P_h – численность здоровых людей;

P_{ch} – численность людей, имеющих хронические заболевания;

P_{inv} – численность людей с инвалидностью.

Допущения модели:

- 1) миграция отсутствует;
- 2) сила смертности для инвалидов равна силе смертности элементов демографической структуры в целом.

Численность здорового населения в год t будет вычисляться по формуле:

$$P_h(t) = P(t) - P_{ch}(t) - P_{inv}(t). \quad (2.33)$$

Для расчета общей численности людей, имеющих хронические заболевания, рассмотрим уравнение демографической динамики в виде:

$$\frac{\partial \rho_{ch}(t, \tau)}{\partial t} + \frac{\partial \rho_{ch}(t, \tau)}{\partial \tau} = [g(t, \tau) - q(t, \tau)]\rho(t, \tau) - [r(t, \tau) - \mu(t, \tau)]\rho_{ch}(t, \tau). \quad (2.34)$$

Здесь $\rho_{ch}(t, \tau)$ – плотность населения, имеющее хронические заболевания в возрасте τ в год t ; $g(t, \tau)$ – доля населения, у которых в возрасте τ в год t имеется хроническое заболевание; $q(t, \tau)$ – доля населения, у которых в возрасте τ в год t впервые зарегистрировано хроническое заболевание; $r(t, \tau)$ – доля излечения хронических заболеваний в возрасте τ в год t .

Начальные и граничные условия:

при $t = t_0$:

$$\rho_{ch}(t_0, \tau) = \rho_{ch0}(\tau); \quad (2.35)$$

при $\tau = 0$ или $\tau = \infty$:

$$\rho_{ch}(t, 0) = \rho_{ch}(t, \infty) = 0. \quad (2.36)$$

Суммарная численность людей, имеющих хронические заболевания в социально-экономической системе определится по формуле:

$$P_{ch}(t) = \int_0^{\infty} \rho_{ch}(t, \tau) d\tau. \quad (2.37)$$

2.3.2 Исходная статистическая информация и её преобразование

Задачу моделирования динамики численности населения по состоянию здоровья рассмотрим на примере замкнутой демографической структуры Удмуртской Республики. Рассмотрим исходные статистические данные по состоянию здоровья населения в УР.

В таблице 2.4 приведены статистические данные общей и первичной заболеваемости населения УР за 2000-2020 годы, предоставленные Республиканским медицинским информационно-аналитическим центром Министерства здравоохранения УР [124].

Таблица 2.4 – Статистические данные общей и первичной заболеваемости населения УР в возрастной группе $\tau \in [15;72]$ за период 2000-2020 годы

Год	Численность населения возрастной группы 15-72 лет, тыс. чел.	Общая заболеваемость (ед. на 1 000 чел.)	Первичная заболеваемость (ед. на 1 000 чел.)	Темп роста к 2000 году, %	
				Общая заболеваемость	Первичная заболеваемость
2000	1199,1	1417,4	621,7	100,0	100,0
2001	1239,8	1383,4	570,1	97,6	91,7
2002	1201,6	1405,6	584,7	99,2	94,0
2003	1204,4	1537,6	621,3	108,5	99,9
2004	1204,8	1542,1	606,4	108,8	97,5
2005	1202,0	1496,1	583,2	105,6	93,8
2006	1197,4	1526,3	568,6	107,7	91,5
2007	1189,4	1606,6	589,1	113,3	94,8
2008	1181,7	1577,8	561,9	111,3	90,4
2009	1171,7	1688,9	608,4	119,2	97,9
2010	1161,4	1687,3	612,9	119,0	98,6
2011	1151,4	1749,1	803,7	123,4	129,3
2012	1144,1	1713,1	779,5	120,9	125,4
2013	1138,2	1731,0	817,7	122,1	131,5
2014	1133,2	1697,6	814,8	119,8	131,1
2015	1127,6	1711,8	817,3	120,8	131,5
2016	1122,2	1807,1	864,2	127,5	139,0

Год	Численность населения возрастной группы 15-72 лет, тыс. чел.	Общая заболеваемость (ед. на 1 000 чел.)	Первичная заболеваемость (ед. на 1 000 чел.)	Темп роста к 2000 году, %	
				Общая заболеваемость	Первичная заболеваемость
2017	1117,2	1847,2	853,1	130,3	137,2
2018	1113,8	1825,3	796,9	128,8	128,2
2019	1108,3	1889,6	911,4	133,3	130,5
2020	1105,2	1731,7	849,5	122,2	136,6

Общая заболеваемость характеризует общее число существующих заболеваний среди населения данной территории в течение определенного периода времени на 1 000 чел. населения [125]. Это сумма первичных и накопленных в предыдущие годы заболеваний.

Общая заболеваемость населения УР в возрастной группе от 15 до 72 лет за период 2000-2020 годы выросла на 22,2 % и составила 1731,7 заболеваний в расчете на 1 000 человек. Для всей экономической системы региона, в пересчете на общую численность населения в возрасте от 15-ти до 72-х лет, общая заболеваемость изменилась с 1699,6 до 1914,2 тыс. заболеваний.

Общая заболеваемость зависит от первичной, поскольку возникновение новых случаев болезни будет увеличивать число существующих. Первичная заболеваемость населения УР за рассматриваемый период выросла на 36,6 % по сравнению с 2000 годом и составила 849,5 заболеваний в расчете на 1 000 человек. Для всей социально-экономической системы региона, в пересчете на общую численность населения в возрасте от 15-ти до 72-х лет, первичная заболеваемость изменилась с 745,5 до 938,8 тыс. заболеваний.

Таким образом, рост общей заболеваемости населения УР за период 2000-2020 годы по большей части обусловлен наличием впервые выявленных заболеваний. Такое положение отчасти объясняется введением, начиная с 2011 года, регулярных медицинских осмотров в соответствии с Федеральным Законом «Об основах охраны здоровья граждан в РФ» [126]. Оценки здоровья работающего населения по итогам медицинских осмотров указывают на актуальность своевременного выявления и лечения заболеваний.

В таблицах 2.5-2.6 приведена статистика численности людей, имеющих инвалидность, а также статистика по внутренней структуре этой категории населения для УР за 2000-2020 годы, предоставленные Территориальным органом федеральной службы государственной статистики по УР [127] и Федеральным реестром Пенсионного фонда РФ [128].

Таблица 2.5 – Статистические данные численности людей с инвалидностью в УР за период 2000-2020 годы

Год	Общая численность людей с инвалидностью, чел.	В % от общей численности людей с инвалидностью			Численность людей с инвалидностью (в расчете на 100 000 чел.), %
		3 группа, %	2 группа, %	1 группа, %	
2000	92 000	29,3	51,7	19,0	57,8
2001	94 300	30,1	51,0	18,9	59,6
2002	97 200	30,9	50,3	18,8	61,8
2003	95 500	31,7	49,6	18,7	61,0
2004	94 100	32,5	48,9	18,6	60,4
2005	104 200	33,3	48,2	18,5	67,2
2006	106 805	34,1	47,5	18,4	69,3
2007	109 475	34,9	46,8	18,3	71,3
2008	112 212	35,7	46,1	18,2	73,3
2009	115 017	36,5	45,4	18,1	75,3
2010	116 900	37,3	44,7	18,0	76,8
2011	119 554	38,1	44,0	17,9	78,7
2012	116 351	38,9	43,3	17,8	76,7
2013	120 902	39,7	42,6	17,7	79,7
2014	116 590	40,4	42,0	17,6	76,8
2015	111 906	41,1	41,3	17,6	73,8
2016	114 422	41,8	40,7	17,5	75,4
2017	117 657	42,5	40,1	17,4	77,7
2018	109 677	43,5	39,2	17,3	72,6
2019	105 523	44,4	38,6	17,0	70,0
2020	103 086	44,8	38,2	17,0	68,7

Таблица 2.6 – Статистические данные о численности людей с инвалидностью в возрастной группе $\tau \in [15;72]$ лет в УР за период 2000-2020 годы

Год	Общая численность людей с инвалидностью, чел.	В % от численности людей с инвалидностью		Общая численность людей с инвалидностью в возрастной группе $\tau \in [15;72]$, чел.
		Дети-инвалиды, %	Инвалиды с детства, %	
2000	92 000	9,1	*	83 628
2001	94 300	8,3	*	86 473
2002	97 200	8,4	*	89 035
2003	95 500	8,5	*	87 383
2004	94 100	7,7	*	86 854

Год	Общая численность людей с инвалидностью, чел.	В % от численности людей с инвалидностью		Общая численность людей с инвалидностью в возрастной группе $\tau \in [15;72]$, чел.
		Дети-инвалиды, %	Инвалиды с детства, %	
2005	104 200	6,2	*	97 740
2006	106 805	5,0	*	101 465
2007	109 475	4,6	*	104 439
2008	112 212	4,3	*	107 387
2009	115 017	4,4	*	109 956
2010	116 900	4,3	*	111 873
2011	119 554	4,3	*	114 413
2012	116 351	4,2	*	111 464
2013	120 902	4,3	*	115 703
2014	116 590	4,6	*	111 227
2015	111 906	4,8	*	106 535
2016	114 422	4,9	*	108 815
2017	117 657	5,0	13,6	111 774
2018	109 677	4,9	13,9	104 303
2019	105 523	5,2	14,4	100 036
2020	103 216	5,5	14,7	97 539

* отсутствуют статистические данные

Численность людей с инвалидностью в УР выросла с 92 тыс. чел. в 2000 году до 103,2 тыс. чел. в 2020 году, показатель роста составил 12,2 %. Изменение внутренней структуры изучаемой категории населения региона по степени инвалидизации (группам инвалидности) представлено на рисунке 2.7.

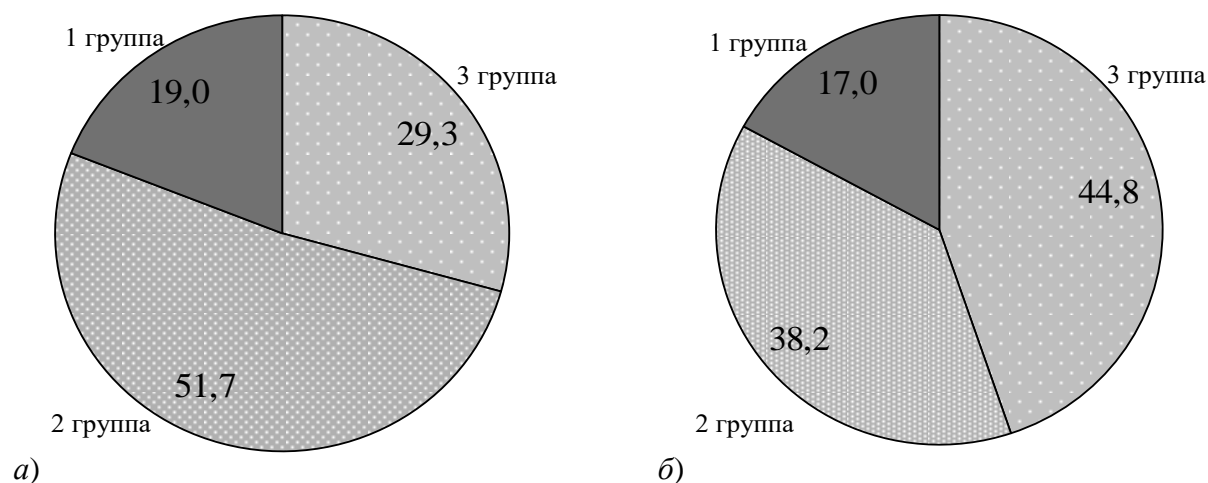


Рисунок 2.7 – Распределение людей с инвалидностью по степени инвалидизации в УР в 2000 году (а) и 2020 году (б), %

Третья группа инвалидности предполагает способность к трудовой деятельности, вторая группа позволяет частично участвовать в трудовом процессе, первая группа инвалидности указывает на неспособность к трудовой деятельности. Между группами происходит перераспределение. Увеличивается удельная доля людей, способных к трудовой деятельности.

2.3.3 Анализ динамики социальных групп по уровню здоровья

На основе данных, представленных в таблицах 2.4–2.6, численность здорового населения в год t можно определить по формуле (2.33). В итоге получаем распределение численности здоровых людей из группы трудоспособного населения в регионе УР за период 2000-2020 годы, график которого представлен на рисунке 2.8.

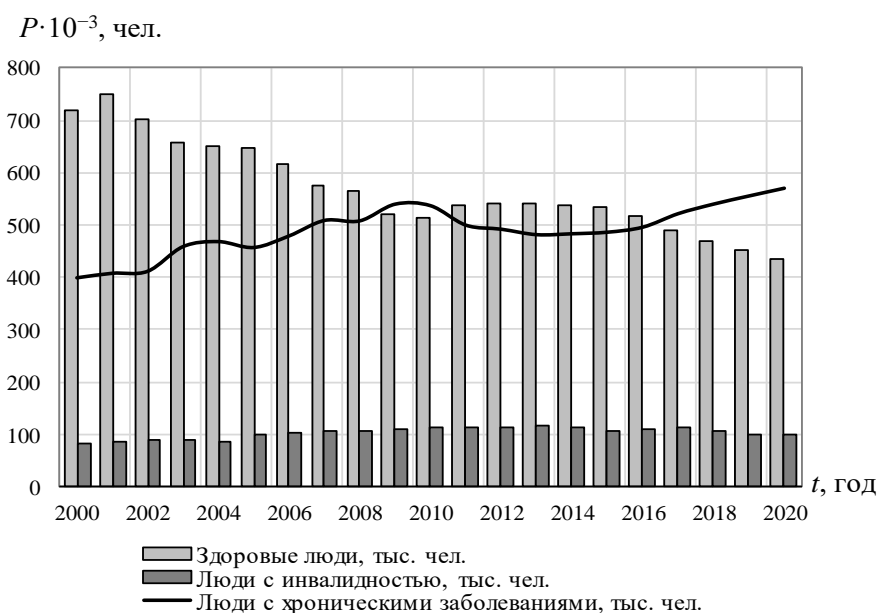


Рисунок 2.8 – Распределение численности населения УР в возрастной группе $\tau \in [15;72]$ лет по уровню здоровья за период 2000-2020 годы

График носит волнообразный характер, поскольку общие показатели инвалидности связаны с возрастными характеристиками населения. Так, по представленным трем группам здоровья трудоспособного населения УР за период 2000-2020 годы произошли следующие изменения: численность здоровых людей снизилась с 717,6 тыс. чел. до 434,3 тыс. чел.; численность людей с инвалидностью возросла с 83,6 тыс. чел. до 100,8 тыс. чел.; численность людей с

хроническими заболеваниями в регионе изменялась в период 2000-2010 годы увеличилась с 397,9 тыс. чел. до 537,2 тыс. чел., затем наблюдалось снижение численности людей с хроническими заболеваниями до 2014 года (483,0 тыс. чел.), далее наблюдался рост и в 2020 году число людей, имеющих хронические заболевания, составило 569,3 тыс. чел.

Динамика структуры трудоспособного населения в возрастной группе $\tau \in [15;72]$ лет по составляющей здоровья человеческого капитала в УР за период 2000-2020 годы представлена на рисунке 2.9.

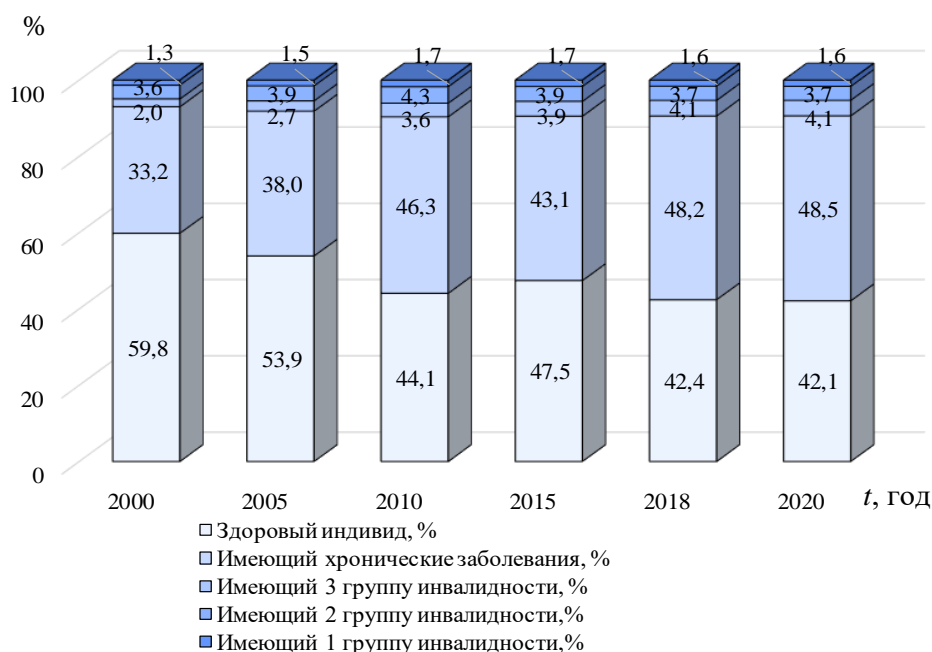


Рисунок 2.9 – Динамика структуры населения в возрастной группе $\tau \in [15;72]$ лет по составляющей здоровья ЧК УР за период 2000-2020 годы

Таким образом, удельный вес здоровых людей УР в возрастной группе 15-72 лет снизился с 59,8 % в 2000 году до 42,1 % в 2020 году, что коррелирует с мониторингом, проведенным Министерством здравоохранения РФ [129]. При этом, выросла доля людей, имеющих хронические заболевания: 33,2 % в 2000 году и 48,5 % в 2020 году. За эти годы произошли структурные изменения: вырос удельный вес людей, имеющих третью (рабочую) группу инвалидности, с 2,0 % до 4,1 %; незначительно изменился удельный вес людей, имеющих вторую группу инвалидности, с 3,6 % до 3,7 %; вырос удельный вес людей, имеющих первую (нерабочую) группу инвалидности, с 1,3 % до 1,6%.

Оценить взаимосвязь между состоянием здоровья населения и возрастными группами можно по результатам корреляционного анализа. В таблице 2.7 представлены коэффициенты линейной корреляции между показателями динамики уровня здоровья населения (по расчетам, представленным на рисунке 2.9) и статистическими данными о динамике изменения возрастных групп населения УР за период 2000-2020 годы [130].

Таблица 2.7 – Корреляционный анализ между уровнем здоровья и возрастными группами населения в УР за период 2000-2020 годы

Социальная группа (кластер)	Возрастная группа населения				
	15-25 лет	26-35 лет	36-45 лет	46-55 лет	56-72 лет
Здоровый индивид	0,712*	-0,695*	0,398	0,384	-0,714*
Имеющий хронические заболевания	-0,671	0,693*	-0,385	-0,370	0,665
Имеющий 3 группу инвалидности	-0,798*	0,805*	-0,262	-0,576	0,872*
Имеющий 2 группу инвалидности	-0,343	0,642	0,749*	0,132	0,240
Имеющий 1 группу инвалидности	-0,722*	0,706*	-0,469	-0,296	0,891*

*коэффициент значимый при уровне надежности 99%

По результатам корреляционного анализа в таблице 2.7 видно, что существует прямая связь между структурной динамикой населения по состоянию здоровья и возрастным составом населения, а именно между [63]:

- долей здорового населения и долей населения в возрасте 15-25 лет;
- долей населения, имеющего хронические заболевания, и долей населения в возрасте 26-35 лет;
- долей населения, имеющего 3 группу инвалидности, и долей населения в возрасте 26-35 лет и 56-72 лет;
- долей населения, имеющего 2 группу инвалидности, и долей населения в возрасте 36-45 лет;

- долей населения, имеющего 1 группу инвалидности, и долей населения в возрасте 26-35 лет и 56-72 лет.

Также видна обратная корреляционная связь между:

- долей здорового населения в возрасте 26-35 лет и 56-72 лет;
- долей населения, имеющего 3 и 1 группу инвалидности, и долей населения в возрасте 15-25 лет.

Рост общей заболеваемости является неизбежным следствием старения населения, отчасти – следствием ухудшения состояния здоровья населения, о котором можно судить по данным, относящимся к отдельным возрастнополовым группам и группам заболеваний. В источниках информации [131] указывается, что наблюдается выраженная тенденция ухудшения состояния здоровья населения во всех возрастных группах.

Выявленные в работе тенденции изменения структуры и динамики составляющей здоровья человеческого капитала населения УР свидетельствуют о необходимости создания дополнительных условий для снижения уровня общей заболеваемости и инвалидности. Полученные результаты говорят о необходимости увеличения объемов финансирования системы здравоохранения с целью расширения масштабов вовлечения населения в здоровый образ жизни, развития системы профилактической направленности здравоохранения, улучшения доступности и качества медицинской помощи [63].

2.4 Анализ динамики структуры населения по уровню культуры

2.4.1 Математическая модель

Уровень культуры человека, главным образом, определяется в его взаимоотношениях с обществом, т.е. он может быть оценен с судебноправовой позиции. Наивысшей мерой, вытекающей из задачи обеспечения безопасности жизни в социуме, является уголовное наказание, связанное с изоляцией осужденного от общества [60]. В уголовно-процессуальной практике наказания различаются по отдельным признакам [132], в частности, пол и возраст совершив-

шего преступления, тяжесть преступления, срок наказания, наличие или отсутствие рецидива и др.

Лицо, совершившее преступление и осужденное по обвинительному приговору, приобретает судимость. Она имеет последствия, которые выражаются, как в ограничении прав на выбор профессии, осуществление трудовой деятельности, так в потерянном времени, связанным с отбыванием в местах лишения свободы. Так или иначе судимость снижает потенциал человека, соответственно, можем говорить об уменьшении ЧК в целом.

Предлагается в целях оценки качества ЧК проанализировать состав и структуру населения по уровню культуры индивидуумов (см. таблицу 2.1). Анализ структуры и динамики населения по уровню культурной составляющей с точки зрения судебной-правовой системы для установления степени общественной опасности имеет следующую градацию [60]:

- не имеющий судимость;
- имеющий судимость по преступлению небольшой тяжести;
- имеющий судимость по преступлению средней тяжести;
- имеющий судимость по тяжким преступлениям;
- имеющий судимость по особо тяжким преступлениям.

Для поставленной цели требуется оценить динамику структуры социума: численность осужденных, находящихся, поступивших и отбывших наказание в учреждениях уголовно-исправительной системы (УИС).

Численные расчеты проводятся на примере региональной социально-экономической системы. Как правило, исчерпывающая статистическая информация по исследуемым показателям отсутствует, поэтому возникает необходимость анализа и перегруппировки имеющейся исходной информации. В этой связи осуществим математическую постановку задачи определения численности осужденных в региональной системе.

Примем следующие обозначения:

P_{cr} – численность людей, имеющих судимость;

P_z – численность заключенных, т.е. находящихся на данный момент в учреждениях УИС;

P_n – численность людей, не имеющих судимость.

Допущения модели:

- 1) миграция отсутствует;
- 2) численность ежегодно освобождаемых заключенных P_{z-} равна численности осужденных к отбыванию заключения в местах лишения свободы P_{z+} ;
- 3) сила смертности осужденных равна силе смертности элементов демографической структуры в целом.

С учетом информации о численности осужденных P_{cr} рассчитывается доля осужденных в замкнутой демографической структуре: $\sigma_{cr} = P_{cr} / P$.

Средний срок заключения равен: $\tau_z = P_z / P_{z+}$.

Для расчета численности населения, имеющего судимость в социально-экономической системе, рассмотрим уравнение демографической динамики в виде:

$$\frac{\partial \rho_{cr}(t, \tau)}{\partial t} + \frac{\partial \rho_{cr}(t, \tau)}{\partial \tau} = \omega(t, \tau) \rho(t, \tau) - [\lambda(t, \tau) + \mu(t, \tau)] \rho_{cr}(t, \tau). \quad (2.38)$$

Здесь $\rho_{cr}(t, \tau)$ – плотность осужденных в возрасте τ в год t ; $\omega(t, \tau)$ – доля населения, получившего судимость в возрасте τ в год t ; $\lambda(t, \tau)$ – доля осужденных, с которых снята судимость в возрасте τ в год t .

Начальные и граничные условия:

при $t = t_0$:

$$\rho_{cr}(t_0, \tau) = \rho_{cr0}(\tau); \quad (2.39)$$

при $\tau = 0$ или $\tau = \infty$:

$$\rho_{cr}(t, 0) = \rho_{cr}(t, \infty) = 0. \quad (2.40)$$

Тогда суммарная численность людей, имеющих уголовное прошлое (побывавших или находящихся в данный момент в учреждениях УИС и осужденных без изоляции от общества) в системе определится по формуле:

$$P_{cr}(t) = \int_0^{\infty} \rho_{cr}(t, \tau) d\tau. \quad (2.41)$$

Задачу моделирования динамики численности населения, имеющего судимость, решим на примере социально-экономической системы УР. Соответственно, численность населения, не имеющего судимость, в социально-экономической системе в год t определится из соотношения:

$$P_n(t) = P(t) - P_{cr}(t). \quad (2.42)$$

2.4.2 Исходная статистическая информация и её преобразование

Рассмотрим в таблице 2.6 исходные статистические данные по зарегистрированным преступлениям в УР, предоставленные сайтами официальной государственной статистики РФ: Росстат [133], Портал правовой статистики [134], Управление Федеральной службы исполнения наказаний [135].

Таблица 2.8 – Статистические данные по зарегистрированным преступлениям в УР за период 2000-2020 годы

Год	Зарегистрировано преступлений, ед.	в том числе преступления, ед.			
		небольшой тяжести	средней тяжести	тяжкие	особо тяжкие
2000	30 100	11 758	8 942	5 352	4 048
2001	30 500	11 866	9 514	5 185	3 935
2002	24 500	10 278	6 860	3 845	3 517
2003	33 000	15 946	9 240	5 610	2 204
2004	37 000	18 870	10 360	5 894	1 876
2005	54 200	27 642	14 178	9 658	2 722
2006	65 300	33 303	18 284	11 101	2 612
2007	53 000	27 030	14 840	9 010	2 120
2008	44 900	22 899	10 873	7 633	3 495
2009	38 800	19 788	9 864	6 596	2 552
2010	32 720	16 789	8 511	6 233	1 187
2011	27 965	14 712	7 371	4 684	1 198
2012	27 365	16 429	5 558	4 287	1 091
2013	26 998	16 353	5 035	4 322	1 288
2014	26 875	16 116	4 812	4 287	1 660
2015	29 548	18 618	5 671	3 866	1 393
2016	26 219	16 102	5 307	3 526	1 284
2017	24 173	13 866	5 469	3 537	1 301
2018	25 293	14 280	5 717	4 087	1 209
2019	27 060	14 662	6 002	5 129	1 267
2020	28 075	13 636	6 434	6 632	1 373

Пик зарегистрированных преступлений в УР приходится на 2006 год (65 300 ед.), минимум зафиксирован в 2017 году (24 173 ед.). Структура преступлений в последние годы такова, что более половины из них являются преступлениями небольшой тяжести, четверть всех преступлений – средней тяжести, одна пятая часть – тяжкие и особо тяжкие преступления.

Структура зарегистрированных преступлений по степени тяжести и средний процент раскрываемости в УР за период 2000-2020 годы представлены на рисунке 2.10.

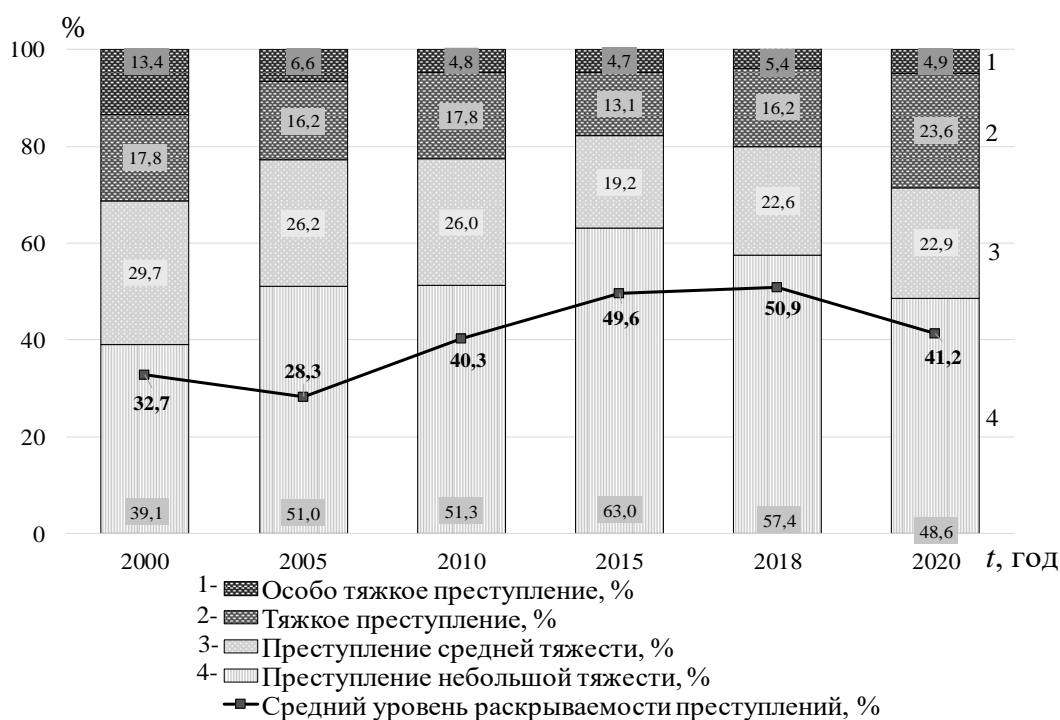


Рисунок 2.10 – Динамика структуры зарегистрированных преступлений по степени тяжести и средний процент раскрываемости в УР за 2000-2020 годы

Так, удельный вес преступлений небольшой тяжести вырос с 39,1% в 2000 году до 48,6% в 2020 году, при этом снизилась доля преступлений средней тяжести (с 29,7% в 2000 году до 22,9% в 2020 году), а также сократился удельный вес тяжких и особо тяжких преступлений (с 31,2% в 2000 году до 28,5% в 2020 году). Снижение удельного веса особо тяжких преступлений в общей структуре за период 2000-2020 годы составило 2,7 раза. Средний процент раскрываемости вырос с 32,7% в 2000 году до 41,2% в 2020 году.

Изучим данные о численности осужденных [135], находящихся в учреждениях уголовно-исправительной системы УР, в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Статистические данные по численности осужденных в учреждениях уголовно-исправительной системы УР за период 2000-2020 годы

Год	Выявлено лиц, совершивших преступления, чел.	Численность заключенных, чел.	Численность заключенных на 100 000 чел.
2000	9 854	12 551	725,8
2001	9 987	10 033	633,7
2002	9 387	9 499	603,8
2003	11 774	9 162	585,6
2004	12 767	8 251	529,7
2005	15 335	8 893	573,7
2006	16 596	9 398	609,4
2007	17 419	9 496	618,3
2008	16 354	9 520	622,0
2009	15 166	9 238	605,1
2010	13 197	8 734	573,5
2011	12 672	8 030	528,5
2012	13 667	9 329	614,6
2013	13 795	9 183	605,2
2014	13 474	8 752	576,8
2015	14 648	8 155	537,5
2016	13 780	7 147	471,1
2017	12 309	6 828	450,7
2018	12 514	6 137	406,4
2019	11 898	5 450	359,8
2020	11 567	5 142	340,5

Численность изолированных от общества людей в учреждениях УИС, в УР за рассматриваемый период значительно снизилась. Проблему переполненности в учреждениях УИС в начале 2000-х годов удалось решить благодаря принятым мерам уголовно-процессуальной и уголовно-исполнительной политики в Российской Федерации, в т. ч. связанных с либерализацией приговоров и развитием системы альтернативных лишению свободы наказаний [136].

На рисунке 2.11 представлена динамика количества преступлений, численность выявленных лиц, совершивших преступления и осужденных лиц, находящихся в учреждениях УИС, в УР за период 2000-2020 гг.

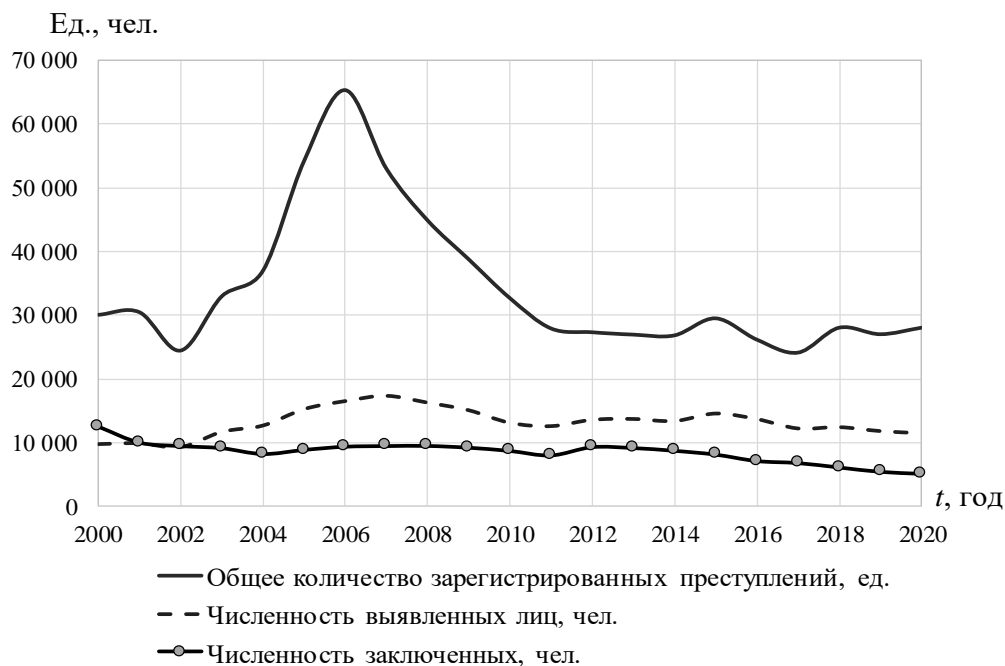


Рисунок 2.11 – Динамика количества преступлений, численности выявленных лиц, совершивших преступления и численности осужденных лиц в УР за период 2000-2020 гг.

Согласно статистике Министерства внутренних дел РФ [137], 29% всех преступников являются рецидивистами, следовательно, в 2020 году первую в жизни судимость в УР получили 8,2 тыс. чел. По некоторым экспертным оценкам [138], средний возраст преступника в РФ – 28 лет, при средней продолжительности жизни в 67 лет получается, что поколение преступников полностью обновляется раз в 39 лет.

2.4.3 Анализ динамики социальных групп по уровню культуры

Расчет численности людей, имеющих уголовное прошлое (побывавших или находящихся в данный момент в учреждениях УИС и осужденных без изоляции от общества) в региональной социально-экономической системе будет определяться на основе модели (2.38)–(2.42). В расчетах за начальный момент времени (с учетом имеющейся статистики) был выбран $t_0 = 2000$ год, к этому времени уголовное прошлое имели порядка 9,5% населения из возрастной группы $\tau \in [15; 72]$, что было взято за начальное условие. Также в расчетах был учтен тот факт, что в среднем 29% являются рецидивистами, т.е. людьми, совершившими преступление повторно.

На рисунке 2.12 представлены структура численности населения, имеющего уголовное прошлое, в региональной социально-экономической системе УР, для возрастной группы $\tau \in [15;72]$.

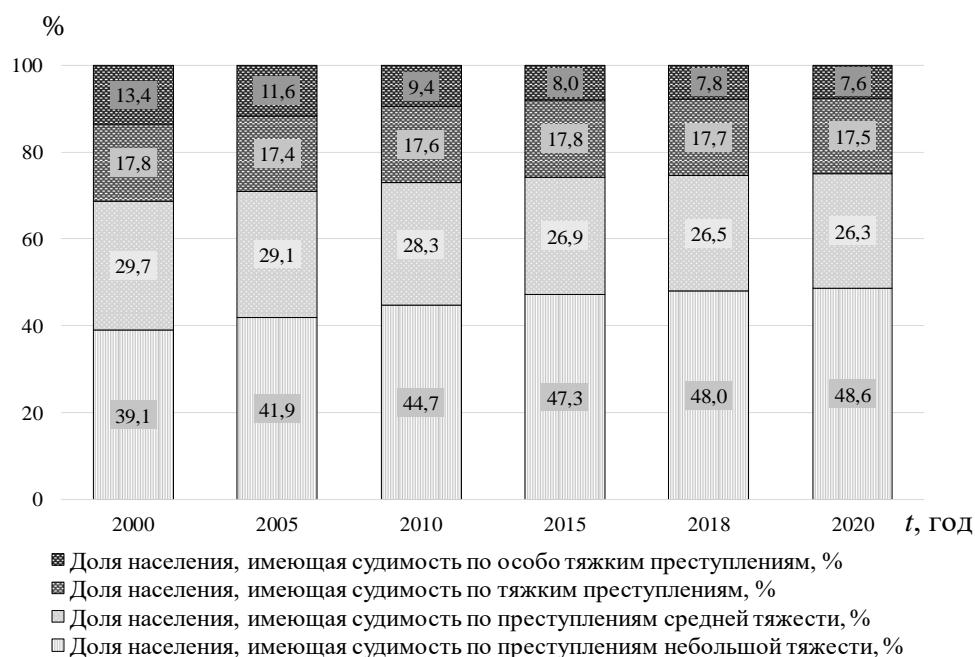


Рисунок 2.12 – Динамика структуры судимого населения в УР по степени тяжести совершенных преступлений, за период 2000-2020 годы

Таким образом, проанализирована динамика культурной составляющей ЧК с точки зрения сформировавшихся отношений общества с судебной системой государства.

На рисунке 2.13 приведена структура населения по состоянию культуры населения в УР за период 2000-2020 годы.

Получено, что удельный вес населения в общей численности, не имеющего судимости, для возрастной группы 15-72 года за период 2000-2020 годы снизился с 89,1% до 74,4%. Значительные изменения произошли и в структуре населения по степени тяжести преступлений. Так, доля лиц, имеющих судимость по преступлениям небольшой тяжести, выросла с 4,2% в 2000 году до 12,8% в 2020 году; по преступлениям средней тяжести – с 3,2% до 6,6%, по тяжким и особо тяжким преступлениям – с 3,4% до 6,2%.

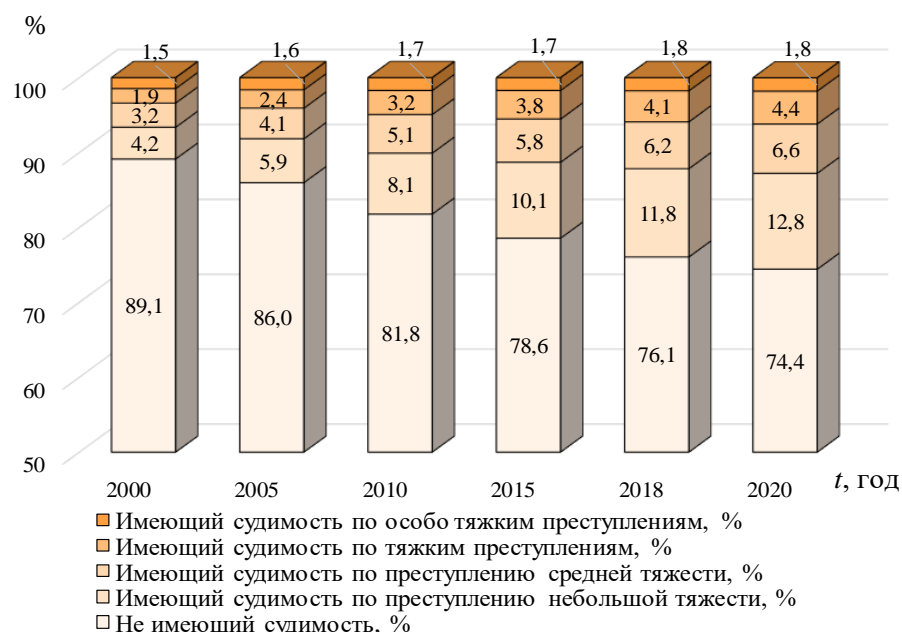


Рисунок 2.13 – Динамика структуры населения в возрастной группе $\tau \in [15;72]$ лет по составляющей культуры ЧК УР за период 2000-2020 годы

Построенная модель определения численности осужденных в замкнутой демографической структуре позволяет восстанавливать по имеющейся статистической информации отсутствующие необходимые данные для оценки динамики и структуры численности осужденных, находящихся, поступивших и отбывших наказание в учреждениях уголовно-исправительной системы, и, в конечном итоге, строить и прогнозировать культурную составляющую человеческого капитала.

Оценим взаимосвязь между уровнем образования и уровнем культуры населения с помощью корреляционного анализа. В таблице 2.10 представлены коэффициенты линейной корреляции между этими показателями для УР за период 2000-2020 годы.

Таблица 2.10 – Корреляционный анализ между уровнем образования и уровнем культуры населения в УР за период 2000-2020 годы

Социальная группа (кластер)	Уровень образования населения				
	Имеющие ученую степень	Имеющие высшее образование	Имеющие среднее профессиональное и(или) неполное высшее образование	Имеющие среднее и основное общее образование	Не имеющие среднего образования
Не имеющие судимость	0,994*	0,990*	0,995*	0,628	0,402

Продолжение таблицы 2.10

Социальная группа (кластер)	Имеющие ученую степень	Имеющие высшее образование	Имеющие среднее профессиональное и(или) неполное высшее образование	Имеющие среднее и основное общее образование	Не имеющие среднего образования
Имеющие судимость по преступлениям небольшой тяжести	-0,983*	0,989*	0,966*	0,981*	0,871*
Имеющие судимость по преступлениям средней тяжести	0,112	-0,073	-0,188	-0,121	0,902*
Имеющие судимость по тяжким преступлениям	0,484	-0,801*	-0,844*	0,590	0,729*
Имеющий судимость по особо тяжким преступлениям	0,586	-0,577	-0,597	-0,568	0,785*

*коэффициент значимый при уровне надежности 99%

По результатам корреляционного анализа в таблице 2.10 видно, что существует прямая связь в структурной динамике между:

- долей населения, имеющего ученую степень и долей населения, не имеющего судимость;
- долей населения, имеющего высшее образование и долей населения, не имеющего судимость;
- долей населения, имеющего высшее образование и долей населения, имеющего судимость по преступлениям небольшой тяжести;
- долей населения, имеющего среднее профессиональное и (или) неполное высшее образование и долей населения, имеющего судимость по преступлениям небольшой тяжести;
- долей населения, не имеющего среднего образования и долей населения, имеющего судимость по преступлениям всех видов тяжести.

Также видна обратная корреляционная связь между:

- долей населения, имеющего ученую степень и долей населения, имеющего судимость по преступлениям небольшой тяжести;
- долей населения, имеющего высшее образование и долей населения, имеющего судимость по тяжким преступлениям;
- долей населения, имеющего среднее профессиональное и долей населения, имеющего судимость по тяжким преступлениям.

Представим сводную таблицу 2.11 по структуре ЧК, где введены обозначения:

1) по уровню образования (x_1):

- γ_1^1 – доля населения, имеющее ученую степень;
- γ_1^2 – доля населения, имеющее высшее образование
- γ_1^3 – доля населения, имеющее среднее профессиональное образование;
- γ_1^4 – доля населения, имеющее общее образование;
- γ_1^5 – доля населения, не имеющее образования;

2) по уровню здоровья (x_2):

- γ_2^1 – доля здорового населения;
- γ_2^2 – доля населения, имеющее хронические заболевания;
- γ_2^3 – доля населения, имеющее 2 группу инвалидности;
- γ_2^4 – доля населения, имеющее 3 группу инвалидности;
- γ_2^5 – доля населения, имеющее 1 группу инвалидности;

3) по уровню культуры (x_3):

- γ_3^1 – доля населения, не имеющее судимость;
- γ_3^2 – доля населения с судимостью по небольшим преступлениям;
- γ_3^3 – доля населения с судимостью по преступлениям средней тяжести;
- γ_3^4 – доля населения с судимостью по тяжким преступлениям;
- γ_3^5 – доля населения с судимостью по особо тяжким преступлениям.

Выводы

Проведен структурно-динамический анализ по качественным составляющим человеческого капитала социально-экономической системы Удмуртской Республики.

1. По уровню образования. Возросла доля населения, имеющего ученую степень γ_1^1 – с 0,2 % в 2000 году до 0,5 % в 2020 году и доля населения, имеющих высшее образование γ_1^2 – с 13,2 % до 31,5 %; при этом значительно снизилась доля людей в трудоспособном возрасте, имеющих только общее и среднее основное образование γ_1^4 – с 35,5 % до 16,3 %.

2. По уровню здоровья. Снизилась доля здорового населения γ_2^1 – с 59,8 % в 2000 году до 42,1 % в 2020 году, при этом возросла доля людей, имеющих хронические заболевания γ_2^2 – с 33,2 % в 2000 году и 48,5 % в 2020 году и доля людей с инвалидностью $\sum_{j=3}^5 \gamma_2^j$ – с 7,0 % до 9,4 %.

3. По уровню культуры. Снизилась доля населения, не имеющего судимость γ_3^1 – с 89,1 % в 2000 году до 74,4 % в 2020 году, при этом возросла доля людей, имеющих судимость по преступлению небольшой тяжести γ_3^2 – с 4,2 % в 2000 году и 12,8 % в 2020 году и доля людей, имеющих судимость по преступлению средней тяжести, тяжким и особо тяжким преступлениям $\sum_{j=3}^5 \gamma_3^j$ – с 6,6 % до 12,8 %.

ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА

3.1 Постановка задачи

Как было отмечено выше, ЧК имеет количественные и качественные составляющие. Основным элементом количественной составляющей ЧК является численное воспроизводство населения.

Задача моделирования качественных характеристик ЧК основана на применении подхода стоимостной оценки входящих в его состав капитала образования, капитала здоровья и капитала культуры, учитывающей бюджетные инвестиции государства и частные расходы граждан.

Алгоритм решения задачи моделирования количественной составляющей ЧК (2.13)–(2.15) включает возможность построения плотности распределения населения по возрасту для произвольного момента времени, а также расчет производных демографических характеристик в социально-экономической системе. Для решения этой задачи определялись функции β , μ , $l(t, \tau)$ на основе имеющегося статистического материала.

Коэффициент распределения рождений для каждого момента времени t и возраста τ определяется по формуле:

$$\beta(t, \tau) = \frac{\Delta L_{\beta}(t, \tau)}{\rho(t, \tau)}, \quad (3.1)$$

где $\Delta L_{\beta}(t, \tau)$ – количество рождений в год t , приходящихся на возраст τ .

Коэффициент распределения смертности $\mu(t, \tau)$ определяется по формуле:

$$\mu(t, \tau) = \frac{\Delta L_{\mu}(t, \tau)}{\rho(t, \tau)}, \quad (3.2)$$

где $\Delta L_{\mu}(t, \tau)$ – количество смертей в год t , приходящихся на возраст τ .

Коэффициент миграционного взаимодействия $l(t, \tau)$ определяется по формуле:

$$l(t, \tau) = \frac{\Delta L_l(t, \tau)}{\rho(t, \tau)}, \quad (3.3)$$

где $\Delta L_l(t, \tau)$ – миграционный прирост (убыль) в год t , приходящийся на возраст τ .

Для оценки функций распределения рождений $\beta(t, \tau)$, смертности $\mu(t, \tau)$ и миграционного взаимодействия $l(t, \tau)$ использован подход, представленный в работе [106]. На основе статистического материала искомые функции определены в виде степенных рядов:

$$\beta(t, \tau) = \beta_0(t) + \beta_1(t)\tau + \beta_2(t)\tau^2 + \beta_3(t)\tau^3 + \beta_4(t)\tau^4 + \beta_5(t)\tau^5 + \beta_6(t)\tau^6 \quad (3.4)$$

$$\mu(t, \tau) = \mu_0(t) + \mu_1(t)\tau + \mu_2(t)\tau^2 + \mu_3(t)\tau^3 + \mu_4(t)\tau^4 \quad (3.5)$$

$$l(t, \tau) = l_0(t) + l_1(t)\tau + l_2(t)\tau^2 + l_3(t)\tau^3 + l_4(t)\tau^4 + l_5(t)\tau^5 + l_6(t)\tau^6 \quad (3.6)$$

Моделирование качественных составляющих ЧК предполагает оценку удельных финансовых вложений в капитал образования, здоровья и культуры. Удельное (на одного человека) среднестатистическое значение ЧК определяется линейной комбинацией его составляющих:

$$h(t, \tau) = \bar{\gamma}_1 h_1(t, \tau) + \bar{\gamma}_2 h_2(t, \tau) + \bar{\gamma}_3 h_3(t, \tau), \quad \bar{\gamma}_i \in (0; 1), \quad \sum_{i=1}^n \bar{\gamma}_i = 1, \quad (3.7)$$

где $\bar{\gamma}_i$ – соответствующие весовые коэффициенты для составляющих ЧК; значения $h_i = h_i(t, \tau)$ измеряются в денежных единицах; индекс $i = 1$ соответствует образовательной составляющей, индекс, $i = 2$ – составляющей здоровья; $i = 3$ – составляющей культуры.

Эволюция каждой из составляющих ЧК $h_i(t, \tau)$ описывается уравнением:

$$\frac{\partial h_i(t, \tau)}{\partial t} + \frac{\partial h_i(t, \tau)}{\partial \tau} = -v_i h_i(t, \tau) + s_i(t, \tau) + p_i(t, \tau), \quad (3.8)$$

где $s_i = s_i(t, \tau)$ – удельные расходы государства; $p_i = p_i(t, \tau)$ – удельные частные инвестиции; $v_i = v_i(t, \tau)$ – коэффициент выбытия.

Начальные условия при $t = t_0$ имеют вид:

$$h_i(t_0, \tau) = h_{i0}(\tau), \quad i = 1, 2, 3, \quad (3.9)$$

где $h_{i0}(\tau)$ – известные функции. Алгоритм их определения изложен в работе [139].

На левом конце демографической кривой граничные условия имеют вид:

$$h_i(t, 0) = 0, \quad i = 1, 2, 3; \quad (3.10)$$

на правом конце при $i = 1, 2$, очевидно, следует записать:

$$h_i(t, \infty) \approx h_i(t, \tau_m) = 0, \quad (3.11)$$

где $\tau_m = \tau_m(t)$ – возраст дожития $m\%$ населения (принималось $m = 5\%$).

Зависимость от возраста для функций $v_i = v_i(\tau)$, $i = 1, 2$ примем в виде:

$$v_i(\tau) = \begin{cases} 0, & \tau \leq \tau_{ai}, \\ b_i \{ \exp[a_i(\tau - \tau_{ai})] - 1 \}, & \tau_{ai} \leq \tau \leq \tau_m, \end{cases} \quad (3.12)$$

где неизвестные параметры (b_i, a_i) определяются из условий:

$$b_i \{ \exp[a_i(\tau_m - \tau_{ai})] - 1 \} = 1, \quad (3.13)$$

$$\int_0^{\tau_m} [s_i(t, \tau) + p_i(t, \tau)] d\tau = \int_{\tau_{ai}}^{\tau_m} \{ b_i (\exp[a_i(\tau - \tau_{ai})] - 1) \} h_i(t, \tau) d\tau. \quad (3.14)$$

Здесь τ_{ai} – верхняя граница активного периода физического состояния ($i = 1$) или трудовой деятельности ($i = 3$). В отличие от других составляющих, культурная составляющая не подвержена износу, $v_3 \equiv 0$.

Суммарная величина ЧК населения определится из выражения [6]:

$$H(t) = \int_0^{\infty} \sum_{i=1}^3 \bar{\gamma}_i h_i(t, \tau) a(t, \tau) \rho(t, \tau) d\tau, \quad (3.15)$$

где $a = a(t, \tau)$ – доля населения возраста τ , участвующая в общественном производстве в год t .

Для решения задачи моделирования и прогнозирования качественных составляющих ЧК рассмотрим эволюционное уравнение (3.8), в правой части ко-

того присутствуют удельные расходы бюджета $s_i = s_i(t, \tau)$ и удельные частные инвестиции $p_i = p_i(t, \tau)$.

Распределение по возрастам удельных составляющих бюджетных расходов государства $s_i(t, \tau)$, направленных на приращение ЧК, определим по формулам:

$$s_i(t, \tau) = \sum_{N_i} \frac{S_{N_i}(t)}{\int_{\tau_{1N_i}}^{\tau_{2N_i}} \rho(t, \tau) d\tau}, \quad S_{N_i}(t) = \begin{cases} S_{N_i}(t, \tau), & \tau \in [\tau_{1N_i}, \tau_{2N_i}], \\ 0, & \tau \notin [\tau_{1N_i}, \tau_{2N_i}]. \end{cases} \quad (3.16)$$

Здесь $S_{N_i}(t)$ – бюджетные расходы; N_i – нумерация статей бюджета, расходуемых на образование ($i=1$), здравоохранение ($i=2$) и культурную составляющую ЧК ($i=3$). В соответствии с формулой (3.16), эти суммы будем распределять равномерно на соответствующие периоды жизни человека $[\tau_{1N_i}, \tau_{2N_i}]$ и на численность людей в этих периодах.

Распределение по возрастам удельных составляющих частных расходов $p_i(t, \tau)$, направленных на приращение ЧК, запишем по аналогии с (3.16) в предположении, что в разные периоды жизни человеком используются разные денежные суммы, расходуемые на образование ($i=1$), здравоохранение ($i=2$) и культуру ($i=3$):

$$p_i(t, \tau) = \sum_i \frac{P_i(t)}{\int_{\tau_{1i}}^{\tau_{2i}} \rho(t, \tau) d\tau}, \quad P_i(t) = \begin{cases} P_i(t, \tau), & \tau \in [\tau_{1i}, \tau_{2i}], \\ 0, & \tau \notin [\tau_{1i}, \tau_{2i}]. \end{cases} \quad (3.17)$$

Для решения задачи моделирования и прогнозирования объемов бюджетных и частных инвестиций в ЧК будем использовать нейросетевой алгоритм. При этом будем учитывать динамику индикаторов основных направлений социально-экономического развития регионов. В качестве таких индикаторов, согласно [140] выделено 8 направлений функционирования социально-экономической системы: производство товаров и услуг, объемы; материальное благосостояние; производство товаров и услуг на душу; качество социальной

сферы; социальная безопасность; демография; здоровье; субъективное благополучие. Включение индикаторов основных направлений социально-экономического развития региона в нейросетевой алгоритм позволит учесть их влияние на величину и динамику объемов инвестиций в составляющие ЧК.

Методика моделирования и прогнозирования человеческого капитала населения социально-экономической системы с использованием нейросетевой модели представлена на рисунке 3.1.

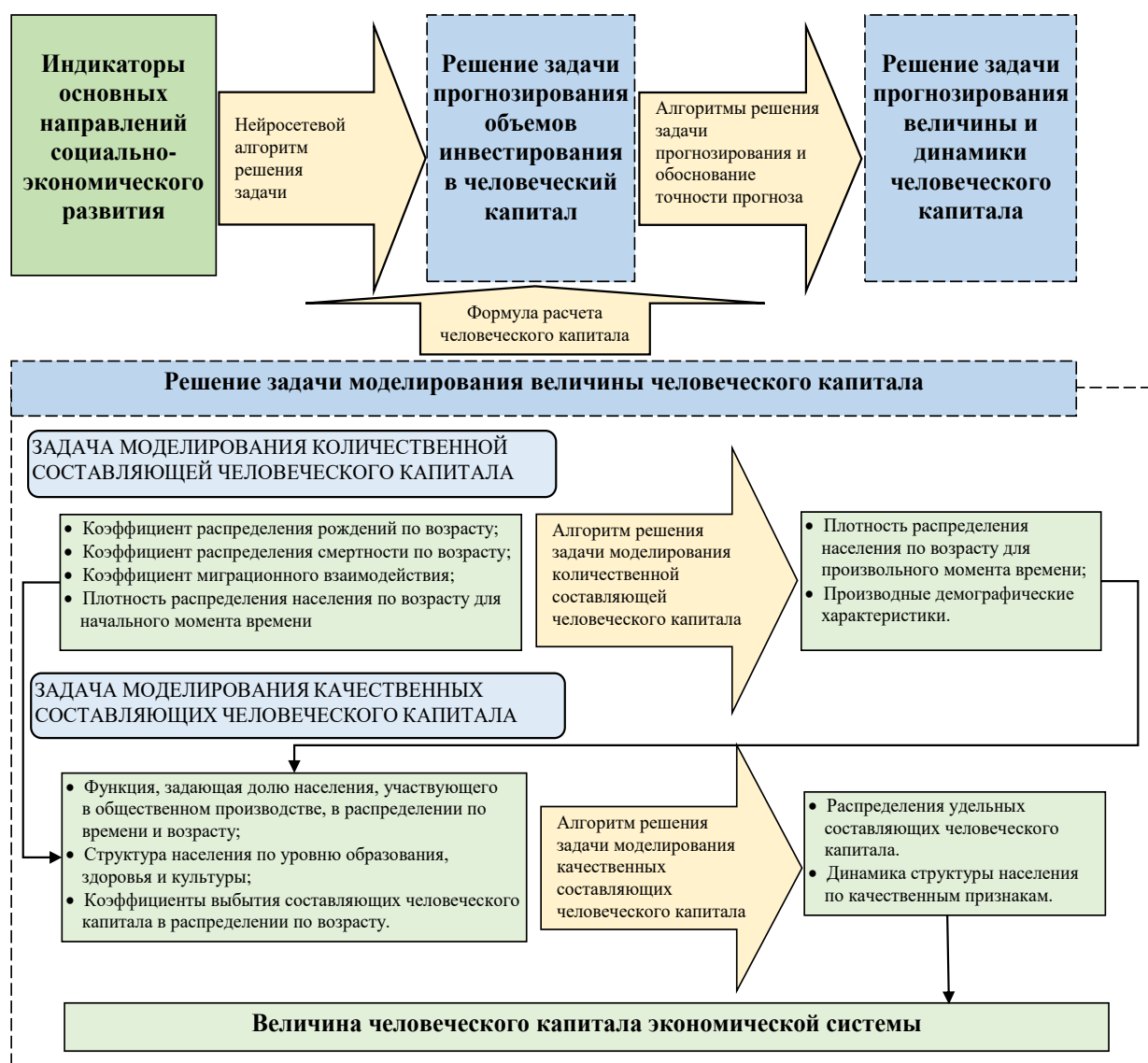


Рисунок 3.1 – Методика моделирования и прогнозирования человеческого капитала

Итогом научного исследования является решение задачи моделирования и прогнозирования динамики ЧК для социально-экономической системы региона. Для решения этой задачи используются результаты решения двух подзадач: задачи прогнозирования объемов инвестиций в ЧК и задачи моделирова-

ния величины ЧК. Для моделирования величины ЧК используется модель, построенная на основе уравнения переноса, в которой учитываются бюджетные и частные инвестиции в капитал здоровья, культуры и образования. Для прогнозирования количественных и качественных составляющих ЧК разработан нейросетевой алгоритм.

3.2 Нейросетевой алгоритм прогнозирования

На рисунке 3.2 представлена нейросетевая модель, положенная в основу алгоритма. Сеть является полносвязной; её структура определяется количеством скрытых слоев и числом нейронов на них. Нейросетевая модель представляет собой многослойный персептрон с сигмоидальной логистической функцией активации.

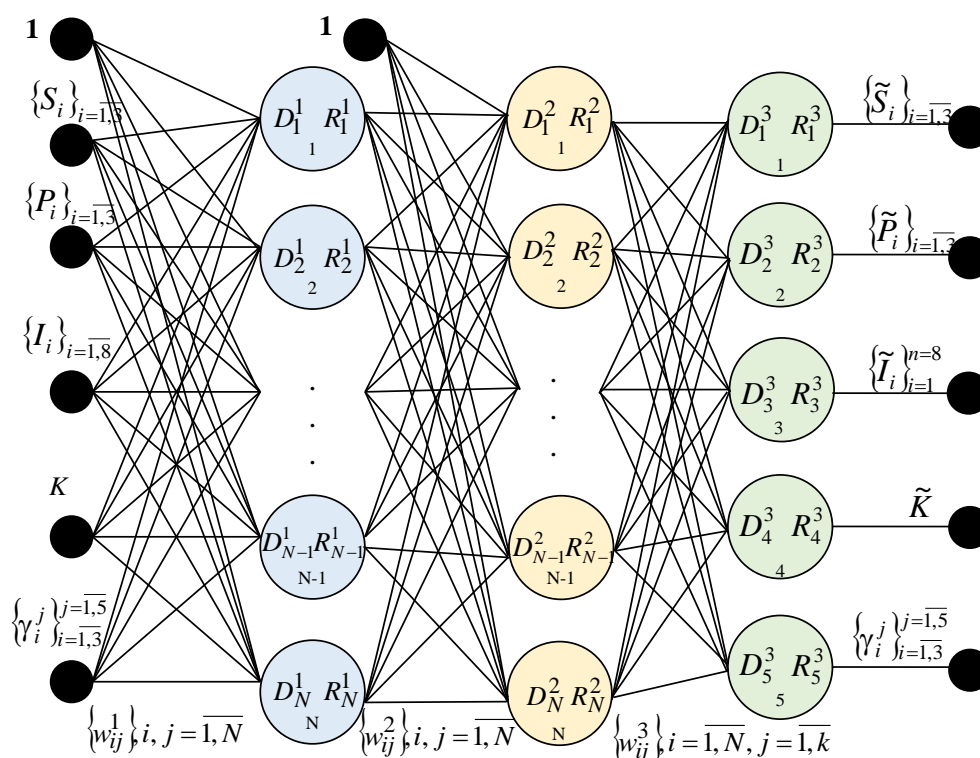


Рисунок 3.2 – Нейросетевая модель прогнозирования
(D – входной сигнал, R – выходной сигнал)

Входными данными в нейросетевой модели являются объемы бюджетных $\{S_i\}_{i=1,3}$ и частных инвестиций $\{P_i\}_{i=1,3}$ в ЧК, индикаторы направлений социаль-

но-экономического развития $\{I_i\}_{i=1,8}$, индекс-дефлятор K (для учета инфляционных процессов) и показатели оценки качественной структуры населения $\{\gamma_i^j\}_{i=1,3}^{j=1,5}$. Выходные данные нейронной сети – это прогнозные объемы бюджетных $\{\tilde{S}_i\}_{i=1}^{n=3}$ и частных $\{\tilde{P}_i\}_{i=1}^{n=3}$ инвестиций в человеческий капитал, индикаторов направлений социально-экономического развития $\{\tilde{I}_i\}_{i=1}^{n=8}$, индекс-дефлятора \tilde{K} и показатели оценки качественной структуры населения $\{\tilde{\gamma}_i^j\}_{i=1,3}^{j=1,5}$.

В каждом слое нейросетевой модели содержится N_p нейронов, $p=1, \dots, k$. Будем использовать следующие обозначения: w_{ij}^p – весовой коэффициент связи, соединяющий сигнал, выходящий из $(p-1)$ -го слоя i -го нейрона и входящий в j -й нейрон p -го слоя. Для каждого слоя коэффициенты представим в виде матрицы размером $(N_{p-1} + 1) \times N_p$:

$$\vec{W} = (w_{ij}^p), \quad p=1, \dots, k; \quad i=0, \dots, N_{p-1}; \quad j=1, \dots, N_p. \quad (3.18)$$

С алгоритмической точки зрения, выходные значения нулевого слоя u_j^0 следует приравнять к входящим в нейронную сеть сигналам x_j , где $x_0 \equiv 1$:

$$u_j^0 = x_j, \quad j=0, \dots, m. \quad (3.19)$$

В остальных слоях выходные значения нейронов вычисляются:

$$u_0^p = 1, \quad u_j^p = f(d_j^p), \quad p=1, \dots, k; \quad j=1, \dots, N_p, \quad (3.20)$$

где $f(d_j^p)$ – нелинейная активационная функция вида $f(t) = (1 + e^{-\xi t})^{-1}$, ξ – коэффициент активации.

Обозначим через d_j^p входящий сигнал в j -й нейрон p -го слоя, который определяется взвешенной суммой входящих в него сигналов:

$$d_j^p = \sum_{i=0}^{N_{p-1}} w_{ij}^p u_i^{p-1}. \quad (3.21)$$

Выходные значения последнего k -го слоя должны соответствовать y_j :

$$y_j = u_j^k, \quad j = 1, \dots, l. \quad (3.22)$$

Процесс обучения состоит в подстройке весовых коэффициентов w_{ij}^p [55].

Для обучения сети на входы подают входные данные $\mathbf{x}_q = (x_{q1}, x_{q2}, \dots, x_{qm})$ и сравнивают выходные значения сети с идеальными (заданными) значениями $\mathbf{r}_q = (r_{q1}, r_{q2}, \dots, r_{ql})$, $q = 1, \dots, n$.

На обучающем множестве данных реализуется алгоритм обучения многослойной нейронной сети методом обратного распространения ошибок, который относится к градиентным методам оптимизации [141]. Для определения весовых коэффициентов $\vec{W} = (w_{ij}^p)$ сети используется погрешность обучения сети, рассчитанная по формуле:

$$E_q(\vec{W}) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^l (y_{qj} - r_{qj})^2, \quad q = 1, \dots, n, \quad (3.23)$$

где y_{qj} – соответствует j -му выходу при подаче на вход q -го образа.

Алгоритм обратного распространения ошибок относится к градиентному методу. При подаче q -го наблюдения, коэффициенты будут изменяться по формуле:

$$\vec{W}(q) = \vec{W}(q-1) + (-\lambda \cdot \nabla E_q), \quad (3.24)$$

где $\vec{W}(q)$ – состояние вектора \vec{W} после обучения сети по q -му наблюдению; $\lambda \in (0; 1]$ – скорость обучения сети; ∇E_q – градиент функции $E_q(\vec{W})$, когда на вход подается q -й образ:

$$\nabla E_q = \left(\frac{\partial E_q}{\partial w_{ij}^p} \right), \quad p = 1, \dots, k; \quad i = 0, \dots, N_{p-1}; \quad j = 1, \dots, N_p. \quad (3.25)$$

В компонентной форме выражение (3.25) представим в виде:

$$w_{ij}^p(q) = w_{ij}^p(q-1) + \Delta w_{ij}^p, \quad \Delta w_{ij}^p = -\lambda \frac{\partial E_q}{\partial w_{ij}^p}. \quad (3.26)$$

Компоненты вектора (3.26) распишем следующим образом:

$$\frac{\partial E_q}{\partial w_{ij}^p} = \frac{\partial E_q}{\partial u_j^p} \frac{\partial u_j^p}{\partial d_j^p} \frac{\partial d_j^p}{\partial w_{ij}^p}, \quad (3.27)$$

где частную производную $\frac{\partial u_j^p}{\partial d_j^p}$, в соответствии с производной логистической

функции $\frac{\partial f(t)}{\partial d} = \xi f(t)(1 - f(t))$ представим в виде:

$$\frac{\partial u_j^p}{\partial d_j^p} = \xi \cdot u_j^p \cdot (1 - u_j^p). \quad (3.28)$$

Введем новую переменную δ_j^p следующим образом:

$$\delta_j^p = \frac{\partial E_q}{\partial u_j^p} \frac{\partial u_j^p}{\partial d_j^p}, \quad (3.29)$$

$$\frac{\partial E_q}{\partial u_j^p} = \sum_{i=1}^{N_{p+1}} \frac{\partial E_q}{\partial u_i^{p+1}} \frac{\partial u_i^{p+1}}{\partial d_i^{p+1}} \frac{\partial d_i^{p+1}}{\partial u_j^p} = \sum_{i=1}^{N_{p+1}} \frac{\partial E_q}{\partial u_i^{p+1}} \frac{\partial u_i^{p+1}}{\partial d_i^{p+1}} w_{ji}^{p+1}. \quad (3.30)$$

Тогда δ_j^p можно рекурсивно вычислять через данные $(p+1)$ -го слоя δ_j^{p+1} :

$$\delta_j^p = \left[\sum_{i=1}^{N_{p+1}} \delta_j^{p+1} w_{ji}^{p+1} \right] \cdot \alpha \cdot u_j^p \cdot (1 - u_j^p). \quad (3.31)$$

При $p=k$ из (3.21), (3.28) и (3.29), приравнивая $u_j^k = y_{qj}$, находим:

$$\delta_j^k = [u_j^k - r_{qj}] \cdot \alpha \cdot u_j^k \cdot (1 - u_j^k). \quad (3.32)$$

Последний множитель в формуле (3.27), согласно (3.21), равен: $\frac{\partial d_j^p}{\partial w_{ij}^p} = u_i^{p-1}$.

В результате на основании формул (3.26), (3.27), (3.29) получаем разностную схему:

$$w_{ij}^p(q) = w_{ij}^p(q-1) - \lambda \delta_j^p u_j^{p-1}. \quad (3.33)$$

Для того, чтобы обучить сеть, необходимо нормировать входные и выходные данные в области их определения. Если известно, что $x_j \in [a_j - h_j; b_j + h_j]$, то нормированные входные данные имеют вид:

$$\bar{x}_{qj} = \frac{x_{qj} - (b_j + a_j)/2}{(b_j - a_j)/2 + h_j}, q = 1, \dots, n. \quad (3.34)$$

Если известно, что изменение i -ой выходной функции находится в пределах $[\varphi_i^{\min}, \varphi_i^{\max}]$, то нормированные выходные данные имеют вид:

$$\bar{r}_{qi} = \frac{r_{qi} - \varphi_i^{\min}}{\varphi_i^{\max} - \varphi_i^{\min}}, q = 1, \dots, n. \quad (3.35)$$

Чтобы получить реальные значения выходных данных, необходимо сделать обратное преобразование:

$$y_{qi} = \varphi_i^{\min} + \bar{y}_{qi} (\varphi_i^{\max} - \varphi_i^{\min}), q = 1, \dots, n. \quad (3.36)$$

где y_{qi} – выходные реальные статистические данные; \bar{y}_{qi} – выходные нормированные значения при поданном на вход сети q -м образе.

Качество обучения сети определяется погрешностью обучения:

$$\tilde{E}(\bar{W}) = 100 \sqrt{\frac{2}{l \cdot n} \sum_{q=1}^n E_q(\bar{W})}. \quad (3.37)$$

Статистическая информация по социально-экономическим показателям делится на два множества: обучающее множество, а также тестовое, которое представляет из себя участок ретропрогноза. Погрешность расчетов определяется по формуле:

$$\tilde{\varepsilon} = \frac{1}{N^{test}} \sum_{t \in \Omega^{test}} \frac{|y_t^* - y_t^r|}{y_t^r}, \quad (3.38)$$

где N^{test} – количество элементов в Ω^{test} ; y^* – значения, полученные по ИНС; y^r – заданные статистические данные.

Представим блок-схему нейросетевого алгоритма прогнозирования на рисунке 3.3.

Для обучения нейронной сети производится нормировка входных и выходных данных в диапазоне $[0;1]$ в области их определения.

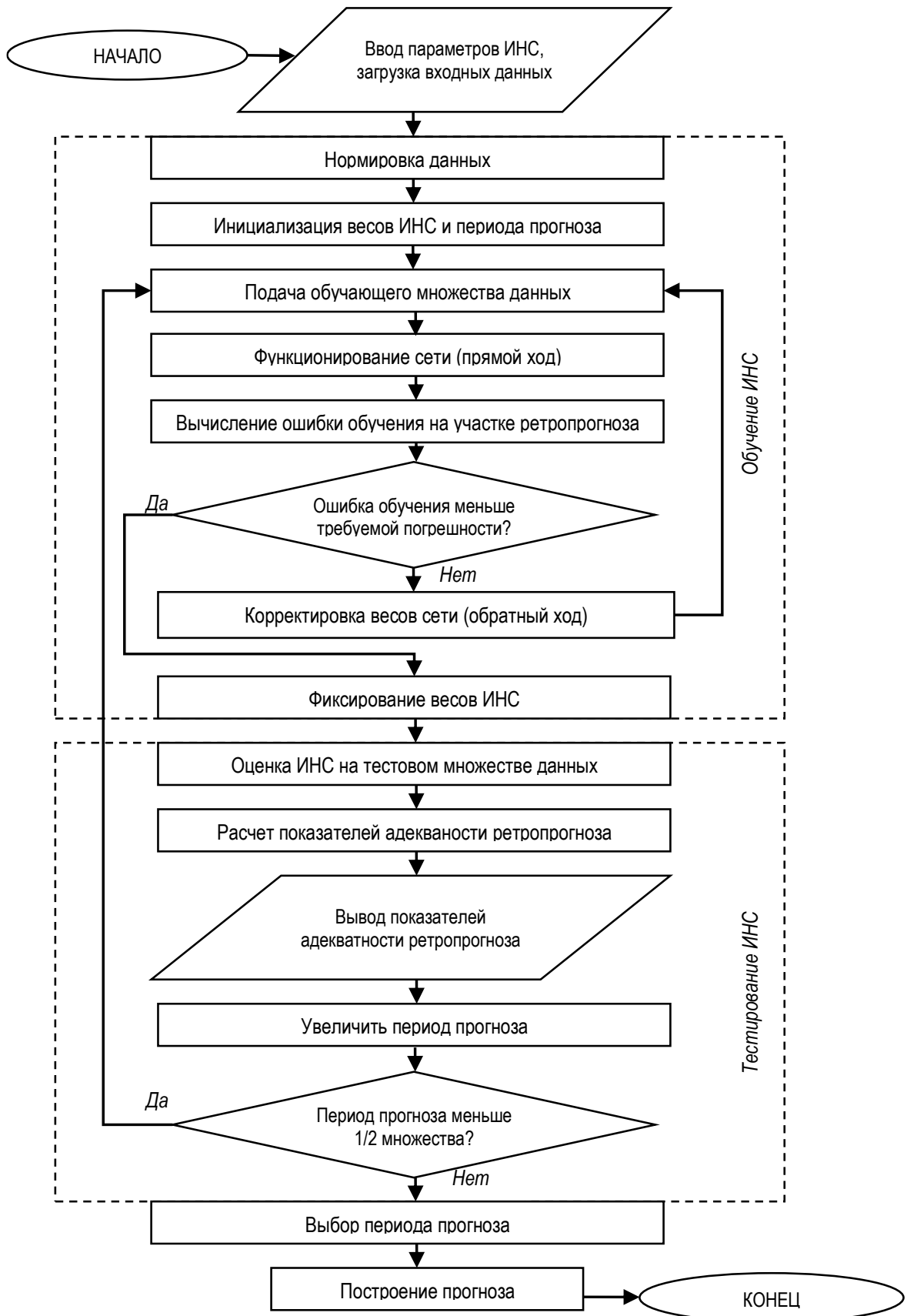


Рисунок 3.3 – Блок-схема нейросетевого алгоритма прогнозирования

Для выбора структуры нейросетевой модели используется теорема А.Н. Колмогорова, согласно которой при N входных нейронах при обучении достаточно использовать $(2N + 1)$ нейронов при этом максимальное количество скрытых слоев может не превышать двух [85].

Для решения задачи прогнозирования вводится период прогноза, оптимальное значение которого подбирается на основе минимизации погрешности в ходе тестирования нейросетевого алгоритма на ретроспективных данных.

3.3 Решение задачи прогнозирования инвестиций в составляющие человеческого капитала

Решение задачи прогнозирования инвестиций в составляющие ЧК рассмотрим на примере статистических данных по Удмуртской Республике.

Статистические данные о динамике бюджетных инвестиций, направленных на развитие ЧК, в УР взяты с официального сайта Казначейства РФ [142, 143], данные о динамике и объеме частных инвестиций в ЧК – с официального сайта Федеральной службой государственной статистики [144].

Динамика индикаторов направлений социально-экономического развития УР представлена в отчетах Территориального органа государственной статистики [145], Федеральной службы государственной статистики РФ [146], федеральных статистических наблюдений по социально-демографическим проблемам [147].

Для решения задачи прогнозирования объемов бюджетных и частных инвестиций в ЧК УР используется нейросетевой алгоритм (3.18-3.38), блок-схема которого показана на рисунке 3.3. В данном алгоритме помимо ранее описанных показателей входными данными являются индикаторы направлений социально-экономического развития региона. Рассмотрим их более подробно. В таблице 3.1 представлены базовые индикаторы, наиболее полно характеризующие каждое из восьми основных направлений [140], влияющих на развитие социально-экономической системы региона.

Таблица 3.1 – Базовые индикаторы направлений социально-экономического развития региона

№ п/п	Направление социально-экономического развития	Индикатор	Обозначение
1	Производство товаров и услуг, объемы	Валовой региональный продукт	I_1
2	Материальное благосостояние	Среднедушевые денежные доходы	I_2
3	Производство товаров и услуг на душу	Производство товаров и услуг на душу населения	I_3
4	Качество социальной сферы	Площадь введенного жилья	I_4
5	Социальная безопасность	Количество зарегистрированных преступлений	I_5
6	Демография	Естественный прирост населения	I_6
7	Здоровье	Смертность в трудоспособном возрасте	I_7
8	Субъективное благосостояние	Минимально необходимый месячный доход	I_8

Динамика базовых индикаторов направлений социально-экономического развития УР за период 2000-2020 годы представлена в таблице 3.2; динамика годовых бюджетных и частных инвестиций, направленных на развитие ЧК УР, за период 2000-2020 годы – в таблице 3.3.

В ходе тестирования нейросетевого алгоритма прогнозирования на участке ретропрогноза выполнялся подбор оптимального периода прогноза (см. таблицу 3.4). В качестве тестового множества Ω^{test} рассмотрен участок $t \in [2013; 2020]$.

Таблица 3.4 – Тестирование нейросетевого алгоритма и подбор периода прогноза

Период ретроспективности данных	1 год	2 года	3 года	4 года	5 лет	6 лет	7 лет	8 лет
Средняя относительная погрешность прогнозирования на тестовом множестве ($\bar{\delta}$), %	6,3	6,1	5,3	4,6	4,0	4,3	4,7	5,1

Таблица 3.2 – Базовые индикаторы основных направлений социально-экономического развития УР за 2000-2020 годы

Показатель	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Валовой региональный продукт (в текущих ценах), млн. руб.	53307	65551	78346	89034	100833,1	139995,3	164848,5	205647,4	243135,5	230938,3	274578,1
Среднедушевые денежные доходы (в текущих ценах), руб./мес.	1478,4	1974,5	2466,7	3098,1	4657,0	6373,0	7798,1	7823,8	9586,6	11060,0	12983,6
Производство товаров и услуг на душу населения (в текущих ценах), тыс. руб./чел.	33,5	41,4	49,8	56,9	64,7	90,3	106,9	133,9	158,9	151,3	180,3
Ввод жилья, тыс. кв. м.	257	277	354	315	361	372	424	483	486	465	482,0
Количество зарегистрированных преступлений, тыс. ед.	30,1	30,5	24,5	33,0	37,0	54,2	65,3	53,0	44,9	38,8	32,7
Естественный прирост населения, чел.	-5596	-6174	-6774	-6589	-5756	-6816	-4531	-2060	-1015	882	584
Смертность в трудоспособном возрасте, чел.	4498	5120	5456	5853	5859	5781	4912	4753	4553	3955	4063
Минимально необходимый месячный доход (в среднем на домохозяйство), руб./мес.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Индекс-дефлятор (к предыдущему году)	1,376	1,165	1,156	1,138	1,203	1,193	1,152	1,138	1,180	1,020	1,142

Продолжение таблицы 3.2

Показатель	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Валовой региональный продукт (в текущих ценах), млн. руб.	335984,0	372782,7	405126,4	450548,9	517999,8	531855,8	552303,5	679938,9	721345,1	*
Среднедушевые денежные доходы (в текущих ценах), руб./мес.	14452,3	16693,6	17776,7	20164,5	24255,1	23621,4	23994,5	23827,1	25066,4	25443,2
Производство товаров и услуг на душу населения (в текущих ценах), тыс. руб./чел.	221,1	245,6	267,0	296,9	341,4	350,6	364,6	450,2	479,5	*
Ввод жилья, тыс. кв. м.	504,9	516,1	545,6	612,3	648,5	650,1	658,6	717,1	762,2	802,6
Количество зарегистрированных преступлений, тыс. ед.	28,0	27,4	27,0	26,9	29,5	26,2	24,2	25,3	27,0	28,1
Естественный прирост населения, чел.	1547	3699	2806	2599	2630	1822	-258	-1656	-3269	-6580
Смертность в трудоспособном возрасте, чел.	3761	3455	3211	3176	2949	2878	2584	2412	3121	4373
Минимально необходимый месячный доход (в среднем на домохозяйство), руб./мес.	45,018	*	57,704	60,644	65,113	67,518	67,991	71,362	*	*
Индекс-дефлятор (к предыдущему году)	1,159	1,091	1,054	1,075	1,072	1,028	1,053	1,100	1,030	1,007

* отсутствуют статистические данные

Таблица 3.3 – Бюджетные и частные инвестиции, направленные на развитие ЧК УР за 2000-2020 гг., в текущих ценах

Показатель	Временной интервал, год	Год, млн. руб.										
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Расходы консолидированного бюджета УР и территориальных государственных внебюджетных фондов												
Бюджетные инвестиции в здравоохранение и спорт		1459,3	1652,8	2492,5	2704,0	3189,9	4790,4	6792,7	13846,9	15705,2	11632,4	11966,7
Здравоохранение	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	1382,3	1593,7	2418,4	2495,5	2971,6	4537,7	6434,3	13116,4	14876,6	9697,7	10500,7
Спорт и физическая культура	$3 \leq \tau \leq \tau_m$	42,0	53,7	65,8	81,1	83,8	137,9	195,5	398,6	452,1	240,7	680,9
Прочие расходы в области здравоохранения и спорта	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	35,0	5,4	8,3	127,4	134,5	114,8	162,8	331,9	376,4	1694,0	785,1
Бюджетные инвестиции в культуру		307,7	319,8	475,5	584,6	661,9	2433,0	3099,3	4204,6	3230,0	2102,1	1916,9
Культура	$3 \leq \tau \leq \tau_m$	235,7	252,9	408,5	435,7	526,7	1874,7	2388,1	3239,7	2488,8	1397,6	1642,3
Кинематография	$3 \leq \tau \leq \tau_m$	16,2	3,2	4,0	3,4	3,5	13,5	17,2	23,3	17,9	0,2	107,9
Телевидение и радиовещание	$3 \leq \tau \leq \tau_m$	28,3	34,9	24,9	79,9	72,1	298,8	380,6	516,3	396,6	78,9	83,6
Периодическая печать и издательства	$7 \leq \tau \leq \tau_m$	27,5	28,8	35,1	60,1	50,4	217,7	277,3	376,2	289,0	97,2	78,9
Прочие расходы в области культуры и СМИ	$3 \leq \tau \leq \tau_m$	–	–	–	5,5	9,2	28,4	36,1	49,0	37,6	528,2	4,2
Бюджетные инвестиции в образование		2125,3	2535,7	3732,6	3954,6	4781,9	5425,5	7529,0	9224,9	10386,9	12386,9	13419,9
Дошкольное образование	$3 \leq \tau \leq 6$	528,7	670,2	926,9	963,8	1144,8	1349,6	1872,8	2294,7	2583,7	3029,3	3306,2
Общее образование	$7 \leq \tau \leq 17$	1333,1	1566,3	2394,0	2448,4	3020,2	3403,2	4722,6	5786,4	6515,3	6752,7	7152,0
Начальное профессиональное образование	$14 \leq \tau \leq 17$	2,7	4,2	5,3	5,5	6,6	6,9	9,6	11,7	13,2	711,0	666,6
Среднее профессиональное образование	$18 \leq \tau \leq 21$	60,4	73,4	107,0	109,6	139,2	154,2	214,0	262,2	295,2	417,1	455,0
Переподготовка и повышение квалификации	$25 \leq \tau \leq 59$	16,6	20,8	28,7	32,5	37,3	42,3	58,6	71,9	80,9	58,1	55,2
Высшее профессиональное образование	$18 \leq \tau \leq 23$	5,3	9,4	8,8	9,4	10,5	13,4	18,6	22,8	25,7	–	–
Молодежная политика и оздоровление детей	$3 \leq \tau \leq 59$	178,6	204,9	261,8	385,4	423,2	455,9	632,7	775,2	872,9	207,7	516,2
Другие вопросы в области образования	$3 \leq \tau \leq \tau_m$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1211,0	1271,3
Итого		3892,3	4508,3	6700,6	7243,2	8633,7	12648,9	17421	27276,4	29322,1	26121,4	27303,5
Расходы из федерального бюджета РФ и государственных внебюджетных фондов в УР												
Бюджетные инвестиции в здравоохранение и спорт	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Бюджетные инвестиции в культуру	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Бюджетные инвестиции в образование и науку	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Итого		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Частные инвестиции населения УР												
Частные инвестиции в здравоохранение и спорт	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	412,2	654,0	875,7	1269,6	1677,3	2355,7	3080,0	3871,1	4722,8	4867,7	5996,2
Частные инвестиции в культуру и отдых	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	423,2	936,2	1249,7	2479,8	3276,2	4601,2	6015,9	7561,1	9224,6	11565,5	12525,5
Частные инвестиции в образование и науку	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	250,2	305,9	342,5	366,9	482,5	674,4	877,3	1098,0	1335,0	2436,6	2410,2
Итого		1085,6	1896,1	2467,9	4116,3	5436,0	7631,3	9973,1	12530,1	15282,4	18869,7	20931,9

* отсутствуют статистические данные

Продолжение таблицы 3.3

Показатель	Временной интервал, год	Год, млн. руб.									
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Расходы консолидированного бюджета УР и территориальных государственных внебюджетных фондов											
Бюджетные инвестиции в здравоохранение и спорт		15018,0	21482,0	23095,2	23801,1	26477,7	27383,1	21195,2	24996,2	28979,3	36832,9
Здравоохранение	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	13915,3	20234,3	21418,6	22390,7	25107,9	25418,6	19362,0	23224,9	26585,1	34540,3
Спорт и физическая культура	$3 \leq \tau \leq \tau_m$	1102,7	1247,7	1676,6	1410,4	1369,8	1964,5	1833,2	1741,3	2394,2	2292,6
Прочие расходы в области здравоохранения и спорта	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Бюджетные инвестиции в культуру		2211,4	2460,3	2768,9	3679,7	3634,4	3666,0	3868,5	4623,0	5090,3	4883,8
Культура	$3 \leq \tau \leq \tau_m$	1861,2	2039,2	2230,4	3084,7	2965,5	2904,2	3043,8	3444,7	3850,8	3876,6
Кинематография	$3 \leq \tau \leq \tau_m$	143,2	201,4	354,7	407,4	443,0	487,1	565,2	905,7	953,0	711,5
Телевидение и радиовещание	$3 \leq \tau \leq \tau_m$	95,6	104,5	83,0	80,5	84,5	105,5	96,8	80,3	123,2	121,1
Периодическая печать и издательства	$7 \leq \tau \leq \tau_m$	106,7	111,5	96,0	104,3	120,5	143,8	145,6	175,9	149,3	145,6
Прочие расходы в области культуры, кинематографии и СМИ	$3 \leq \tau \leq \tau_m$	4,7	3,7	4,8	2,8	20,9	25,4	17,1	16,4	13,9	29,0
Бюджетные инвестиции в образование		15300,3	19718,0	24802,1	26549,2	26349,0	26914,0	26469,3	31207,0	35321,7	35535,9
Дошкольное образование	$3 \leq \tau \leq 6$	3909,7	5201,5	7654,5	8454,7	7900,5	7518,0	7373,2	9596,1	11026,8	10102,1
Общее образование	$7 \leq \tau \leq 17$	8720,9	10841,2	12837,3	14041,4	14471,7	14920,4	13323,1	14867,6	17200,7	17702,1
Начальное профессиональное (с 2017 года – дополнительное образование детей)	$14 \leq \tau \leq 17$	641,5	703,1	696,5	–	–	–	1673,3	2003,3	2460,6	2270,8
Среднее профессиональное образование	$18 \leq \tau \leq 21$	564,4	1131,9	1218,7	1874,3	1820,1	1958,5	1908,9	2261,7	2207,9	2463,7
Переподготовка и повышение квалификации	$25 \leq \tau \leq 59$	51,7	78,5	80,0	83,5	84,9	82,8	82,2	89,9	67,6	68,1
Высшее профессиональное образование	$18 \leq \tau \leq 23$	–	–	–	–	–	–	–	–	0,1	–
Молодежная политика	$3 \leq \tau \leq 59$	537,6	323,3	330,0	338,9	268,0	634,3	588,4	729,8	753,2	808,9
Другие вопросы в области образования	$3 \leq \tau \leq \tau_m$	867,4	1438,5	1985,2	1756,4	1803,8	1800,0	1520,2	1658,6	1604,9	2120,2
Итого		32529,7	43660,3	50666,2	54030,0	56461,1	57963,1	51533,0	60826,2	69391,3	77252,6
Расходы из федерального бюджета РФ и государственных внебюджетных фондов в УР											
Бюджетные инвестиции в здравоохранение и спорт	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	*	*	*	*	987,3	1150,1	960,4	1065,1	2045,1	4500,7
Бюджетные инвестиции в культуру	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	*	*	*	*	10,2	13,4	44,4	50,9	255,8	318,9
Бюджетные инвестиции в образование и науку	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	*	*	*	*	505,3	618,1	888,1	1440,7	1449,4	2078,8
Итого		*	*	*	*	1502,8	1781,6	1892,9	2556,7	3750,3	6898,4
Частные инвестиции населения УР											
Частные инвестиции в здравоохранение и спорт	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	7155,8	7822,7	9041,0	9629,1	9826,9	10726,4	11644,3	11952,0	13307,8	13566,2
Частные инвестиции в культуру и отдых	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	13996,6	16033,8	18089,3	17995,9	19091,4	19560,4	21168,9	24724,8	28985,3	21793,9
Частные инвестиции в образование и науку	$1 \leq \tau \leq \tau_m$	2455,7	2912,5	2434,5	2387,0	2680,2	2413,8	2339,7	2553,5	2995,5	4029,2
Итого		23608,1	26769,0	29564,7	30011,9	31598,5	32700,7	35152,8	39230,4	45288,6	39389,3

* отсутствуют статистические данные

Для прогнозирования инвестиций, направленных в ЧК, выбран период прогноза, равный 5 годам, поскольку в этом случае средняя относительная погрешность минимальная. В таблице 3.5 приведены результаты проверки точности и адекватности прогноза бюджетных и частных инвестиций в образование, здоровье и культуру населения УР, в соответствии с п. 1.3.

Таблица 3.5 – Показатели качества и точности ретропрогноза $t \in [2015; 2020]$ по нейросетевому алгоритму с учетом факторов внешней среды

№ п/п	Показатель	Ретропрогноз						Среднее значение показателя
		инвестиций в образование		инвестиций в здоровье		инвестиций в культуру		
		S_1	P_1	S_2	P_2	S_3	P_3	
1	Индекс корреляции расчетных и статистических значений (r)	0,74	0,71	0,77	0,69	0,79	0,86	0,76
2	Индекс детерминации (R^2)	0,82	0,86	0,89	0,85	0,93	0,95	0,85
3	Средняя относительная погрешность на участке ретропрогноза ($\bar{\delta}$), %	4,12	3,60	4,33	3,28	5,02	3,42	3,97

Для сравнения нейросетевой алгоритм прогнозирования количественных и качественных составляющих ЧК был протестирован на исследуемом наборе данных без учета показателей внешней среды во входных данных (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Показатели качества и точности ретропрогноза $t \in [2015; 2020]$ по нейросетевому алгоритму без учета факторов внешней среды

№ п/п	Показатель	Ретропрогноз						Среднее значение показателя
		инвестиций в образование		инвестиций в здоровье		инвестиций в культуру		
		S_1	P_1	S_2	P_2	S_3	P_3	
1	Индекс корреляции расчетных и статистических значений (r)	0,65	0,62	0,71	0,56	0,69	0,58	0,64
2	Индекс детерминации (R^2)	0,71	0,74	0,73	0,69	0,70	0,64	0,70
3	Средняя относительная погрешность на участке ретропрогноза ($\bar{\delta}$), %	11,39	10,14	10,97	12,89	13,66	11,16	11,70

Расчеты показывают, что на исследуемых данных нейросетевой алгоритм, учитывающий влияние внешних факторов (таблица 3.5), позволил достичь более высокой точности на участке ретропрогноза по сравнению с алгоритмом без учета влияния внешних факторов (таблица 3.6) региональной социально-экономической системы. Точность прогнозирования повысилась на 7-9 %. Далее в расчетах использовался нейросетевой алгоритм прогнозирования социально-экономических показателей с учетом факторов внешней среды.

На рисунках 3.4-3.6 представлена динамика бюджетных и частных инвестиций в текущих ценах за 2000-2020 годы и их прогноз, полученный с использованием обученной нейросетевой модели, на период до 2025 года.

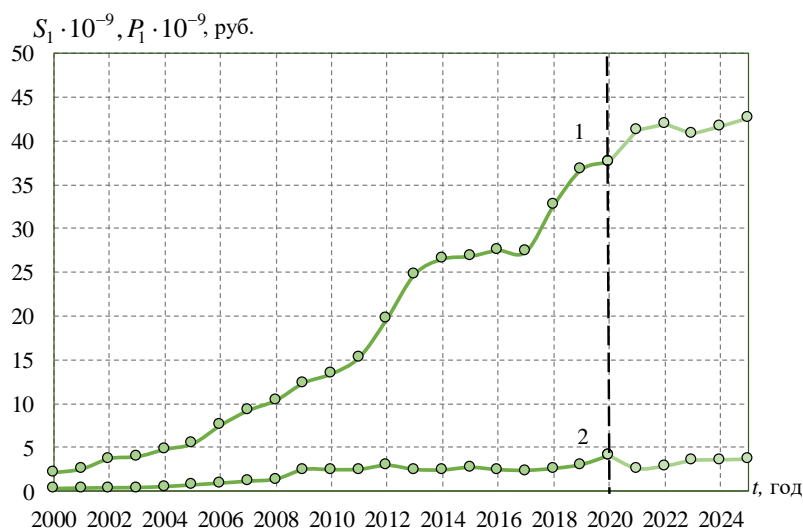


Рисунок 3.4 – Динамика инвестиций в образование населения УР в текущих ценах за 2000-2020 годы и их прогноз до 2025 года: бюджетные (1), частные (2)

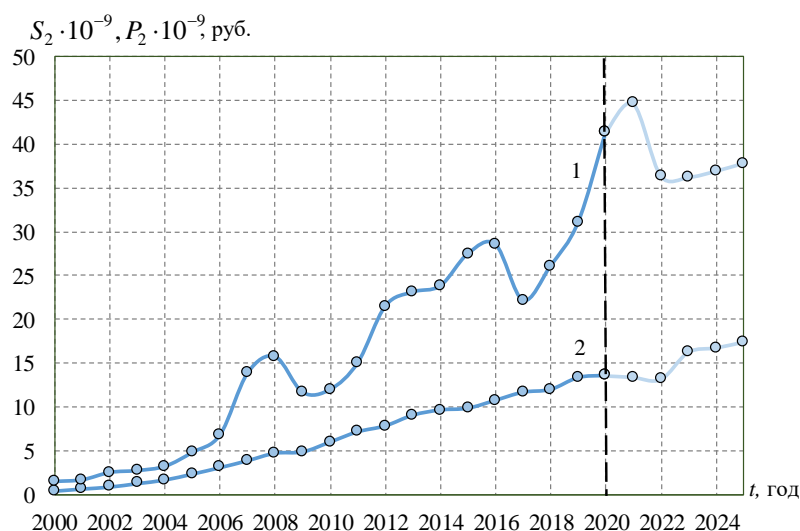


Рисунок 3.5 – Динамика инвестиций в здоровье населения УР в текущих ценах за 2000-2020 годы и их прогноз до 2025 года: бюджетные (1), частные (2)

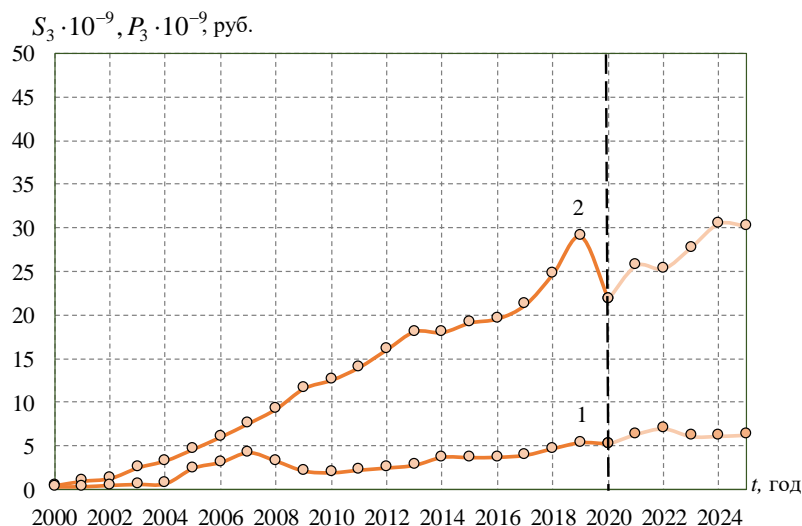


Рисунок 3.6 – Динамика инвестиций в культуру населения УР в текущих ценах за 2000-2020 годы и их прогноз до 2025 года: бюджетные (1), частные (2)

Средняя погрешность модельных значений составляющих ЧК на участке ретропрогноза 2015-2020 годы составила 3,97%.

Представляет интерес сравнение динамики изменения инвестиций в составляющие ЧК в сопоставимых ценах. На рисунке 3.7 представлена динамика годовых бюджетных инвестиций в УР в качественные составляющие ЧК, на рисунке 3.8 – частных инвестиций граждан. На период до 2025 года осуществлен прогноз этих показателей.

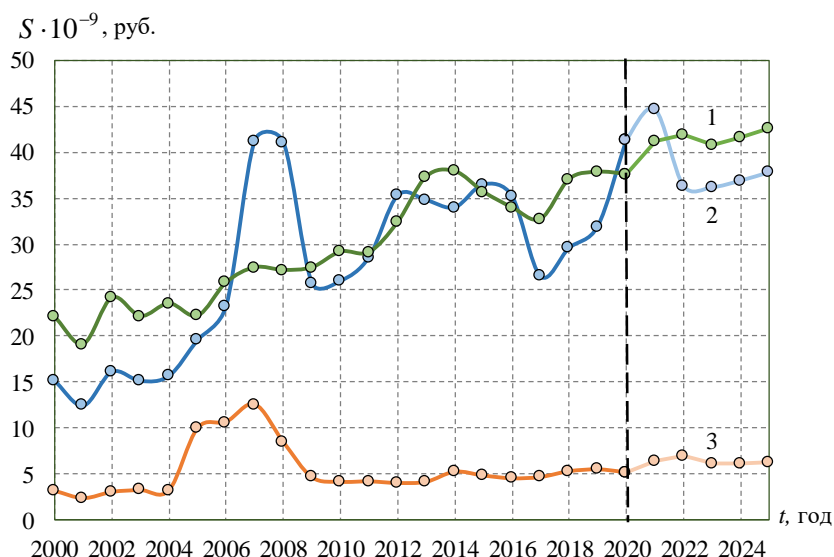


Рисунок 3.7 – Фактическая и прогнозная динамика годовых бюджетных инвестиций в УР в ценах 2020 года: образование (1), здоровье (2), культура (3)

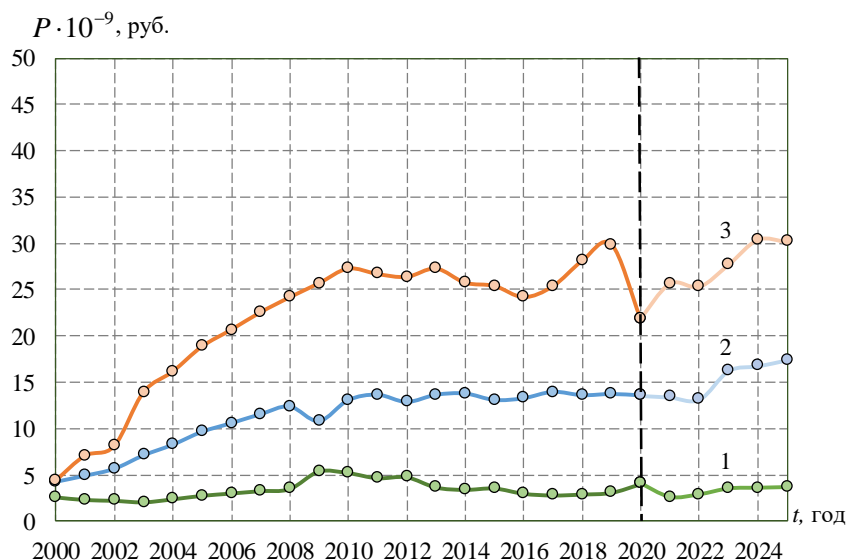


Рисунок 3.8 – Фактическая и прогнозная динамика годовых частных инвестиций в УР в ценах 2020 года: образование (1), здоровье (2), культура (3)

Прогнозируется среднегодовое увеличение бюджетных инвестиций на период 2021-2025 годы в составляющую образования – на 0,1%, в составляющую здоровья на 2,2%, в составляющую культуры – на 1,1%. Средний ежегодный прирост объема частных инвестиций за период 2021-2025 годы прогнозируется 4,7%, 3,9% и 1,6% соответственно.

На рисунке 3.9 приведено изменение структуры инвестиций в ЧК по его составляющим (образование, здоровье, культура) за период 2000-2020 годы и прогноз до 2025 года.

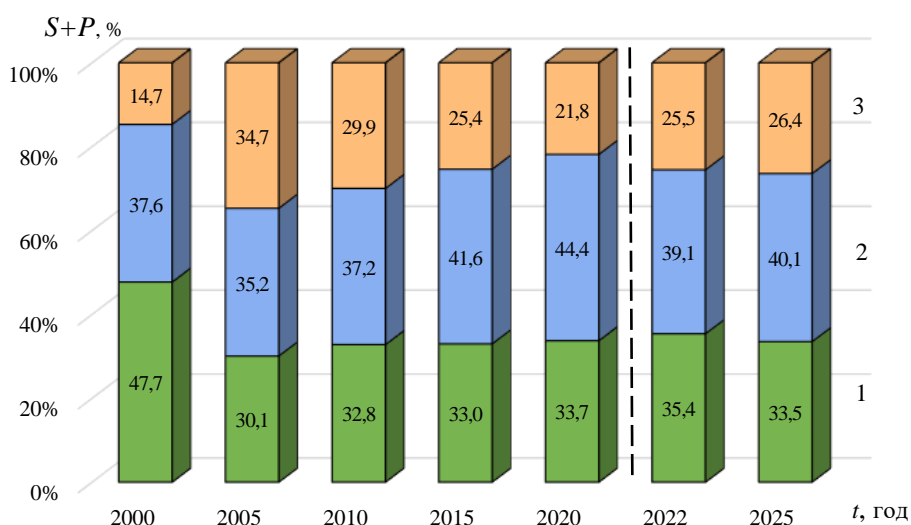


Рисунок 3.9 – Структура инвестиций в ЧК УР за 2000-2020 годы и ее прогноз до 2025 года: образование (1), здоровье (2), культура (3)

В начале изучаемого периода, в 2000 году, капиталовложения в образование составляли 47,7% от общего значения инвестиций в ЧК, в здоровье – 37,6%, культуру – 14,7%. С течением времени, к 2020 году, структура инвестиций в ЧК изменилась: образование – 33,8%, здоровье – 42,3%, культура – 23,9%. Произошел структурный сдвиг в сторону составляющей здоровья и культуры, в то время как составляющая образования уменьшилась. Это объясняется существенным увеличением доли частных инвестиций граждан в составляющую здоровья с 8,3% до 12,6% и частных инвестиций граждан в составляющую культуры с 8,5% до 24,1%, при этом доля бюджетных инвестиций в образование уменьшается с 42,7% до 31,8%.

3.4 Методика определения весовых коэффициентов для составляющих человеческого капитала

Рассмотрим задачу моделирования весовых коэффициентов $\bar{\gamma}_i$ для составляющих ЧК: образование, здоровье, культура. Для решения данной задачи потребуются результаты оценки структуры населения по качественным признакам $\{\gamma_i^j\}, i = \overline{1,3}; j = \overline{1,5}$ в п.п. 2.2-2.4. Они были рассчитаны для социально-экономической системы региона в соответствии с имеющейся статистикой по годам. Для их прогноза использован нейросетевой алгоритм (3.18)–(3.38).

На рисунке 3.10, а-д представлены результаты кластеризации населения экономической системы УР по уровню образования и прогноз до 2025 года.

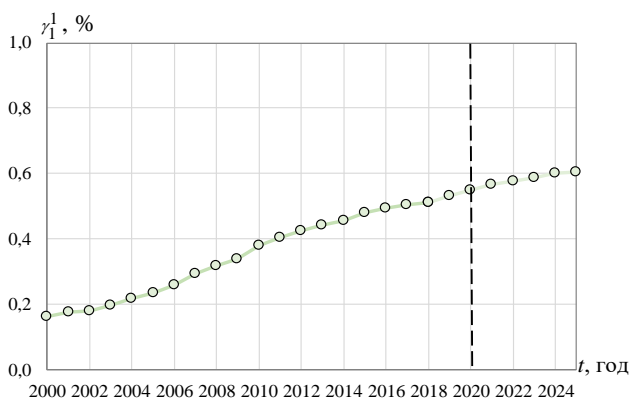


Рисунок 3.10, а – Доля людей, имеющих ученую степень в УР в возрасте 15-72 года

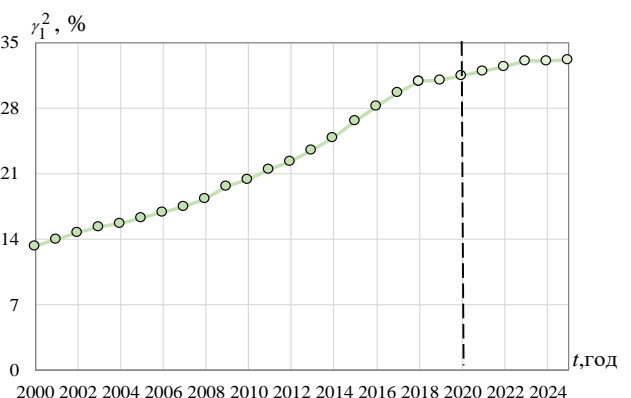


Рисунок 3.10, б – Доля людей, имеющих высшее образование в УР в возрасте 15-72 года

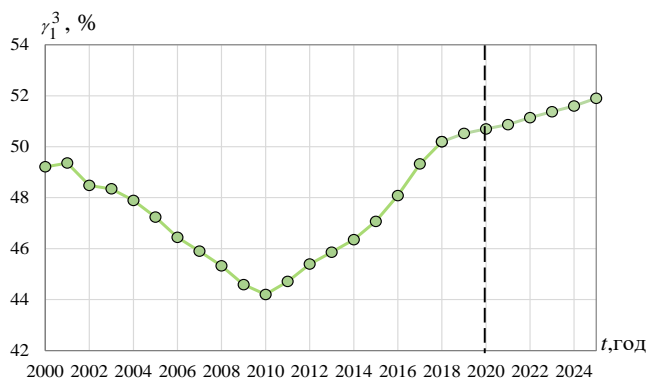


Рисунок 3.10, в – Доля людей, имеющих среднее профессиональное или неполное высшее образование в УР в возрасте 15-72 года

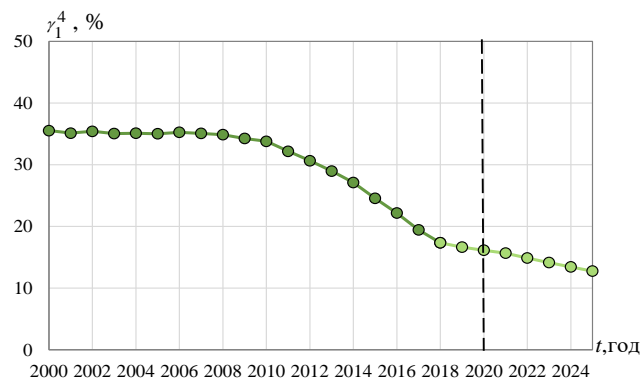


Рисунок 3.10, г – Доля людей, имеющих среднее или основное общее образование в УР в возрасте 15-72 года

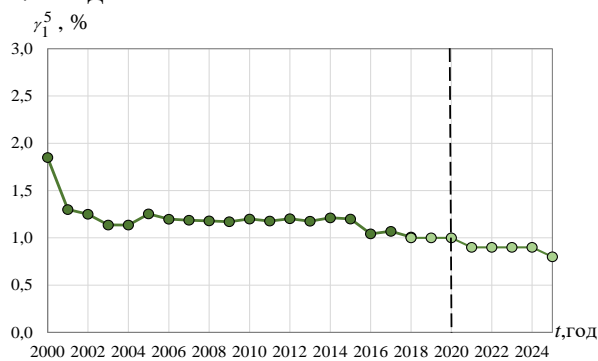


Рисунок 3.10, д – Доля людей, не имеющих образования в УР в возрасте 15-72 года

На рисунке 3.11, а-д результаты кластеризации населения экономической системы УР по состоянию здоровья и прогноз до 2025 года.

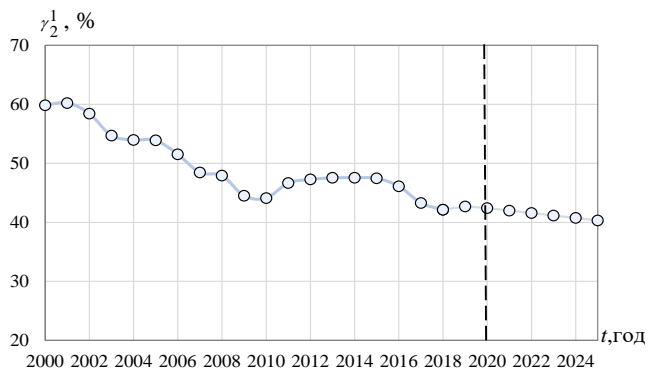


Рисунок 3.11, а – Доля здоровых людей в УР в возрасте 15-72 года

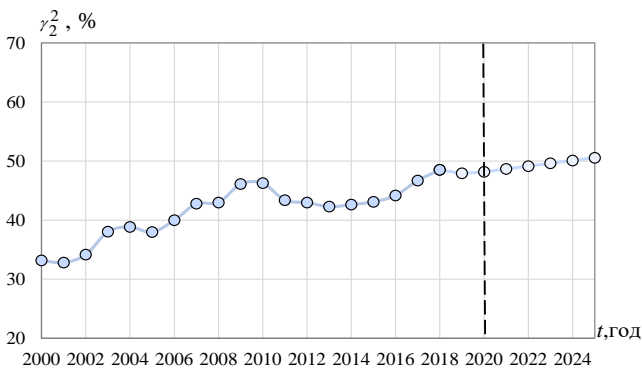


Рисунок 3.11, б – Доля хронически больных людей в УР в возрасте 15-72 года

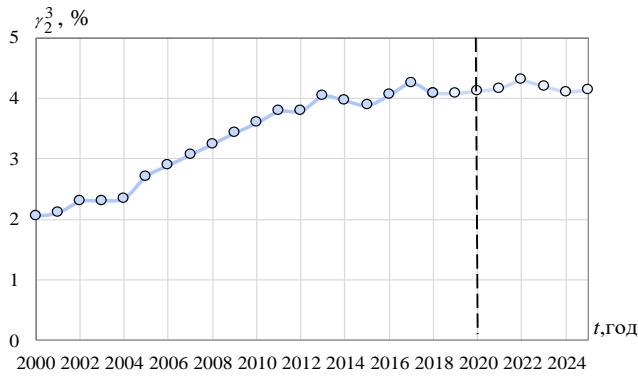


Рисунок 3.11, в – Доля инвалидов 3 группы в УР в возрасте 15-72 года

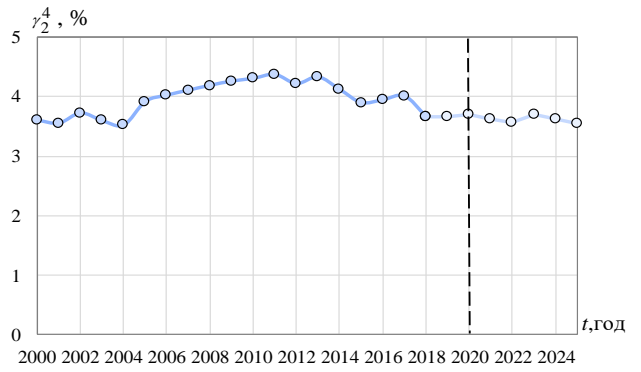


Рисунок 3.11, г – Доля инвалидов 2 группы в УР в возрасте 15-72 года

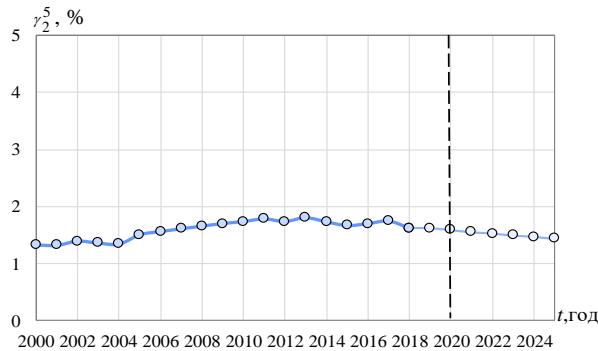


Рисунок 3.11, д – Доля инвалидов 1 группы в УР в возрасте 15-72 года

На рисунке 3.12, а-д приведены результаты кластеризации населения экономической системы УР по уровню культуры и прогноз до 2025 года.

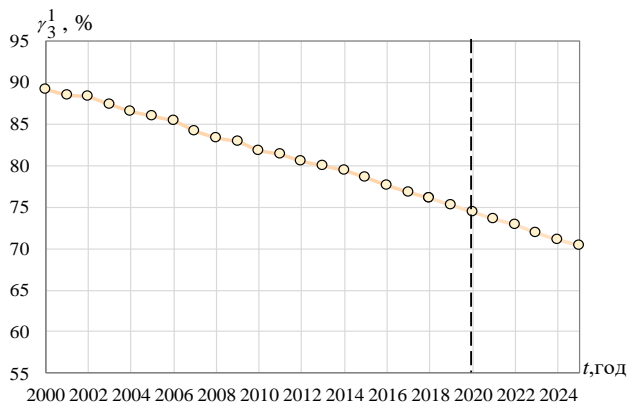


Рисунок 3.12, а – Доля людей, не имеющих судимость, в УР в возрасте 15-72 года

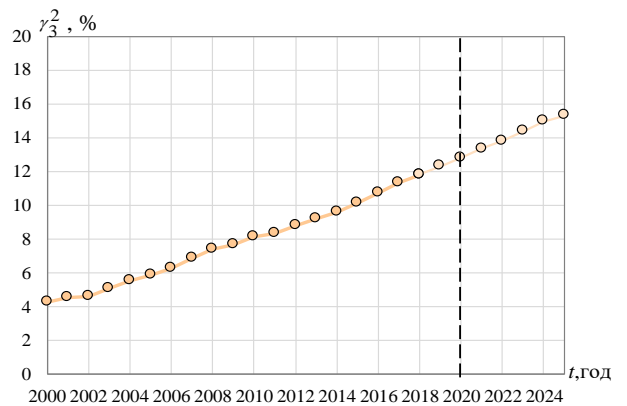


Рисунок 3.12, б – Доля людей, имеющих судимость по преступлениям небольшой тяжести в УР в возрасте 15-72 года

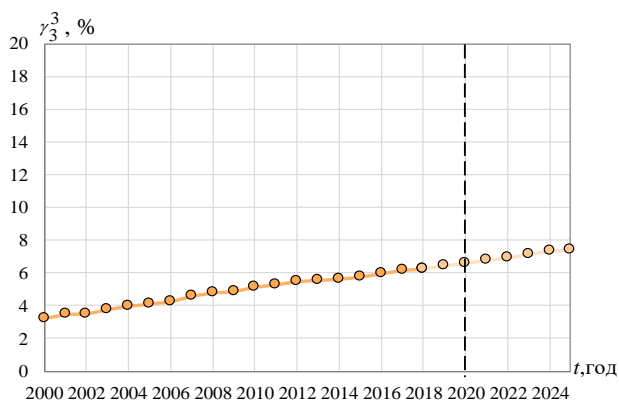


Рисунок 3.12, в – Доля людей, имеющих судимость по преступлениям средней тяжести в УР в возрасте 15-72 года

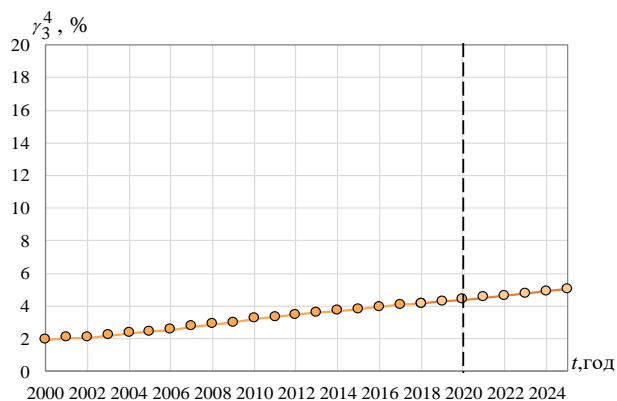


Рисунок 3.12, г – Доля людей, имеющих судимость по тяжким преступлениям, в УР в возрасте 15-72 года

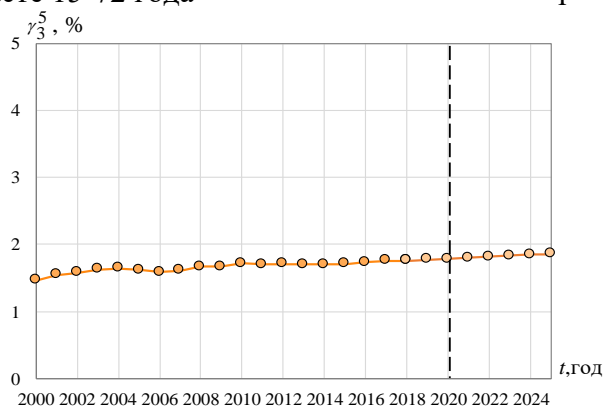


Рисунок 3.12, д – Доля людей, имеющих судимость по особо тяжким преступлениям в УР в возрасте 15-72 года

Прогноз структуры населения по качественным составляющим человеческого капитала УР до 2025 года представлен в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Прогнозные данные по составляющим ЧК УР до 2025 года, %

Доля населения	Период прогноза (год)					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Уровень образования x_1						
γ_1^1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
γ_1^2	31,5	32,0	32,5	33,0	33,1	33,2
γ_1^3	50,7	50,7	51,0	51,2	51,6	51,9
γ_1^4	16,3	15,8	15,0	14,3	13,8	13,5
γ_1^5	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8
$\sum \gamma_1^j, j = \overline{1,5}$	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Уровень здоровья x_2						
γ_2^1	42,1	41,8	41,6	41,2	40,7	40,3
γ_2^2	48,2	48,8	49,0	49,4	50,1	50,6
γ_2^3	4,1	4,2	4,3	4,2	4,1	4,1

Доля населения	Период прогноза (год)					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
γ_2^4	3,7	3,6	3,6	3,7	3,6	3,6
γ_2^5	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,4
$\sum \gamma_2^j, j = \overline{1,5}$	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Уровень культуры x_3						
γ_3^1	74,4	73,6	72,9	71,9	71,0	70,4
γ_3^2	12,8	13,3	13,8	14,4	15,0	15,3
γ_3^3	6,6	6,8	6,9	7,1	7,3	7,4
γ_3^4	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,0
γ_3^5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9
$\sum \gamma_3^j, j = \overline{1,5}$	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Таким образом, в структуре населения УР к 2025 году прогнозируется:

- по уровню образования: рост доли населения, имеющего ученую степень, до 0,6% (для сравнения в 2020 году – 0,5%), рост доли населения, имеющего высшее образование, до 33,2% (в 2020 году – 31,5%), снижение доли населения, имеющего только основное образование, до 13,5% (в 2020 году – 16,3%), снижение доли населения без образования до 0,8% (в 2020 году – 1,0%);
- по состоянию здоровья: снижение доли здорового населения до 40,3% (для сравнения в 2020 году – 42,1%), рост доли населения, имеющего хронические заболевания до 50,6% (в 2020 году – 48,2%), снижение доли населения, имеющего 1, 2, 3 группы инвалидности до 9,1% (в 2020 году – 9,4%);
- по уровню культуры: снижение доли населения, не имеющего судимости до 70,4% (в 2020 году – 74,4%), рост доли населения, имеющего судимость по преступлениям небольшой тяжести до 15,3% (в 2020 году – 12,8%), рост доли населения, имеющего судимость по преступлениям средней тяжести, тяжким и особо тяжким преступлениям до 14,3% (в 2020 году – 12,8%).

Для определения весовых коэффициентов $\bar{\gamma}_i$ качественных составляющих ЧК (3.7) будем использовать индексы образования, здоровья и культуры,

рассчитанные на основе анализа структуры населения за период $t \in [2000; 2020]$ в п.п. 2.2-2.4 и их прогнозные значения (см. таблицу 3.7).

Индекс образования населения рассчитывается по формуле:

$$I_{\gamma_1} = \frac{\sum_{j=1}^5 z_1^j \gamma_1^j}{\sum_{i=1}^5 \gamma_1^i}, \quad 0 \leq I_{\gamma_1} \leq 1, \quad (3.39)$$

где z_1^j – градация уровня образования индивида $0 \leq z_1^j \leq 1$ ($z_1^1 = 1$ – имеющий ученую степень, $z_1^2 = 0,75$ – имеющий высшее образование, $z_1^3 = 0,5$ – имеющий среднее профессиональное или неполное высшее образование, $z_1^4 = 0,25$ – имеющий общее образование, $z_1^5 = 0$ – не имеющий образования). Весовой коэффициент $\gamma_1^j, j = \overline{1,5}$ задает долю населения той или иной градации по уровню образования в общей численности населения.

Индекс здоровья населения рассчитывается по формуле:

$$I_{\gamma_2} = \frac{\sum_{j=1}^5 z_2^j \gamma_2^j}{\sum_{i=1}^5 \gamma_2^i}, \quad 0 \leq I_{\gamma_2} \leq 1, \quad (3.40)$$

где z_2^j – градация состояния здоровья индивида $0 \leq z_2^j \leq 1$ ($z_2^1 = 1$ – здоровый индивид, $z_2^2 = 0,75$ – имеющий хронические заболевания, $z_2^3 = 0,5$ – имеющий 3 группу инвалидности, $z_2^4 = 0,25$ – имеющий 2 группу инвалидности, $z_2^5 = 0$ – имеющий 1 группу инвалидности). Весовой коэффициент $\gamma_2^j, j = \overline{1,5}$ задает долю населения той или иной градации по уровню здоровья.

Индекс культуры населения рассчитывается по формуле:

$$I_{\gamma_3} = \frac{\sum_{j=1}^5 z_3^j \gamma_3^j}{\sum_{i=1}^5 \gamma_3^i}, \quad 0 \leq I_{\gamma_3} \leq 1, \quad (3.41)$$

где z_3^j – градация уровня культуры индивида $0 \leq z_3^j \leq 1$ ($z_3^1 = 1$ – не имеющий судимость, $z_3^2 = 0,75$ – имеющий судимость по преступлению небольшой тяжести, $z_3^3 = 0,5$ – имеющий судимость по преступлению средней тяжести, $z_3^4 = 0,25$ – имеющий судимость по тяжким преступлениям, $z_3^5 = 0$ – имеющий судимость по особо тяжким преступлениям). Весовой коэффициент $\gamma_3^j, j = \overline{1,5}$ задает долю населения той или иной градации по уровню культуры.

В таблице 3.8 представлены результаты расчетов индексов образования, здоровья и культуры населения УР по формулам (3.39)–(3.41).

Таблица 3.8 – Индексы здоровья, культуры и образования населения УР за период 2000-2020 годы и их прогноз до 2025 года

Год	I_{γ_1}	I_{γ_2}	I_{γ_3}
2000	0,436	0,867	0,944
2001	0,442	0,848	0,941
2002	0,443	0,861	0,940
2003	0,446	0,853	0,936
2004	0,447	0,851	0,933
2005	0,448	0,847	0,930
2006	0,449	0,840	0,928
2007	0,452	0,831	0,923
2008	0,454	0,828	0,919
2009	0,459	0,819	0,918
2010	0,462	0,817	0,913
2011	0,469	0,822	0,911
2012	0,475	0,825	0,908
2013	0,483	0,824	0,905
2014	0,491	0,825	0,903
2015	0,502	0,827	0,900
2016	0,512	0,823	0,896
2017	0,523	0,814	0,893
2018	0,531	0,815	0,891
2019	0,533	0,816	0,887
2020	0,536	0,815	0,884
2021	0,539	0,815	0,881
2022	0,542	0,814	0,878
2023	0,545	0,813	0,874
2024	0,547	0,813	0,871
2025	0,548	0,812	0,868

На рисунке 3.13 представлена динамика I_{γ_i} (образование $i = 1$, здоровье $i = 2$, культура $i = 3$) для УР за 2000-2020 годы и их прогноз до 2025 года.

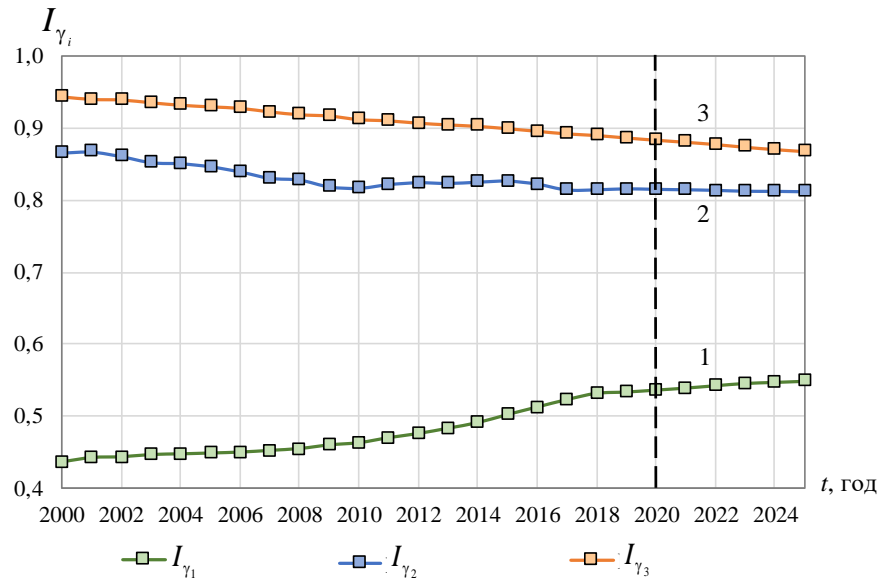


Рисунок 3.13 – Динамика индексов образования I_{γ_1} (1), здоровья I_{γ_2} (2) и культуры I_{γ_3} (3) населения УР за период 2000-2020 годы и их прогноз до 2025 года

Анализ результатов прогнозирования показывает, что имеет место благоприятная тенденция в изменении индекса образования населения с 0,44 в 2000 году до 0,54 в 2020 году; к 2025 году прогнозируется рост индекса до 0,55. Однако, наблюдается тенденция к снижению индекса здоровья с 0,87 в 2000 году до 0,82 в 2020 году; к 2025 году прогнозируется дальнейшее снижение индекса до 0,81. Индекс культуры снижается за рассматриваемый период с 0,94 до 0,88; к 2025 году прогнозируется снижение индекса до 0,87.

Динамика индексов образования, здоровья и культуры населения необходима в целях оценки весовых коэффициентов для составляющих ЧК в формулах (3.7) и (3.15). Расчет весовых коэффициентов выполняется по формуле:

$$\bar{\gamma}_i = \frac{I_{\gamma_i}}{\sum_{i=1}^3 I_{\gamma_i}}. \quad (3.42)$$

Результаты расчетов весовых коэффициентов для составляющих ЧК Удмуртской Республики представлены на рисунке 3.14.

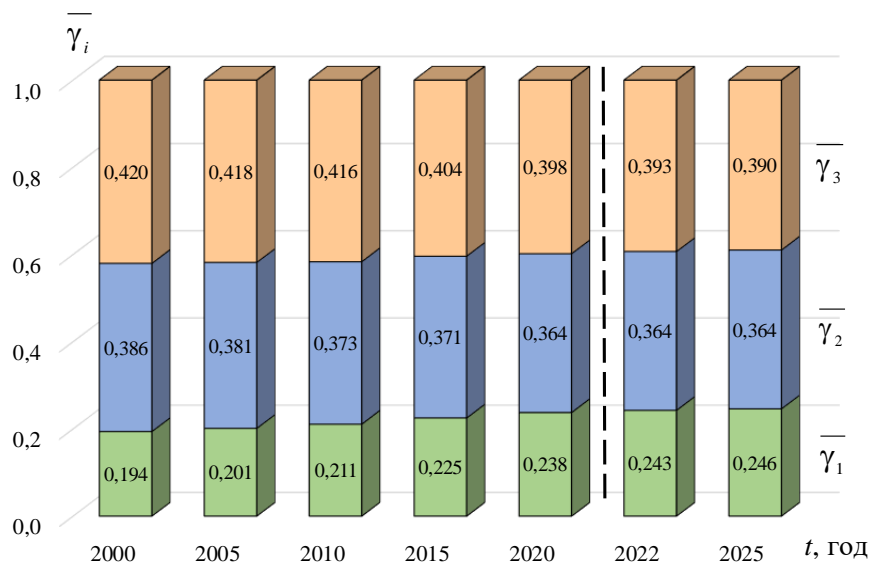


Рисунок 3.14 – Весовые коэффициенты составляющих ЧК:
 $\bar{\gamma}_1$ – образование, $\bar{\gamma}_2$ – здоровье, $\bar{\gamma}_3$ – культура

Согласно результатам, представленным на рисунке 3.14 можно сказать, что за период 2000-2020 годы наблюдается синхронное изменение весовых коэффициентов для составляющих ЧК, причем весовой коэффициент здоровья практически стабилен, в то время как коэффициент культуры снижается, а коэффициент образования, напротив, растет. Прогнозируемая динамика весовых коэффициентов для составляющих ЧК УР до 2025 года сохраняет тенденцию последних лет.

Выводы

1. Разработан нейросетевой алгоритм прогнозирования количественных и качественных составляющих ЧК с учетом факторов внешней среды – индикаторов направлений социально-экономического развития региона.

2. На основе нейросетевого алгоритма решены: задача прогноза инвестиций в качественные составляющие ЧК; задача прогноза структурной динамики социума региональной системы и прогноза весовых коэффициентов для качественных составляющих ЧК (образование, здоровье, культура). Нейросетевой алгоритм прогнозирования составляющих человеческого капитала показал свою эффективность. Так, отклонение модельных значений от фактических данных на участке ретропрогноза 2015-2020 годы составило 3-5%.

3. В начале изучаемого периода, в 2000 году, капиталовложения в образование населения УР составляли 47,7% от инвестиций в ЧК, в здоровье – 37,6%, в культуру – 14,7%. С течением времени, к 2020 году, структура инвестиций изменилась: образование – 33,8%, здоровье – 42,3%, культура – 23,9%. Произошел структурный сдвиг в сторону составляющей здоровья и культуры. Это объясняется существенным увеличением доли частных инвестиций в составляющую здоровья с 8,3% до 12,6% и частных инвестиций в составляющую культуры с 8,5% до 24,1%, при этом доля бюджетных инвестиций в образование уменьшается с 42,7% до 31,8%. Прогнозируется среднегодовое увеличение бюджетных инвестиций на 2021-2025 годы в образование – на 0,1%, в здоровье – на 2,2%, в культуру – на 1,1%. Средний ежегодный прирост объема частных инвестиций в прогнозном периоде составит соответственно 4,7%, 3,9% и 1,6%.

4. Выполнен прогноз структуры населения региона по уровням образованию, здоровья и культуры, а также рассчитаны и проанализированы в динамике индексы образования, здоровья и культуры населения УР. Рассчитана динамика весовых коэффициентов для составляющих ЧК. За период 2000-2020 годы наблюдается изменение весовых коэффициентов для составляющих ЧК, при этом весовой коэффициент здоровья практически стабилен, в то время как коэффициент культуры снижается, а коэффициент образования растет.

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРИМЕРЕ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

4.1 Информационно-аналитическая система анализа и прогноза социально-экономических процессов

4.1.1 Структура базы данных цифровой информации

Для построения прогнозной динамики показателей развития региона, характеризующих эффективность функционирования экономической системы, была разработана информационно-аналитическая система «Моделирование и прогнозирование показателей социально-экономических процессов региона» [68]. В информационно-аналитической системе (ИАС) реализована методика прогнозирования различных показателей региональных социально-экономических процессов на среднесрочную перспективу, а именно:

- *демографические показатели* (состояние населения и его воспроизводство: плотность населения, рождаемость, смертность, естественный прирост населения, миграция);
- *человеческий капитал* (нематериальный фактор производства; состоит из выраженных в денежном эквиваленте капитала образования, капитала здоровья, капитала культуры);
- *производственный капитал* (основные производственные фонды, которые пополняются за счет капитальных вложений – инвестиций в производственный капитал; материально-вещественный фактор производства);
- *валовой региональный продукт* (ВРП; конечный результат использования факторов производства в регионе).

На рисунке 4.1 представлена структура ИАС «Моделирование и прогнозирование показателей социально-экономических процессов региона», состоящая из трех основных блоков: база данных, аналитическая подсистема и блок визуализации результатов.

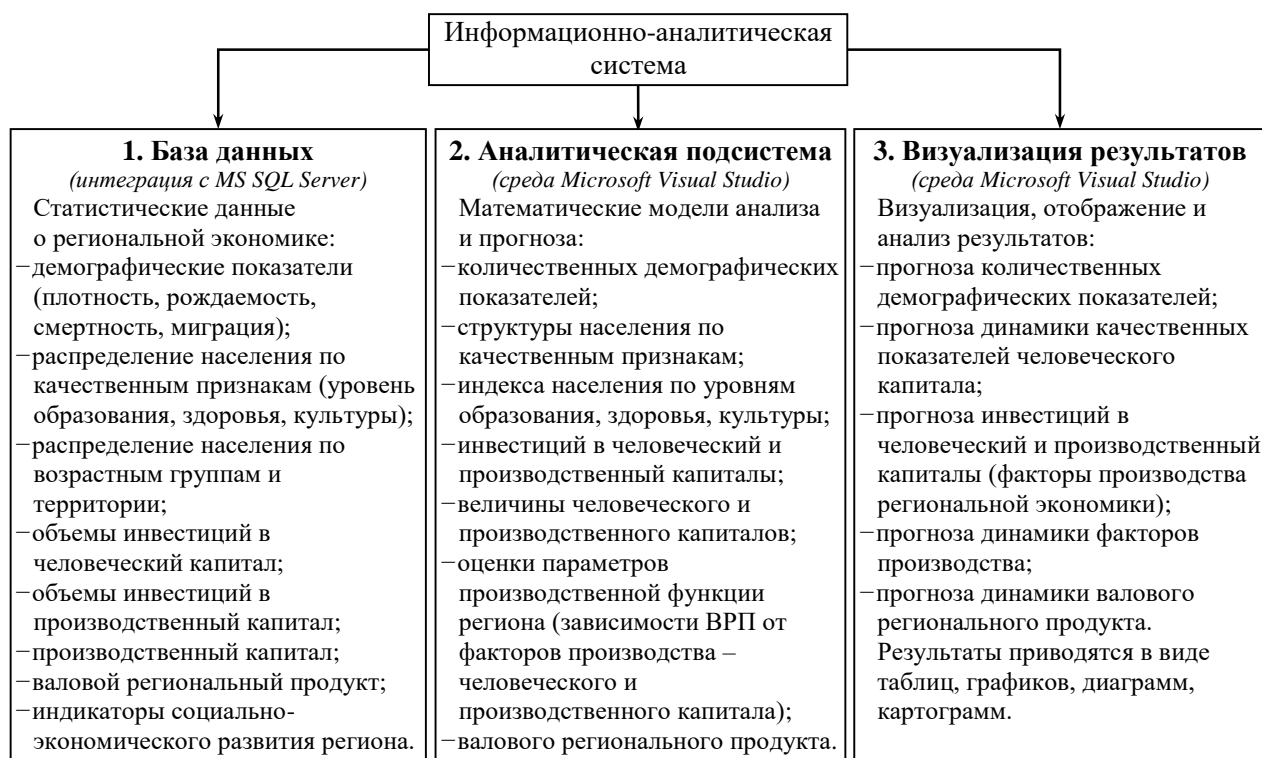


Рисунок 4.1 – Структура ИАС «Моделирование и прогнозирование показателей социально-экономических процессов региона»

База данных разработана в программе *MS SQL Server*. Она содержит статистические данные по социально-экономическим показателям развития регионов, размещенных на официальных сайтах государственной статистики, Федерального казначейства РФ, министерств и ведомств [119–124, 127, 128, 130, 133–135, 137, 142–147]. Разработанная база данных интегрирована в ИАС, в котором на языке *SQL*-запросов реализована возможность дополнения и изменения информации, а также получение необходимой статистической информации для расчетов.

4.1.2 Структура аналитической подсистемы

Второй блок ИАС «Моделирование и прогнозирование показателей социально-экономических процессов региона» – это аналитическая подсистема, разработанная в среде *Microsoft Visual Studio* и реализованная на современном высокоуровневом языке программирования *C#*.

В аналитической подсистеме ИАС реализована методика прогнозирования показателей социально-экономических процессов регионов (рисунок 4.2).

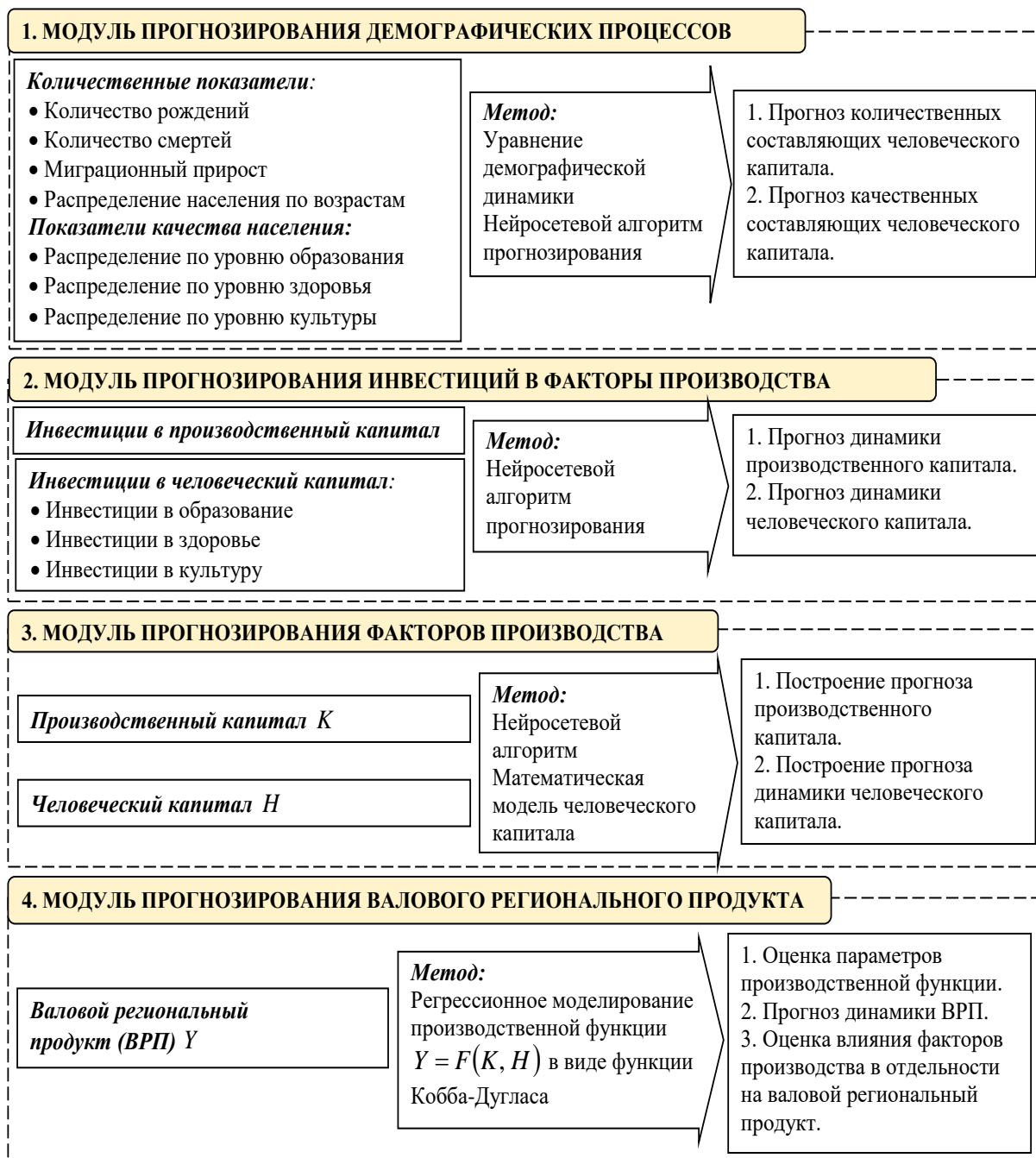


Рисунок 4.2 – Методика моделирования и прогнозирования показателей социально-экономических процессов региона

Выделены четыре модуля прогнозирования на среднесрочную перспективу (см. Приложение Д): 1 – модуль прогнозирования демографических процессов; 2 – модуль прогнозирования инвестиций в производственный и человеческий капиталы (факторы производства региональной экономики); 3 – модуль прогнозирования факторов производства; 4 – модуль прогнозирования валового регионального продукта.

В каждом из четырех модулей аналитической подсистемы для выбора адекватной модели прогнозирования исходная база статистических данных разделяется на обучающее Ω^{learn} и тестовое Ω^{test} множества (участок ретропрогноза). Для оценки качества ретропрогнозов на среднесрочную перспективу рассчитываются показатели: индекс корреляции расчетных и статистических значений, индекс детерминации модели, средняя относительная погрешность, формулы которых приведены в п. 1.3.

Прогнозирование факторов производства является сложной задачей, решение которой невозможно без анализа их структуры. В производственном капитале важным при изучении показателя является распределение производственных фондов по срокам эксплуатации, в человеческом капитале – распределение численности населения региона по возрастным и социальным группам в соответствии с введенными градациями по состоянию здоровья, культуры и образования. Результаты прогнозирования производственного и человеческого капитала используются при построении прогноза валового регионального продукта на основе производственной функции.

4.1.3 Визуализация результатов

Третий блок ИАС представляет собой подсистему отображения и визуализации результатов моделирования показателей социально-экономических процессов в регионе. Приведем некоторые результаты моделирования и прогнозирования показателей социально-экономических процессов региона на примере Удмуртской Республики и других регионов Приволжского федерального округа. На рисунках 4.3–4.6 показаны результаты моделирования и прогнозирования динамики производственного капитала, человеческого капитала, структуры населения и ВРП.

Исследования показали, что в начале анализируемого периода происходит снижение производственного капитала УР с последующей его стабилизацией, включая период прогноза до 2025 года (рисунок 4.3, а).

Что касается величины ЧК, то наблюдается его устойчивый рост, начиная с 2012 года, который сохраняется и в прогнозный период (рисунок 4.4, а).

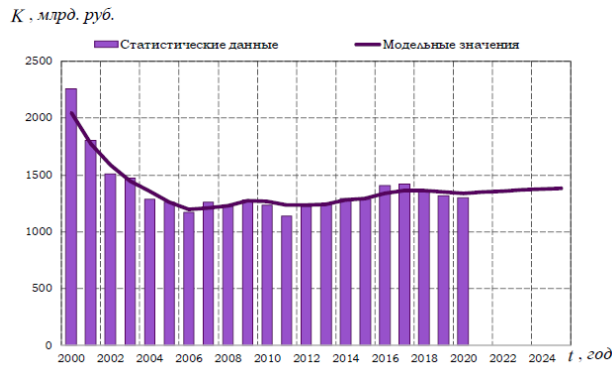


Рисунок 4.3, а – Динамика изменения производственного капитала УР до 2025 года в ценах 2020 года

Рисунок 4.3, б – Цветограмма распределения производственного капитала регионов ПФО в 2020 году в ценах 2020 года

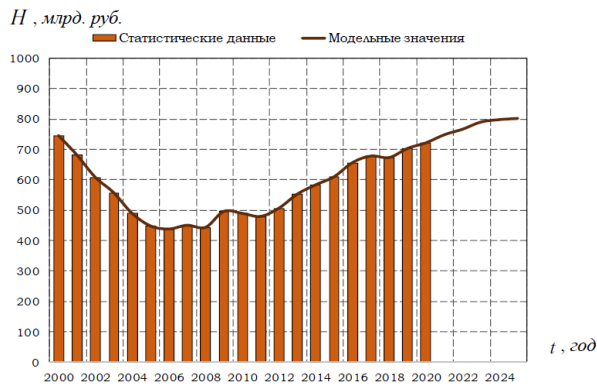


Рисунок 4.4, а – Динамика изменения человеческого капитала УР до 2025 года в ценах 2020 года

Рисунок 4.4, б – Цветограмма распределения человеческого капитала регионов ПФО в 2020 году в ценах 2020 года

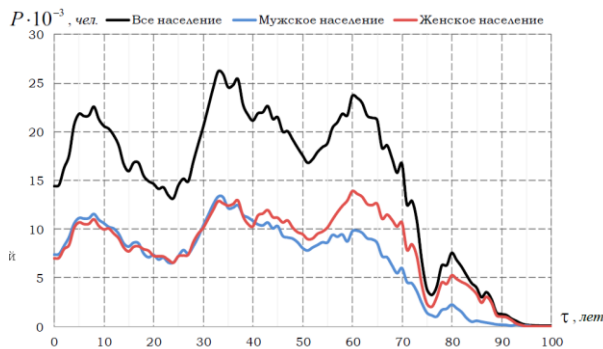


Рисунок 4.5, а – Распределение населения УР по возрасту в 2020 году

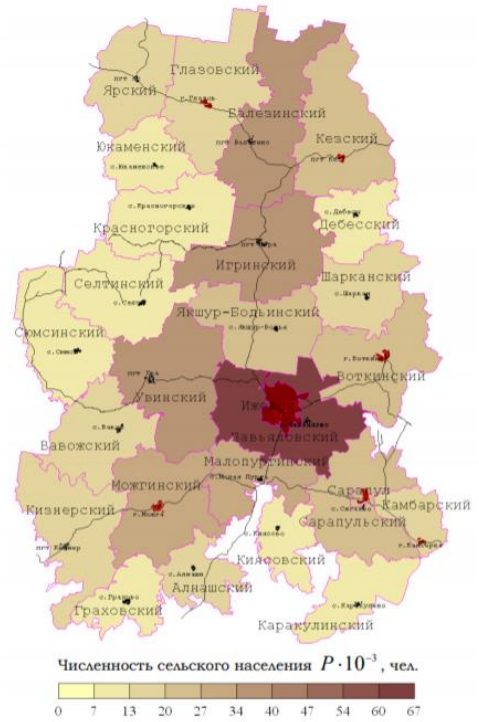


Рисунок 4.5, б – Цветограмма распределения численности населения УР по районам в 2020 году



Рисунок 4.6, а – Динамика изменения ВРП УР до 2025 года в ценах 2020 года



Рисунок 4.6, б – Цветограмма распределения ВРП регионов ПФО в 2020 году в ценах 2020 года

Информационно-аналитическая система также предоставляет возможность построения производственной функции для социально-экономических систем. Производственная функция Удмуртской Республики имеет вид:

$$Y(t) = 1,02[K(t)]^{0,59} [H(t)]^{0,68}, \quad (4.1)$$

при этом индекс детерминации $R^2 = 0,92$, статистика Фишера $F = 288,6$.

Для экономической системы региона значение коэффициента $A = 1,02$ свидетельствует о достаточном уровне технического прогресса. Значения коэффициентов эластичности по производственному капиталу ($\alpha = 0,59$) и человеческому капиталу ($\beta = 0,68$) показывают, что увеличение производственных фондов на 1 % соответствуют увеличению выпуска продукции на 0,59 %; а увеличение человеческого капитала на 1 % – увеличению выпуска на 0,68 %. Отношение коэффициентов эластичности $\alpha/\beta = 0,88$, следовательно, социально-экономическая система Удмуртской Республики работает в условиях дефицита второго входного фактора (человеческого капитала), имеет место экстенсивный (фондосберегающий) рост.

4.2 Анализ и прогноз динамики человеческого капитала региональной экономической системы

Рассмотрим количественные составляющие человеческого капитала Удмуртской Республики. На рисунке 4.7 представлена динамика общей численности населения региона за период 2000-2020 годы.

За рассматриваемый период численность населения региона снизилась на 5,9% относительно 2000 года. Среднегодовой темп снижения численности населения в УР составил 0,3%.

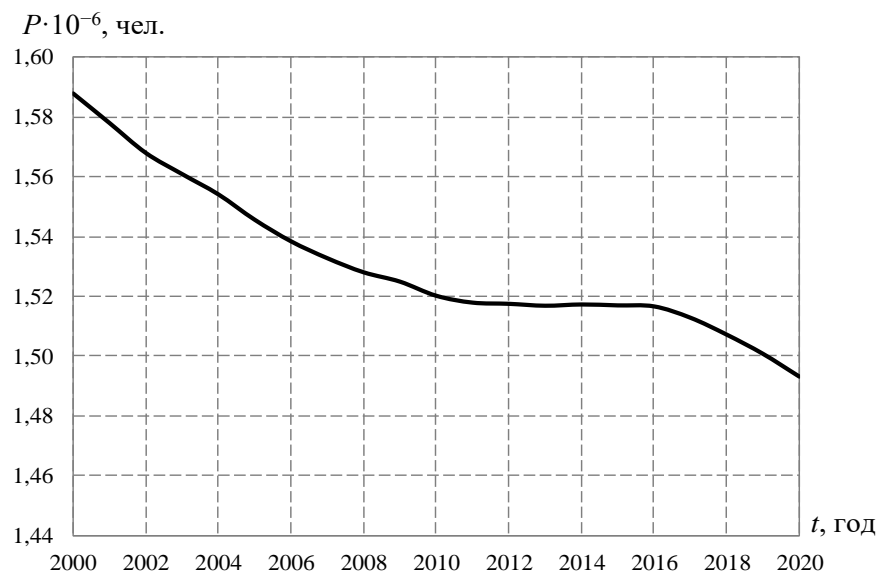


Рисунок 4.7 – Динамика общей численности населения УР за период 2000-2020 годы

На динамику численности населения оказывает влияние рождаемость и смертность. На рисунке 4.8 представлена динамика рождаемости и смертности в УР за период 2000-2020 годы.

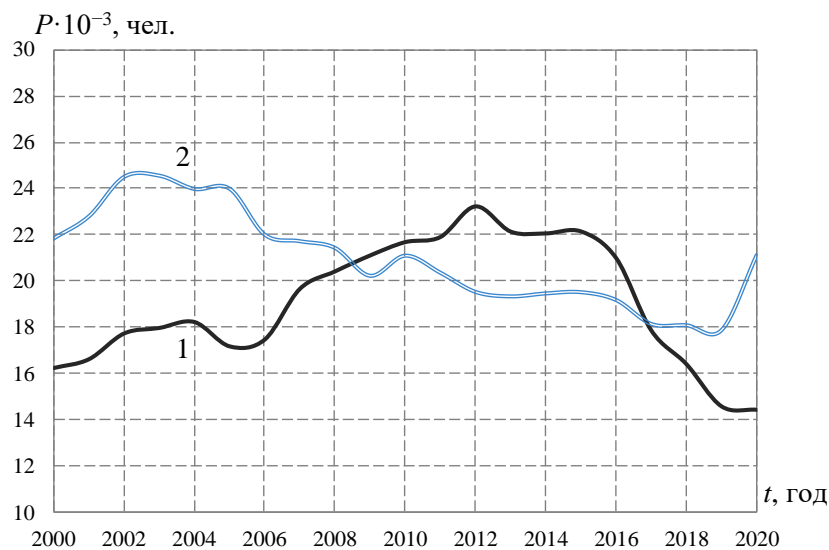


Рисунок 4.8 – Динамика рождаемости (1) и смертности (2) населения УР за период 2000-2020 годы

Можно заметить, что максимальная за период рождаемость была зафиксирована в 2012 году (23,2 тыс. детей), минимальная – в 2020 году (14,5 тыс. детей). У показателя смертности наибольшее значение зафиксировано в 2003 году (24,6 тыс. чел.), наименьшее значение – в 2019 году (17,9 тыс. чел.), при этом за период 2003-2019 годы видна тенденция снижения смертности (средне-

годовой темп снижения 2,0%), однако в 2020 году умерло 21,1 тыс. чел., что на 17,9% больше предыдущего года. Резкий рост смертности населения в регионе связан с мировой пандемией COVID-2019.

В период 2000-2008 годы для социально-экономической системы УР имела место естественная убыль населения (максимальное значение 6,8 тыс. чел. в 2005 году). За 2009-2016 годы в регионе число рождений превосходило число смертей, наблюдался естественный прирост населения (максимальное значение 3,7 тыс. чел. в 2012 году). Начиная с 2017 года, в УР наблюдается естественная убыль населения, которая в 2020 году составила 6,6 тыс. чел.

Поскольку при расчете величины ЧК необходимо учитывать демографическую структуру, поэтому важное значение имеет распределение людей по возрастам $\rho(t, \tau)$. На рисунке 4.9 представлена плотность распределения населения УР по возрастам для 2000 и 2020 года соответственно.



Рисунок 4.9 – Плотность распределения населения в УР в 2000 году (1) и в 2020 году (2)

По графикам на рисунке 4.9 видно, что за 20-летний период снизилась численность трудоспособной группы населения в возрасте 15 лет–72 года. Наблюдается сдвиг в сторону увеличения численности населения в старших возрастах.

На рисунке 4.10 представлена плотность распределения рождений в УР в 2000 и 2020 годы.

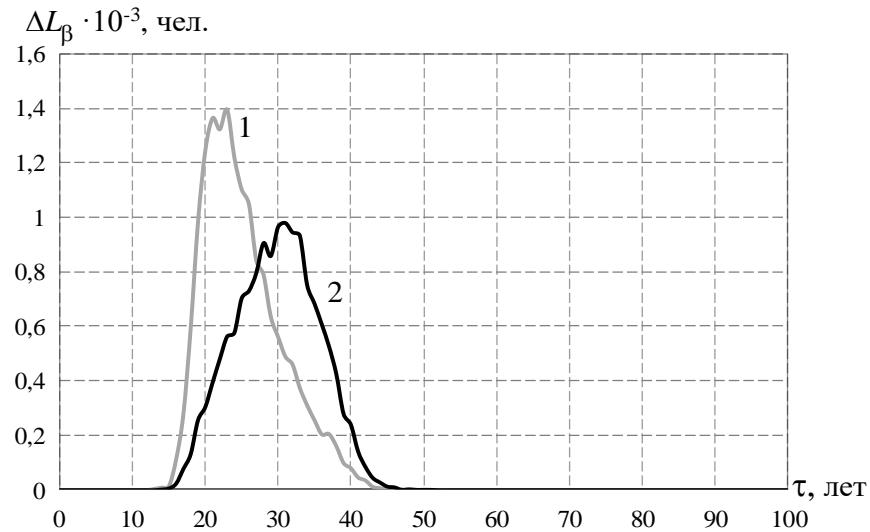


Рисунок 4.10 – Плотность распределения рождений в УР в 2000 году (1) и в 2020 году (2)

Из графика распределения рождений в УР видно, что в 2000 году пик числа рождения детей приходился на возраст женщины 21-24 года. В 2020 году – наибольшее число рождений приходится уже на возраст 30-33 года.

На рисунке 4.11 представлены кривые коэффициентов распределения рождений $\beta(t, \tau)$, рассчитанные по формуле (3.1) для УР за период 2000-2020 года.

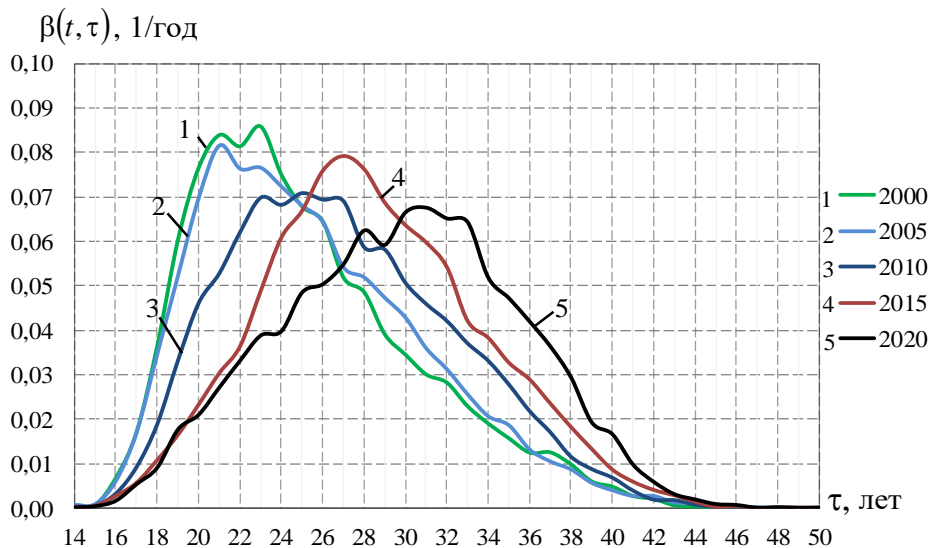


Рисунок 4.11 – Коэффициенты распределения рождений $\beta(t, \tau)$ для УР за 2000-2020 годы

На основе статистического материала по Удмуртской Республике за период 2000-2020 годы [128] определен вид функции $\beta(t, \tau)$:

$$\beta(t, \tau) = \beta_0(t) + \beta_1(t)\tau + \beta_2(t)\tau^2 + \beta_3(t)\tau^3 + \beta_4(t)\tau^4 + \beta_5(t)\tau^5 + \beta_6(t)\tau^6, \quad (4.2)$$

где

$$\beta_0(t) = 3,8 \cdot 10^{-2} - 2,9 \cdot 10^{-3}(t - 2000),$$

$$\beta_1(t) = -2,3 \cdot 10^{-2} + 9,2 \cdot 10^{-4}(t - 2000),$$

$$\beta_2(t) = 2,1 \cdot 10^{-2} - 9,6 \cdot 10^{-5}(t - 2000),$$

$$\beta_3(t) = -1,0 \cdot 10^{-4} + 5,1 \cdot 10^{-6}(t - 2000),$$

$$\beta_4(t) = 2,5 \cdot 10^{-6} - 1,4 \cdot 10^{-7}(t - 2000),$$

$$\beta_5(t) = -3,3 \cdot 10^{-8} + 1,9 \cdot 10^{-9}(t - 2000),$$

$$\beta_6(t) = 1,7 \cdot 10^{-10} - 1,2 \cdot 10^{-11}(t - 2000).$$

На рисунке 4.12 приведено сравнение числа рождений в УР на основе статистических данных и соответствующих значений, полученные на основе модели (4.2). Отклонение модельных значений от фактических статистических данных ΔL_β за период 2000-2020 гг. в среднем составило 3,9%.

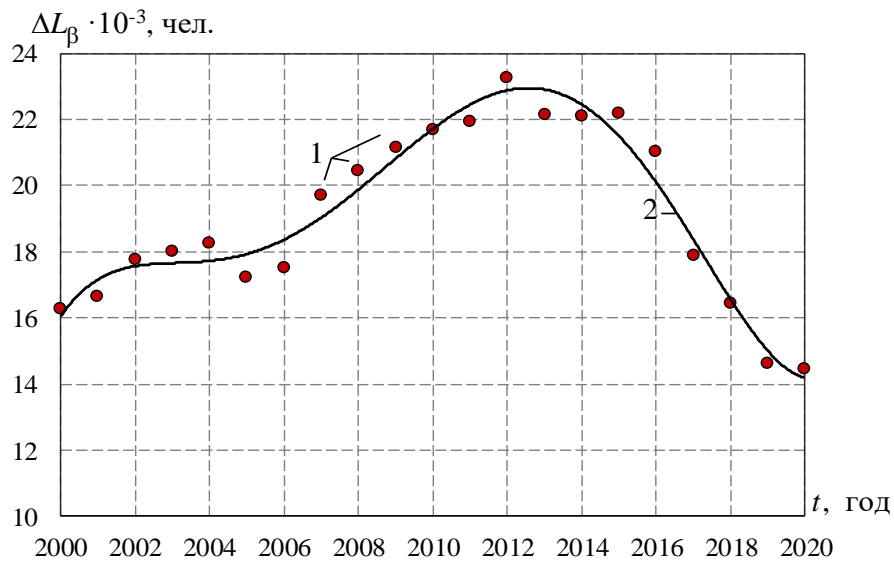


Рисунок 4.12 – Сравнение статистических (1) и модельных (2) значений числа родившихся за год в УР за период 2000-2020 годы

На рисунке 4.13 представлена плотность распределения смертей среди населения в УР в 2000 и 2020 годы.

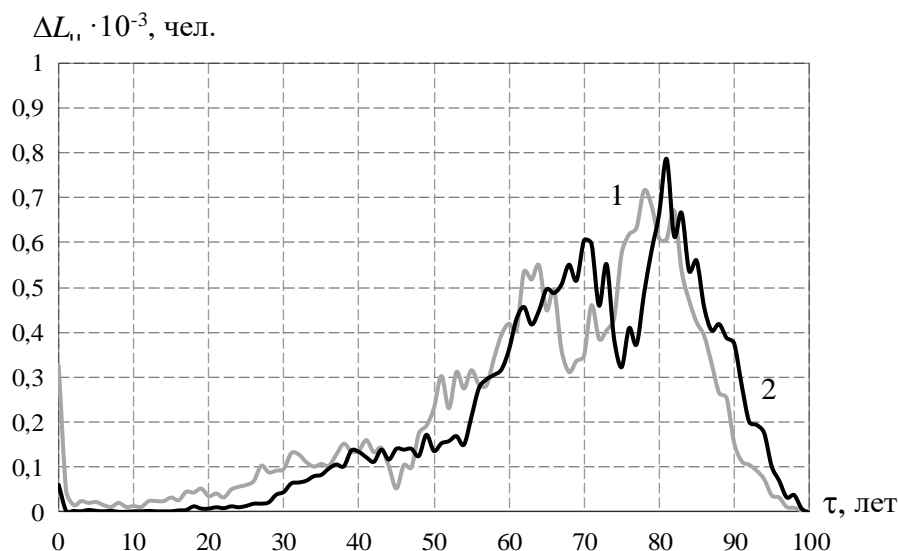


Рисунок 4.13 – Плотность распределения смертей в УР в 2000 году (1) и в 2020 году (2)

Положительной тенденцией за период 2000-2020 годы показателя смертности в УР является снижение более чем в 5 раз числа смертей среди детей в возрасте до 1 года. На рисунке 4.14 представлены кривые коэффициентов распределения смертности $\mu(t, \tau)$, рассчитанные по формуле (3.2) для УР за период 2000-2020 годы.

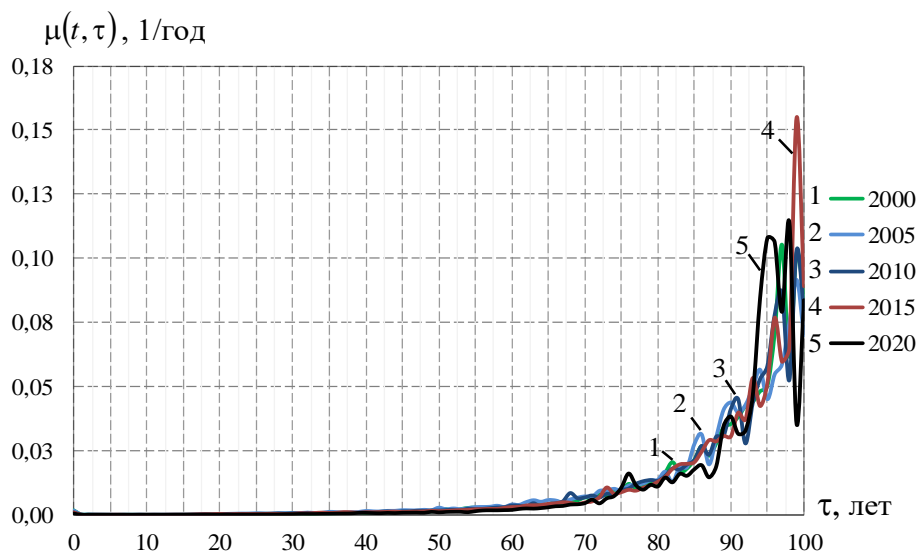


Рисунок 4.14 – Коэффициенты распределения смертности $\mu(t, \tau)$ для УР за 2000-2020 годы

Расчеты показали, что зависимость коэффициента распределения смертности $\mu(t, \tau)$ от времени t незначительна, поэтому можно записать, что $\mu(t, \tau) = \mu(\tau)$. На основе статистического материала по УР за период 2000-2020 годы определен вид соответствующей функции:

$$\mu(\tau) = 2,0 \cdot 10^{-3} - 5,7 \cdot 10^{-4} \tau + 3,6 \cdot 10^{-5} \tau^2 - 7,7 \cdot 10^{-7} \tau^3 + 5,4 \cdot 10^{-9} \tau^4. \quad (4.3)$$

На рисунке 4.15 представлено сравнение теоретического и эмпирического коэффициента распределения смертности $\mu(t, \tau)$. Средняя относительная погрешность составила 8,3%.

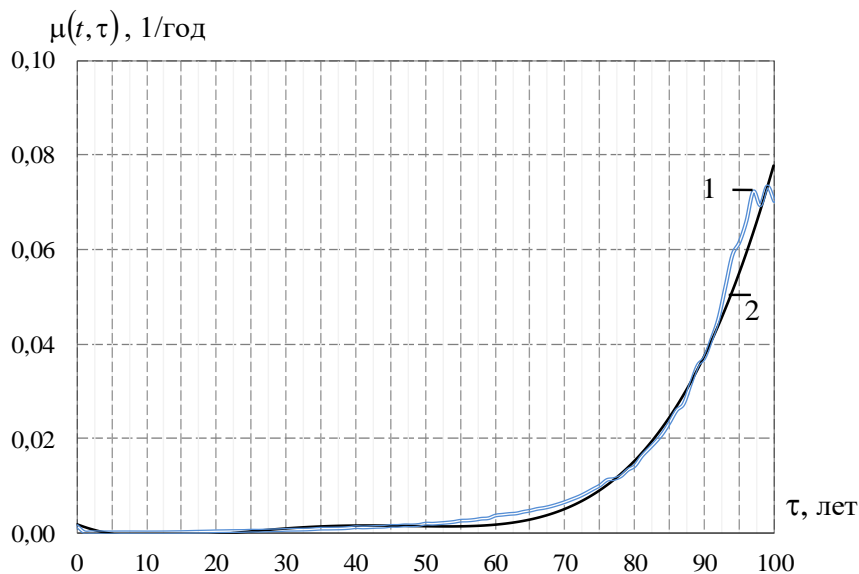


Рисунок 4.15 – Сравнение среднего эмпирического (1) и теоретического (2) коэффициента распределения смертности $\mu(t, \tau)$ населения в УР по возрастам

Математическая модель оценки ЧК (3.1)–(3.17) также содержит коэффициент миграционного взаимодействия $l(t, \tau)$. На рисунке 4.16 представлен миграционный прирост (убыль) $\Delta L_l(t, \tau)$ в УР в 2000 и 2020 годы по данным [129]. На рисунке 4.17 представлен коэффициент миграционного взаимодействия $l(t, \tau)$, рассчитанный по формуле (3.3) для УР за 2000-2020 годы. На основе статистического материала по УР определен вид функции $l(t, \tau)$:

$$l(t, \tau) = l_0(t) + l_1(t)\tau + l_2(t)\tau^2 + l_3(t)\tau^3 + l_4(t)\tau^4 + l_5(t)\tau^5 + l_6(t)\tau^6, \quad (4.4)$$

где

$$\begin{aligned} l_0(t) &= -4,4 \cdot 10^{-3} - 5,6 \cdot 10^{-4}(t - 2000), \\ l_1(t) &= 1,5 \cdot 10^{-3} + 2,5 \cdot 10^{-4}(t - 2000), \\ l_2(t) &= -1,8 \cdot 10^{-4} - 3,9 \cdot 10^{-5}(t - 2000), \\ l_3(t) &= 8,4 \cdot 10^{-6} + 2,2 \cdot 10^{-6}(t - 2000), \\ l_4(t) &= -1,8 \cdot 10^{-7} - 5,5 \cdot 10^{-8}(t - 2000), \\ l_5(t) &= 1,8 \cdot 10^{-9} + 6,5 \cdot 10^{-10}(t - 2000), \\ l_6(t) &= -7,3 \cdot 10^{-12} - 2,9 \cdot 10^{-12}(t - 2000). \end{aligned}$$

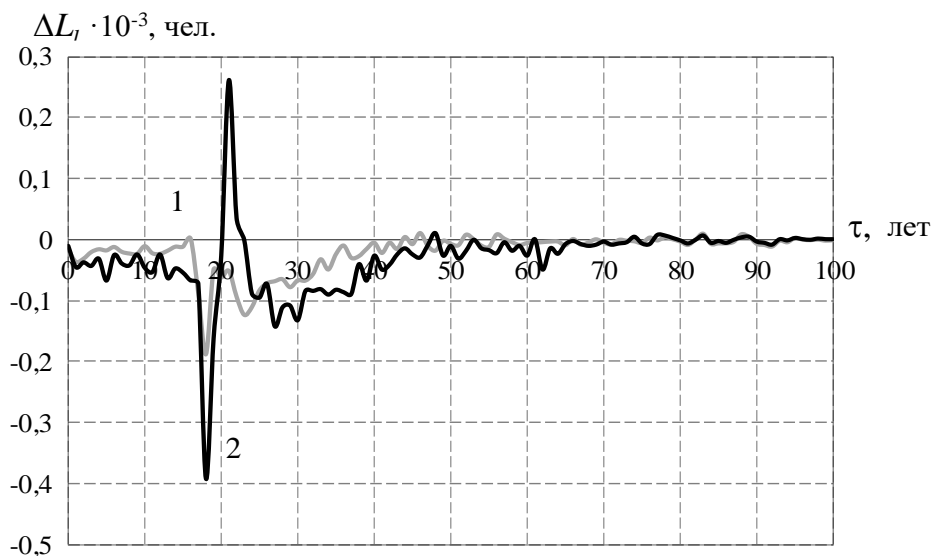


Рисунок 4.16 – Миграционный прирост (убыль) $\Delta L_t(t, \tau)$ в УР в 2000 году (1) и в 2020 году (2)

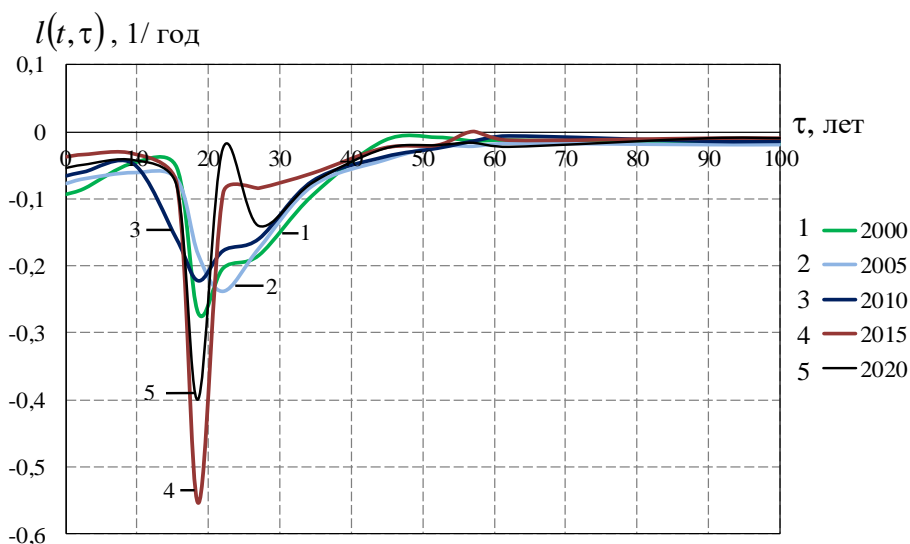


Рисунок 4.17 – Коэффициент миграционного воздействия $l(t, \tau)$ для УР за 2000-2020 годы

На рисунке 4.18 представлен миграционный прирост (убыль) ΔL_t за год на основе статистических данных по УР и значения, полученные на основе модели (4.4). Отклонение модельных значений от фактических статистических данных ΔL_t за период 2000-2020 годы в среднем составило 9,4%.

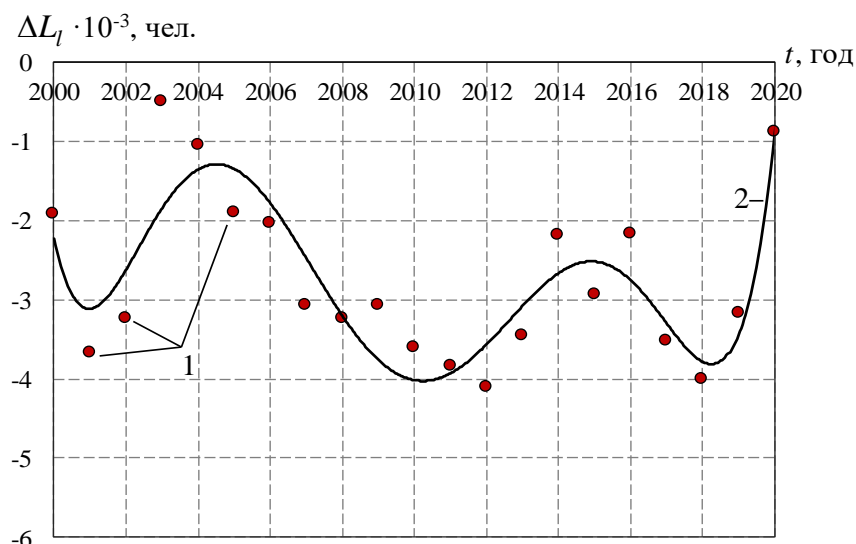


Рисунок 4.18 – Сравнение статистических (1) и модельных (2) значений ежегодного миграционного прироста ΔL_t в УР за период 2000-2020 годы

Далее рассмотрим динамику населения УР по возрастным группам (рисунок 4.19).

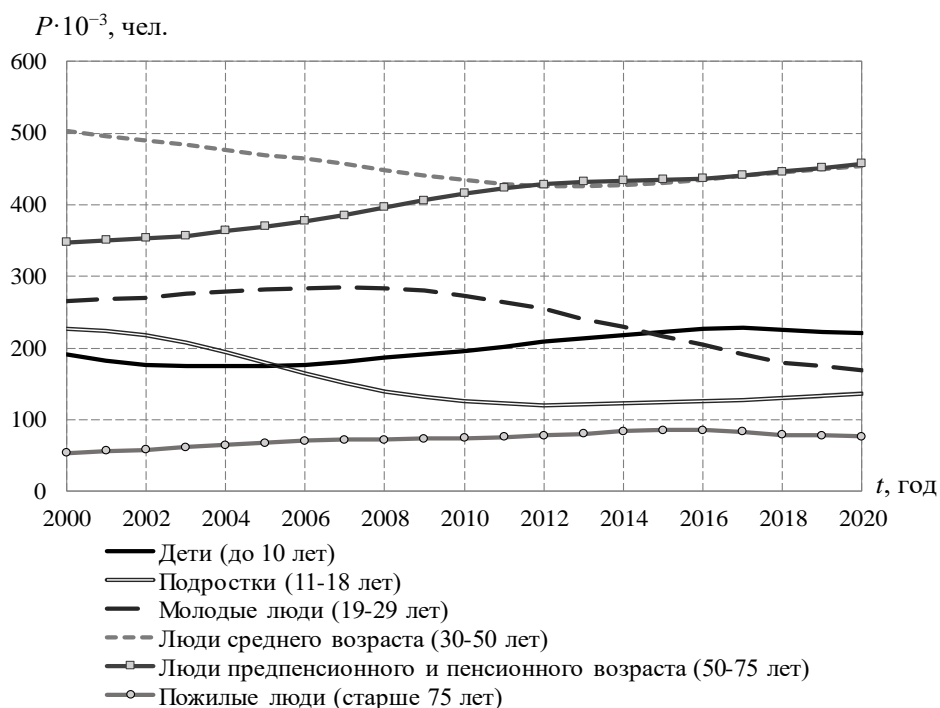


Рисунок 4.19 – Динамика населения УР по возрастным группам за 2000-2020 годы

Расчеты показывают, что за период 2000-2020 годы численность детей до 10 лет выросла с 191,0 тыс. чел. до 218,4 тыс. чел. (на 14,3% относительно 2000 года). При этом снизилась численность подростков (11-18 лет) с 227,7 тыс. чел. до 135,2 тыс. чел. (на 40,6%), численность молодых людей (19-29 лет) – с 265,2 тыс. чел. до 167,7 тыс. чел. (на 36,7%), численность людей среднего возраста

(30-50 лет) снизилась с 503,0 тыс. чел. до 449,6 тыс. чел. (на 10,6%). Выросла численность людей предпенсионного и пенсионного возраста с 347,6 тыс. чел. до 453,0 тыс. чел. (на 30,3%) и пожилых людей с 53,6 тыс. чел. до 76,3 тыс. чел. (на 42,6%).

Изменение структуры населения УР по возрастным группам за период 2000-2020 годы представлено на рисунке 4.20.

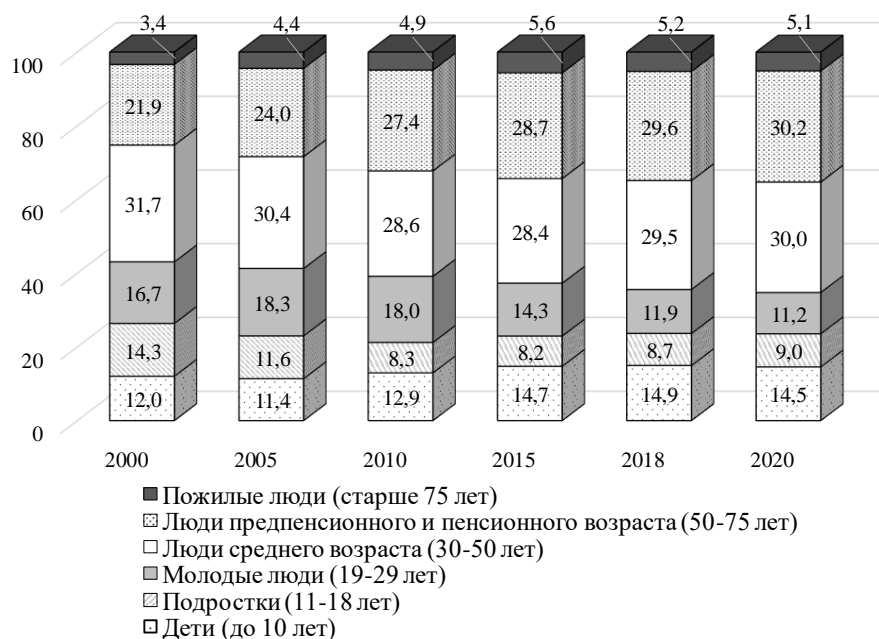


Рисунок 4.20 – Динамика структуры населения УР по возрастным группам за период 2000-2020 годы, %

Приведенные данные показывают, что происходит старение население: снижается удельный вес подростков и молодежи в общей численности населения. Средний возраст населения в УР вырос с 32,2 лет в 2000 году до 39,1 лет в 2020 году (для сравнения по РФ – 40,0 лет). При этом в 2020 году средний возраст мужского населения УР составил 36,3 лет (по РФ – 37,3 лет), что на 12,8% ниже уровня среднего возраста женского населения, который равен 41,6 лет (по РФ – 42,4 лет). Также можно заметить, что в 2020 году по сравнению с 2000 годом выросла численность долгожителей. Средняя ожидаемая продолжительность жизни в регионе за 2000-2020 годы возросла: у мужчин – с 59,5 лет до 67,0 лет; у женщин – с 72,5 лет до 78,3 лет [130].

Рассмотрим результаты решения задачи моделирования и прогнозирования величины и динамики ЧК региональной экономической системы УР. На

основе данных таблиц 3.2-3.3 и формул (3.1)–(3.17) рассчитана величина ЧК УР за период 2000-2020 годы. На основе нейросетевого алгоритма (3.18)–(3.38) построен прогноз количественных и качественных составляющих человеческого капитала УР на период 2001-2025 годы. Результаты решения задачи моделирования и прогнозирования ЧК представлены на рисунке 4.21.

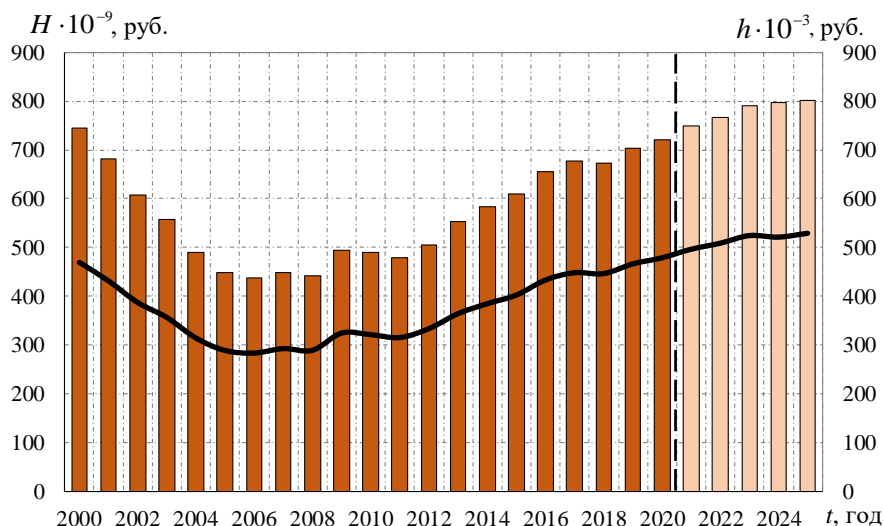


Рисунок 4.21 – Динамика ЧК (H) и удельной величины ЧК (h) УР за период 2000-2020 годы и его прогноз до 2025 года в сопоставимых ценах, приведенных к ценам 2020 года

Расчеты показали, что величина человеческого капитала УР снижалась в интервале 2000-2006 годы, в дальнейшем наблюдался рост этого показателя. Наибольшие темпы роста ЧК демонстрирует с 2012 года, прогнозируется его дальнейший рост. В 2020 году удельная величина ЧК УР составила 480,8 тыс. руб. на одного жителя региона.

Модель ЧК позволяет проводить анализ и прогноз его динамики и динамики его составляющих как по времени, так и по возрасту населения. Для примера рассмотрим изучаемые показатели в некоторых разрезах. На рисунке 4.22 дано изменение ЧК различных возрастных групп УР ($\tau = 20$ лет, $\tau = 40$ лет, $\tau = 60$ лет), а также приведен прогноз его значений до 2025 года.

В первой трети периода ЧК всех рассматриваемых возрастных групп снижается (см. рисунок 4.22). Далее идет быстрый рост ЧК возрастной группы $\tau = 20$ лет, что обусловлено большой долей вложений в эту группу (рисунок

4.23). Быстрый рост ЧК возрастной группы $\tau = 60$ лет с 2006 года объясняется увеличением численности людей данного возраста (рисунок 4.24).

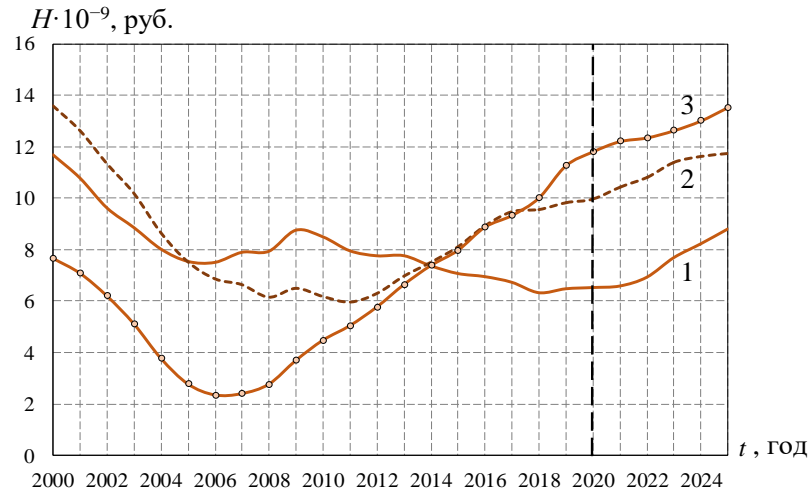


Рисунок 4.22 – Динамика ЧК различных возрастных групп УР за период 2000-2020 годы и прогноз до 2025 года: 20 лет (1), 40 лет (2), 60 лет (3)

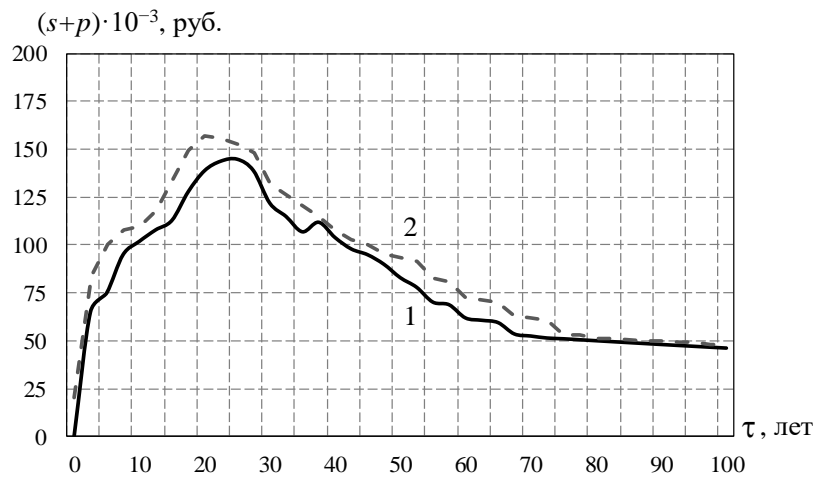


Рисунок 4.23 – Удельные бюджетные и частные инвестиции в ЧК УР в распределении по возрастам в 2020 году (1) и их прогноз в 2025 году (2)

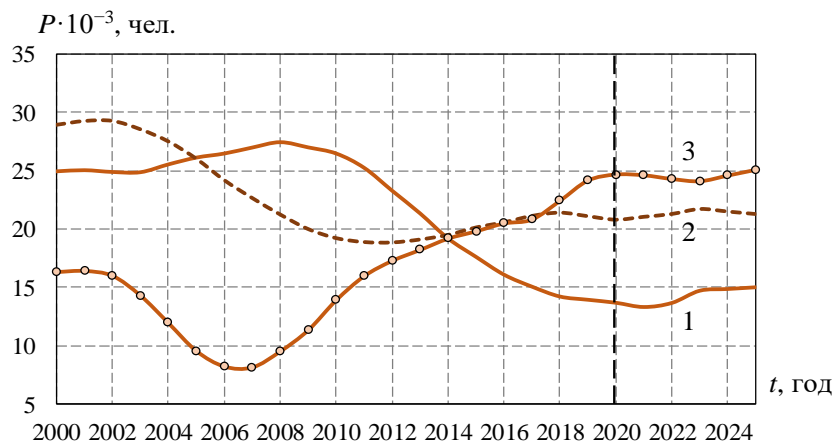


Рисунок 4.24 – Динамика численности различных возрастных групп УР за период 2000-2020 годы и прогноз до 2025 года: 20 лет (1), 40 лет (2), 60 лет (3)

Умеренный рост ЧК возрастной группы $\tau = 40$ лет обусловлен снижением численности людей этой трудоспособной группы населения и относительно небольшими инвестициями в неё со стороны государства.

4.3 Параметрический анализ и оценка тенденций изменения человеческого капитала социально-экономической системы

Рассмотрим изменение человеческого капитала социально-экономической системы УР за анализируемый период 2000-2020 годы (таблица 4.1), при этом выделим два интервала 2000-2010 годы и 2010-2020 годы.

Таблица 4.1 – Оценка тенденций изменения составляющих человеческого капитала УР за 2000-2020 годы (в ценах 2020 года)

Показатель	Инвестиции в составляющую ЧК			ЧК региона
	Образование	Здоровье	Культура	
Среднее значение за период 2000-2020 гг., млрд. руб.	32,9	38,9	26,7	611,9
- значение в 2000 г., млрд. руб.	24,6	19,3	7,6	745,7
- значение в 2020 г., млрд. руб.	41,6	54,9	27,0	721,7
Средний темп роста за период 2000-2020 гг., %	103,0	106,7	107,8	99,8
- темп роста за 2000-2010 гг., %	103,4	107,2	115,2	95,9
- темп роста за 2010-2020 гг., %	101,9	103,5	98,5	103,9
Среднегодовой темп прироста за период 2000-2020 гг., %	+3,0	+6,7	+7,8	-0,2
- темп прироста за период 2000-2010 гг., %	+3,4	+7,2	+15,2	-4,1
- темп прироста за период 2010-2020 гг., %	+1,9	+3,5	-1,5	+3,9

За период 2000-2020 годы среднегодовой размер инвестиций в образование населения УР составил 32,9 млрд. руб., в здоровье – 38,9 млрд. руб., в культуру – 26,7 млрд. руб. Средняя годовая величина ЧК за рассматриваемый период составила 611,9 млрд. руб.

Интервал 2000-2010 годы отражает период значительного роста объемов инвестирования во все составляющие ЧК: средний темп роста инвестиций в образование – 103,4%, в здоровье – 107,2%, в культуру – 115,2%. При этом видна отрицательная тенденция изменения ЧК: его среднегодовой темп снижения за

2000-2010 годы составил 95,9%. Отчасти это связано с ростом смертности и снижением рождаемости населения, а также с инертностью социально-экономической системы.

Интервал 2010-2020 годы характеризуется замедлением темпов инвестирования в составляющие ЧК по сравнению с прошлым десятилетием: средний темп роста инвестиций в образование – 101,9%, в здоровье – 103,5%, в культуру – 98,5%. При этом за 2010-2020 годы величина ЧК возрастает ежегодно в среднем на 3,9%. В большей степени, это связано с высокими объемами инвестирования в составляющие ЧК в период 2000-2010 годы.

Далее рассмотрим 3 варианта развития ситуации, которые позволяют лицу, принимающему решение (ЛПР) обосновать стратегию социально-экономического развития в регионе: базовый, пессимистический и оптимистический прогноз.

Базовый прогноз – прогноз, полученный по исходной статистической информации на основе разработанного нейросетевого алгоритма прогнозирования количественных и качественных составляющих ЧК с учетом индикаторов социально-экономического развития региона.

Пессимистический прогноз – прогноз, предполагающий, что инвестиции в составляющие ЧК отходят от тенденции их существенного увеличения в последние годы и будут зафиксированы на более низком уровне за исследованный период.

Оптимистический прогноз – прогноз, предполагающий, что реализуется максимальный темп роста инвестиций, наблюдавшийся в исследованный период в социально-экономической системе.

Рассмотрим базовый прогноз изменения ЧК УР на период до 2025 года (см. таблицу 4.2).

Согласно базовому прогнозу, на период до 2025 года среднегодовой размер инвестиций в образование населения УР составит 44,9 млрд. руб., в здоровье – 53,8 млрд. руб., в культуру – 34,2 млрд. руб. Средняя величина ЧК населения региона к 2025 году прогнозируется в размере 802,2 млрд. руб.

Таблица 4.2 – Базовый прогноз изменения инвестиций в человеческий капитал УР до 2025 года (в ценах 2020 года)

Показатель	Инвестиции в составляющую ЧК			ЧК региона
	Образование	Здоровье	Культура	
Среднее значение за период 2021-2025 гг., млрд. руб.	44,9	53,8	34,2	781,1
- значение 2025 г., млрд. руб.	46,2	56,2	36,4	802,2
Средний темп роста за период 2021-2025 гг., %	100,9	103,2	101,3	101,7
Среднегодовой темп прироста за период 2021-2025 гг., %	+0,9	+3,2	+1,3	+1,7

Проведем параметрические исследования задачи прогнозирования ЧК, где параметрами управления являются капиталовложения в образование, здоровье и культуру. Результаты параметрического анализа позволяют ЛПР выбрать сценарий развития человеческого капитала региона на среднесрочную перспективу и использовать его для обоснования оптимального варианта стратегического развития территории.

В таблице 4.3 представлены 15 сценариев развития ЧК системы УР в зависимости от объема инвестиций (в ценах, приведенных к 2020 году). К примеру, сценарий № 4 подразумевает, что на прогнозный период ежегодный объем суммарных инвестиций в образование снизится на 10% относительно их объема в 2020 году, объем инвестиций в здоровье снизится на 10% относительно 2020 года, а объем инвестиций в культуру сохранится на уровне 2020 года.

Таблица 4.3 – Влияние на величину ЧК объемов инвестиций (относительно 2020 года) для выбора ЛПР стратегии социально-экономического развития УР

Сценарий развития	Суммарные инвестиции в образование $J_1 = S_1 + P_1$	Суммарные инвестиции в здоровье $J_2 = S_2 + P_2$	Суммарные инвестиции в культуру $J_3 = S_3 + P_3$	Величина ЧК региона в 2025 году		
				млрд. руб.	в % к 2020 г.	в % к базовому прогнозу
Базовый прогноз				802,2	111,2	100,0
Сценарии развития человеческого капитала в зависимости от инвестиций						
1	$J_1(t = 2020)$ – 10%	$J_2(t = 2020)$	$J_3(t = 2020)$	799,9	110,8	99,7
2	$J_1(t = 2020)$	$J_2(t = 2020)$ – 10%	$J_3(t = 2020)$	797,9	110,6	99,5
3	$J_1(t = 2020)$	$J_2(t = 2020)$	$J_3(t = 2020)$ – 10%	802,3	111,2	100,0

Продолжение таблицы 4.3

Сценарий развития	Суммарные инвестиции в образование $J_1 = S_1 + P_1$	Суммарные инвестиции в здоровье $J_2 = S_2 + P_2$	Суммарные инвестиции в культуру $J_3 = S_3 + P_3$	Величина ЧК региона в 2025 году		
				млрд. руб.	в % к 2020 г.	в % к базовому прогнозу
4	$J_1(t = 2020)$ – 10%	$J_2(t = 2020)$ – 10%	$J_3(t = 2020)$	790,6	109,5	98,5
5	$J_1(t = 2020)$ – 10%	$J_2(t = 2020)$	$J_3(t = 2020)$ – 10%	789,0	109,3	98,4
6	$J_1(t = 2020)$	$J_2(t = 2020)$ – 10%	$J_3(t = 2020)$ – 10%	793,7	109,9	98,9
7	$J_1(t = 2020)$ – 10%	$J_2(t = 2020)$ – 10%	$J_3(t = 2020)$ – 10%	787,2	109,0	98,1
8	$J_1(t = 2020)$	$J_2(t = 2020)$	$J_3(t = 2020)$	806,6	111,7	100,6
9	$J_1(t = 2020)$ + 10%	$J_2(t = 2020)$	$J_3(t = 2020)$	813,1	112,6	101,3
10	$J_1(t = 2020)$	$J_2(t = 2020)$ + 10%	$J_3(t = 2020)$	816,7	112,9	101,8
11	$J_1(t = 2020)$	$J_2(t = 2020)$	$J_3(t = 2020)$ + 10%	810,8	112,3	101,1
12	$J_1(t = 2020)$ + 10%	$J_2(t = 2020)$ + 10%	$J_3(t = 2020)$	821,6	113,8	102,4
13	$J_1(t = 2020)$ + 10%	$J_2(t = 2020)$	$J_3(t = 2020)$ + 10%	817,2	113,2	101,2
14	$J_1(t = 2020)$	$J_2(t = 2020)$ + 10%	$J_3(t = 2020)$ + 10%	819,3	113,5	102,1
15	$J_1(t = 2020)$ + 10%	$J_2(t = 2020)$ + 10%	$J_3(t = 2020)$ + 10%	824,9	114,3	102,8

При ежегодном снижении объемов инвестирования во все составляющие ЧК на 10% относительно уровня 2020 года величина ЧК к 2025 году составит 787,2 млрд. руб., что на 1,9% меньше его значения по базовому прогнозу. При ежегодном увеличении объемов инвестирования во все составляющие ЧК на 10% относительно 2020 года, ЧК к 2025 году составит 824,9 млрд. руб., что на 2,8% больше его значения по базовому прогнозу.

Принимая во внимание позитивные и негативные тенденции изменения инвестиций в ЧК УР за 2000-2020 годы, представим для ЛПР оптимистический и пессимистический сценарии развития в таблице 4.4.

Оптимистический прогноз предполагает, что реализуется максимальный темп роста инвестиций, наблюдавшийся в период 2000-2020 годы в социально-экономической системе УР. Так, для реализации оптимистического прогноза зафиксируем изменение инвестиций в 3 составляющие ЧК на их наибольшем уровне за период 2000-2020 годы (образование – темп роста 12,4% в 2002 году, здоровье – 114,9% в 2007 году, культура – 124,8% в 2003 году).

Пессимистический прогноз предполагает, что инвестиции в составляющие ЧК отходят от тенденции их существенного увеличения в последние годы и будут зафиксированы на более низком уровне (минимальная за рассматриваемый период величина инвестиций в каждую составляющую ЧК в сопоставимых ценах 2020 года).

Таблица 4.4 – Сценарии развития ЧК для выбора ЛПР стратегии социально-экономического развития УР в прогнозный период до 2025 года

Показатель		Сценарий развития ЧК		
		базовый	оптимистический	пессимистический
Средний годовой объем инвестиций, млрд. руб.	Образование	44,9	60,3	33,0
	Здоровье	53,8	84,9	39,0
	Культура	34,2	55,0	26,8
	Итого	132,9	200,2	98,8
Средний ежегодный темп прироста инвестиций, %	Образование	+0,9	+12,4	0,0
	Здоровье	+3,2	+14,9	0,0
	Культура	+1,3	+24,8	0,0
	Итого	+0,7	+16,7	0,0
Величина ЧК в 2025 году	Млрд. руб.	802,2	848,9	695,9
	% к 2020	+11,1	17,6	-3,5
Средний темп прироста ЧК за период 2021-2025 годы, %		+1,7	+2,5	-0,7

На рисунке 4.25 представлены некоторые сценарии развития ЧК УР до 2025 года, которые позволяют ЛПР обосновать стратегию социально-экономического развития в регионе: базовый, пессимистический и оптимистический прогноз.

Оптимистический прогноз развития ЧК УР, включающий ускорение темпов объема инвестирования в составляющие человеческого капитала по сравнению с 2020 годом, предполагает ежегодное увеличение ЧК на 2,5%. Согласно оптимистическому прогнозу, к 2025 году прогнозируется величина ЧК УР, рав-

ная 848,9 млрд. руб. Динамика ЧК по оптимистическому прогнозу в среднем на 5,1% больше значения ЧК по базовому прогнозу.

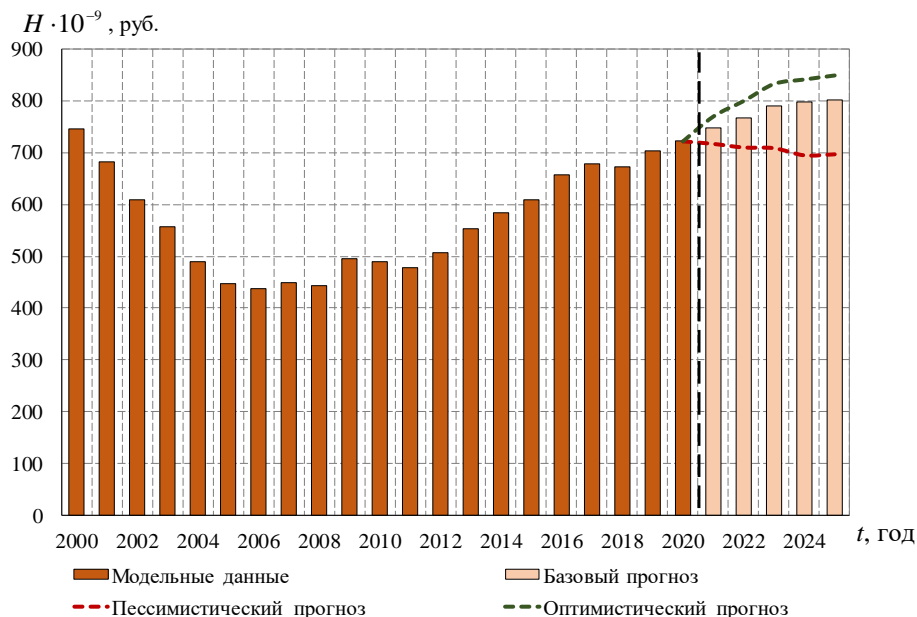


Рисунок 4.25 – Сценарии развития ЧК региона до 2025 года в ценах, приведенных к 2020 году

Пессимистический прогноз развития ЧК УР, отражающий замедление темпов объема инвестирования в составляющие человеческого капитала по сравнению с 2020 годом, предполагает его ежегодное снижение на 0,7%. Согласно пессимистическому прогнозу, к 2025 году прогнозируется величина ЧК УР, равная 695,9 млрд. руб. Динамика ЧК по пессимистическому прогнозу в среднем на 11,4% меньше значения ЧК по базовому прогнозу.

Для достижения показателя ЧК по оптимистическому сценарию ЛПР закладывает в стратегию социально-экономического развития региона необходимый объем инвестиций, направленных в человеческий капитал. Эффект оценивается возможностью лица, принимающего решение, обосновать приоритетные направления социально-экономической, бюджетной и инвестиционной политики региона на среднесрочный прогноз.

4.4 Обобщение опыта внедрения результатов диссертационного исследования

4.4.1 Внедрение теоретических и практических результатов исследований в учебный процесс

Основные результаты диссертационного исследования в виде:

- методики количественной оценки величины человеческого капитала;
- нейросетевого алгоритма прогнозирования количественных и качественных составляющих человеческого капитала;
- математических моделей, описывающих демографические процессы, структурную динамику населения по качественным признакам, зависимость макроэкономических показателей от факторов производства в региональной социально-экономической системе;

– структурированной базы данных статистических показателей социально-экономических процессов УР за период 2000-2020 годы;

– компьютерной программы, в которой реализовано совместное решение задач моделирования, прогнозирования и параметрических исследований показателей социально-экономических процессов, определяющих величину и динамику человеческого капитала населения региона

были использованы в ФГБОУ ВО «Ижевский государственный университет имени М.Т. Калашникова» (Приложение А) при разработке лабораторных и курсовых работ по дисциплинам «Математическое моделирование», «Эконометрика», «Методы оптимизации и теория оптимального управления» и «Проектирование программного обеспечения» для подготовки бакалавров направления 01.03.04 Прикладная математика (профиль «Применение математических методов и программных средств для решения инженерных и экономических задач») и магистров направления 01.04.04 Прикладная математика (программа «Разработка программного обеспечения и математических методов решения задач с использованием искусственного интеллекта»).

На основе предложенной методики оценки человеческого капитала, математических моделей и алгоритмов прогнозирования показателей социально-

экономических процессов осуществлена постановка задач и выполнены научно-исследовательские работы магистрантов, а также выпускные квалификационные работы бакалавров. В общей сложности, за время работы над диссертационным исследованием по данной тематике было защищено 6 магистерских диссертаций и 10 выпускных квалификационных работ бакалавров. Результаты научно-исследовательских работ, выполненных при участии студентов, докладывались на конференциях различного уровня, опубликованы в рецензируемых изданиях. Ниже представлены некоторые печатные работы, опубликованные студентами кафедры «Прикладная математика и информационные технологии» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» по результатам магистерских диссертаций и выпускных квалификационных работ бакалавров, выполненных в рамках настоящего диссертационного исследования:

1. Перевощикова Д.А. Математическое моделирование зависимости рождаемости и смертности от уровня потребления (на примере Российской Федерации) // I Липановские научные чтения. Материалы региональной научной конференции. Ижевск, 2021. С. 212-219.

2. Третьякова Я.И. Экономико-математическое моделирование динамики численности, рождаемости и смертности (на примере Удмуртской Республики) // I Липановские научные чтения. Материалы региональной научной конференции. Ижевск, 2021. С. 239-245.

3. Щекалева А.А. Анализ статистической информации по показателям численности населения, рождаемости и смертности (на примере Российской Федерации) // I Липановские научные чтения. Материалы региональной научной конференции. Ижевск, 2021. С. 253-258.

4. Никитина Ю.А. Моделирование процессов в системе здравоохранения (на примере Российской Федерации) // I Липановские научные чтения. Материалы региональной научной конференции. Ижевск, 2021. С. 205-211.

5. Кетова К.В., Вавилова Д.Д., Ларин В.О. Построение производственных функций экономической системы региона // Дневник науки. 2020. №6. С. 27-35.

6. Давыдова Е.Д., Кетова К.В. Прогнозные демографические построения для социально-экономической системы региона // Наукосфера. 2020. №4. С.37.

7. Третьякова Я.И., Кетова К.В. Экономико-математическое моделирование региональных демографических процессов // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика. сборник статей XVI Международной научно-практической конференции. 2019. С. 141-145.

По материалам диссертационного исследования разработаны два учебно-методических пособия:

1. Кетова К.В., Дерендяева Е.А., Вавилова Д.Д. Динамические модели экономики: учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по направлению 01.04.04 «Прикладная математика». – Ижевск, 2015. – 65 с.

2. Нефедов Д.Г., Русяк И.Г., Вавилова Д.Д. Объектно-ориентированное программирование: учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по направлению 01.03.04 «Прикладная математика». – Ижевск, 2020. – 116 с.

Внедрение результатов диссертационной работы в образовательный процесс ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова» позволило исключить временные затраты обучающихся, связанные с концептуальным и логическим проектированием базы данных, при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ, посвященных решению задач анализа и прогноза показателей социально-экономического развития различных регионов РФ. Кроме того, созданная база данных статистической информации по УР требует только ежегодного дополнения, тем самым сокращает время подготовки исходной информации при решении задач адаптивного прогнозирования социально-экономических показателей.

4.4.2 Использование результатов диссертационной работы в научном процессе

Результаты диссертационного исследования были использованы при выполнении научно-исследовательского гранта ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова» №01.04.04/18ККВ от 29.12.2018 г. на 2019-2020 гг. по теме:

«Анализ демографических процессов и исследование динамики человеческого капитала региона (на примере Удмуртской Республики)» (Приложение Б).

Научно-исследовательская работа содержит следующие разделы:

1. Развитие демографии как науки:

- предмет и задачи демографии;
- этапы становления демографического анализа;
- подходы и методы исследования в демографии;
- источники данных о населении.

2. Анализ демографической ситуации Удмуртской Республики:

- численность и структура населения;
- показатели рождаемости и смертности;
- возрастные показатели;
- основные причины смертности населения региона;
- трудовые ресурсы региона;
- демографическое положение районов Удмуртской Республики;
- демографические показатели Российской Федерации.

3. Анализ величины и динамики человеческого капитала региональной

социально-экономической системы:

- классификация видов человеческого капитала;
- определение понятия «человеческий капитал»;
- основные виды инвестиций в человеческий капитал;
- методы и система оценки человеческого капитала;
- качественные и количественные характеристики ЧК;
- статистические данные для расчета человеческого капитала;
- модель расчета величины и динамики человеческого капитала;
- результаты расчета человеческого капитала региональной экономической системы.

В состав заключительного отчета по теме гранта вошли результаты, полученные лично автором и представленные в главах 2, 3, 4 настоящего исследования.

4.4.3 Внедрение результатов исследований в рабочий процесс разработки программы социально-экономического развития территорий

В 2020 году в Удмуртской Республике в рамках реализации национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» была сформирована АНО «Цифровая экономика УР», финансируемая из средств федерального бюджета. Одной из главных целей АНО является осуществление деятельности по формированию программ социально-экономического развития, формируемых в министерствах и ведомствах на территории региона с применением современных методов обработки данных, построения адаптивного прогноза и выработка рекомендаций на основе проведенного анализа.

Результаты настоящего диссертационного исследования внедрены в деятельность АНО «Цифровая экономика УР» (Приложение В). Сотрудниками изучены теоретические и практические разработки диссертационного исследования, в том числе математические модели оценки демографической структуры по качественным признакам, математическая модель расчета величины человеческого капитала населения и ИАС моделирования и прогнозирования показателей социально-экономических процессов в регионе.

Результаты моделирования и прогнозирования социально-экономических процессов в УР, представленные в диссертационной работе, использованы АНО «Цифровая экономика УР» при реализации проектов цифровой трансформации в рамках национальных проектов «Цифровая экономика». Разработанная автором информационно-аналитическая система использована для анализа динамики статистических данных и расчета основных показателей демографической структуры населения и макроэкономических показателей региона, а также для построения прогнозов развития социально-экономических процессов в регионе с учетом новой поступающей статистической информации.

В рамках национального проекта «Демография» АНО «Цифровая экономика УР» использованы:

– математические модели показателей демографических процессов – для оценки состояния населения и его воспроизводства в регионе и прогноза плот-

ности населения, рождаемости, смертности, естественного прироста населения, миграции в УР на среднесрочный период;

– разработанная информационно-аналитическая система – для информационно-справочного обслуживания, при котором данные выдаются по нерегулярным запросам пользователей в виде специально разработанных таблиц, графиков и диаграмм.

В рамках проекта Министерства экономики «Разработка прогноза социально-экономического развития УР на среднесрочный период» АНО «Цифровая экономика УР» использованы:

– функция взаимосвязи производственных ресурсов и конечного выпуска продукции – для прогноза ВРП УР на среднесрочный период;

– подход, использованный для параметрических исследований динамики развития человеческого капитала – для имитационного сценарного моделирования социально-экономических процессов, в частности, для расчета перспективной динамики ВРП УР в зависимости от изменения объема инвестиций в основные факторы развития экономики;

– нейросетевой алгоритм – для решения задачи построения зависимости валового регионального продукта от совокупного объёма инвестиций в экономику УР за счёт всех источников финансирования.

Эффект от внедрения ИАС в деятельность АНО «Цифровая экономика УР» оценивается по данным в таблицах 4.5-4.6.

В таблице 4.5 отражено среднее время работы специалиста АНО «Цифровая экономика УР» при проведении анализа и прогноза показателей социально-экономических процессов, использующего встроенные для анализа данных инструменты программного продукта MS Excel. Принятая в АНО «Цифровая экономика УР» методика прогнозирования показателей социально-экономических процессов основана на построении трендовых регрессионных моделей, где качество прогнозной модели оценивается на участке ретропрогноза. В зависимости от вида математической модели и исследуемого во времени показателя средняя относительная ошибка прогноза варьируется в диапазоне 8-17 %.

Таблица 4.5 – Среднее время работы специалиста АНО «Цифровая экономика УР» при проведении анализа и прогноза показателей социально-экономических процессов с использованием MS Excel

№ п/п	Показатели	Затрачиваемое время, час.	
		Анализ	Прогноз
1	Демографические показатели (плотность населения, рождаемость, смертность, естественный прирост населения, миграция)	40	64
2	Показатели социально-экономических процессов (инвестиции, производственный капитал, трудовые ресурсы, др.)	32-64	56-80
3	Валовой региональный продукт	16-32	32-64
4	Человеческий капитал	-	-

В таблице 4.6 отражено среднее время работы специалиста, обученного для работы с ИАС «Моделирование и прогнозирование показателей социально-экономических процессов региона», при проведении анализа и прогноза показателей социально-экономических процессов в региональной системе.

Таблица 4.6 – Среднее время работы специалиста при проведении анализа и прогноза показателей социально-экономических процессов с использованием разработанной ИАС

№ п/п	Показатели	Затрачиваемое время, час.	
		Анализ	Прогноз
1	Демографические показатели (плотность населения, рождаемость, смертность, естественный прирост населения, миграция)	8	16
2	Показатели социально-экономических процессов (инвестиции, производственный капитал, трудовые ресурсы, др.)	16-24	16-32
3	Валовой региональный продукт	8	16
4	Человеческий капитал	8	8

Сравнение данных в таблицах в 4.5 и 4.6 показывает, что использование разработанных алгоритмов и программного обеспечения позволяет существенно (более чем в 2-3 раза) снизить время, затрачиваемое на анализ и построение прогнозов исследуемых показателей. При этом повышается точность прогнозов: средняя относительная ошибка составляет 3-5 % (см. п.п.3.3).

Использование результатов диссертационной работы, интегрированных в ИАС, при построении стратегии социально-экономического развития предоставляет возможность ЛПР выбрать наиболее оптимальный план стратегиче-

ского развития территории. Результаты параметрического анализа, позволяющие достичь положительного эффекта социально-экономического развития региона, представлены в пункте 4.3.

Выводы

1. Разработана информационно-аналитическая система анализа и прогноза показателей социально-экономических процессов в регионах, включающая базу данных, аналитическую подсистему и подсистему визуализации результатов. В качестве главных макропоказателей развития рассмотрены производственный капитал, человеческий капитал и валовой региональный продукт; выполнено их моделирование и прогнозирование для Удмуртской Республики и других регионов Приволжского федерального округа.

2. Решена задача моделирования и прогнозирования человеческого капитала социально-экономической системы УР, учитывающего демографическую структуру и включающей три компонента: образование, здоровье и культуру. При построении прогноза ЧК использован нейросетевой алгоритм прогнозирования его количественных составляющих (инвестиций) и качественных составляющих (весовых коэффициентов для составляющих человеческого капитала на основе градаций признаков элементов социума – образование, здоровье, культура). Модель позволяет проводить анализ и прогноз динамики ЧК и его составляющих как по времени, так и по возрасту.

3. Расчеты показали, что в 2000-2020 годы величина человеческого капитала УР имела и положительную, и отрицательную динамику. В начале периода наблюдалось снижение ЧК с ежегодным темпом 7,3%, начиная с 2013 года начинается его рост с ежегодным темпом 2,8%. В 2020 году величина ЧК на одного жителя УР составила в среднем 480,8 тыс. руб. В ближайшей перспективе прогнозируется темп роста ЧК УР по базовому сценарию 2,1% в год.

4. Проведены параметрические исследования ЧК (базовый, оптимистический и пессимистический прогноз), которые позволяют ЛПР формировать стратегию социально-экономического развития в регионе.

5. Результаты, полученные в диссертации, использованы в учебном процессе кафедры «Прикладная математика и информационные технологии» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», научном процессе при выполнении гранта №01.04.04/18ККВ от 29.12.2018 г., рабочем процессе АНО «Цифровая экономика Удмуртской Республики» при выполнении проекта Министерства экономики УР «Разработка прогноза социально-экономического развития Удмуртской Республики на среднесрочный период». Использование разработанных алгоритмов и программного обеспечения позволило снизить время, затрачиваемое на анализ и построение прогнозов исследуемых показателей социально-экономического развития региона, в 2-3 раза, а также повысить точность прогнозов: средняя относительная ошибка прогнозирования показателей снизилась до 3-5 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана методика количественной оценки и прогноза величины человеческого капитала. Математическая модель оценки человеческого капитала учитывает вклад качественной структуры населения и временно-возрастное распределение государственных и частных капиталовложений в его составляющие: образование, здоровье и культуру.

2. Реализован вычислительный нейросетевой алгоритм прогнозирования количественных и качественных составляющих человеческого капитала с учетом влияния факторов внешней среды региональной социально-экономической системы. Показано, что учет факторов внешней среды позволяет снизить погрешность прогнозирования на 7-9 %.

3. Создана новая ИАС «Моделирование и прогнозирование показателей социально-экономических процессов региона», включающая, в отличие от существующих, определение величины и динамики человеческого капитала населения. ИАС содержит базу данных, аналитическую подсистему и визуализирует результаты. База данных представляет собой разработанную структуру взаимосвязанных блоков статистической информации по УР и другим регионам ПФО за период 2000-2020 годы. В аналитической подсистеме реализованы разработанные математические модели и алгоритмы моделирования и прогнозирования показателей социально-экономических процессов. Подсистема визуализации расчетов в ИАС выполняет функцию информационной поддержки. Разработанное ПО позволяет рассчитывать величину и динамику новых, ранее не моделированных, показателей, таких как человеческий капитал, индексы образования, здоровья, культуры и др. При этом построение прогнозов происходит в адаптивном режиме с учетом вновь поступающей информации.

4. Впервые выполнено комплексное исследование показателей социально-экономических процессов УР, позволяющее оценить влияние количественных и качественных характеристик различных групп населения на динамику человеческого капитала. Результаты численных исследований показали, что для

УР в интервале с 2000 по 2008 годы наблюдается снижение величины ЧК с ежегодным темпом 6,3%; в 2008 году величина ЧК составила 442,5 млрд. руб. Далее, до 2020 года, наблюдается заметный рост ЧК со средним ежегодным темпом 4,1% и его величина в 2020 году составит 721,7 млрд. руб. В расчете на одного жителя региона, величина ЧК составляет 480,8 тыс. руб. Основной вклад (более 65 %) в величину ЧК вносит образовательная составляющая.

5. Проведены параметрические исследования ЧК (базовый, оптимистический и пессимистический прогноз), которые позволяют ЛПР формировать стратегию социально-экономического развития в регионе. Согласно базовому прогнозу, средний темп роста ЧК на 2021-2025 годы составит 2,1% в год. Оптимистический прогноз ЧК построен на предположении, что реализуется максимальный темп роста инвестиций, наблюдавшийся в 2000-2020 годы. Согласно оптимистическому прогнозу, к 2025 году величина ЧК УР достигнет 848,9 млрд. руб., при этом ежегодный темп роста ЧК 2,5%. Пессимистический прогноз предполагает, что инвестиции в ЧК отходят от тенденции увеличения, наблюдавшейся в последние годы, и будут зафиксированы на их среднем уровне в 2000-2020 годы. В таком случае, к 2025 году прогнозная величина ЧК УР составит 695,9 млрд. руб., при этом ежегодный темп снижения ЧК 0,7%.

6. Результаты, полученные в диссертации, использованы в научно-образовательном процессе «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова» и в рабочем процессе АНО «Цифровая экономика УР». Использование разработанных алгоритмов и ПО позволило снизить время, затрачиваемое на анализ и построение прогнозов исследуемых показателей, в 2-3 раза, а также повысить точность прогнозов: средняя относительная ошибка прогнозирования показателей снизилась до 3-5 %. Достигнутые в работе результаты использованы при формировании программ социально-экономического развития в рамках реализации национальных проектов федеральной программы «Цифровая экономика». Разработанная ИАС позволяет профильным министерствам и ведомствам проводить оценку тенденций изменения социально-экономических показателей регионов и их сравнительный анализ для различных регионов РФ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dubiei Yu.V. Interrelation between human capital and innovation in the context of technical and technological development of a country // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2021. – № 6. – Pp. 148-154. DOI: 10.33271/nvngu/2020-6/148.
2. Bickler G., Morton S. Health and sustainable development: an analysis of European voluntary national reviews // *Public Health*. – 2020. – №18. –Pp. 180-184. DOI: 10.1016/j.puhe.2019.10.020.
3. Yang Y., Zheng R., Zhao L. Population aging, health investment and economic growth: Based on a cross-country panel data analysis // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2020. – № 18(4). – Pp. 1-16. DOI: 10.3390/ijerph18041801.
4. Романовский М.Ю. Человеческий потенциал и человеческий капитал России // *Мир человека: неопределенность как вызов*. – М.: Леонард, 2018. – С. 198-223.
5. Шестакова Н.Н., Скворцова М.Б., Чистякова Н.Е. Человеческий капитал старших поколений в современном российском обществе: монография. – Санкт-Петербург, 2018. – 302 с.
6. Кетова К.В. Математические модели экономической динамики: монография. – Ижевск: Из-во Ижевского государственного технического университета, 2013. – 284 с.
7. Cournot A.A. *Recherches sur les principes mathématiques de la theorie des richesses*. – Paris, 1838.
8. Jevons W.S. *The Theory of Political Economy*. – London, 1871.
9. Walras L. *Elements of Pure Economics*. – London, 1877.
10. Marshall A. *Principles of Economics*. – London, 1890.
11. Fisher I. Senses of Capital // *The Journal of Political Economy*, 1897. №8. Pp. 200-210.
12. Tinbergen J. Bestimmung und Deutung von Angebotskurven // *Zeitschrift*

für Nationalökonomie. – 1930. – №1 (1). – Pp. 669-679.

13. Frisch R. Statistical confluence analysis by means of complete regression systems. – Oslo, 1934. – 192 p.

14. Koopmans T.C. Linear Regression Analysis of Economic Time Series. – Netherlands, 1937. – 150 p.

15. Туган-Барановский М.И. Социальная теория распределения. – Москва, 1913.

16. Кондратьев Н.Д. Мировое хозяйство и его конъюнктура во время и после войны. – Вологда: Обл. отделение Государственного издательства, 1922.

17. Ковалевский Н.А. Экономические районы СССР в 1929–1930 гг. // На плановом фронте. – 1929. – № 7. – С. 6-12.

18. Solow R.M. A contribution to the theory of economic growth // Quarterly Journal of Economics, 1956. – 70. – №1.

19. Domar E.D. Essays in the theory of economic growth. – Oxford: Oxford University Press, 1957. – 272 p.

20. Schultz T.W. Economic value of education. – N.Y., 1963.

21. Mincer J. Investment in Human Capital and Personal Income Distribution // Journal of Political Economy, 4 (66), 1968.

22. Kuznets S. Population, Capital and Growth. – 1973.

23. Becker G.S. Human capital: A Theoretical and Empirical Analysis with Special Reference to Education. – N.Y.: Columbia University Press, 1975.

24. Kendrick J. The formation and stocks of total capital. National Bureau of Economic Research. – N.Y.: Columbia University Press, 1976.

25. Thurow L.C. The Zero-Sum Society. Distribution and the Possibilities for Economic Change. – 1980.

26. Jorgenson D.W., Fraumeni B.M. The Accumulation of Human and Non-human Capital. – 1984.

27. Blaug M. Economics of Education and the Education of an Economist. – 1987.

28. Lucas R.E. On the Mechanics of Economic Development// Journal of

Monetary Economics, 1988. – 22. – №1.

29. Perlman M. The Character of Economic Thought, Economic Characters, and Economic Institutions. – 1996.

30. Fraumeni B. Human Capital Accounts: Choice of Rates and Construction of Volume Indices. Cambridge, MA: NBER Working Paper, 2011. – No. 16895.

31. Критский М.М. Человеческий капитал: монография. – Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1991. – 177 с.

32. Дятлов С.А. Основы теории человеческого капитала: монография. – СПб.: Издательство Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов, 1994. – 156 с.

33. Корицкий А.В. Введение в теорию человеческого капитала: монография. – Новосибирск: Изд-во Сибирского университета потребительской кооперации, 2000. – 112 с.

34. Курганский С.А. Структура человеческого капитала и оценка на макроуровне// Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2011. – № 6 (80). – С. 15-22.

35. Капелюшников Р.И. Сколько стоит человеческий капитал России? // Вопросы экономики. – 2013. – № 1. – С. 27-47. DOI:10.32609/0042-8736-2013-1-27-47.

36. Романовский М.Ю., Романовский Ю.М. Математические начала экономифизики. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2020. – 360 с.

37. Methods and Apparatus for Determining and Using Human Capital Metrics as Measures of Economic Value of Persons to an Organization. Request number 20070250417. Publication date 25.10.2007. [Электронный ресурс]. URL: https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=US41871073&_cid=P20-L2A7QV-26853-2.

38. Method and System for Analysis of Financial Investment in Human Capital Resources. Vienna Human Capital Advisors. Publication date 24.04.2008. [Электронный ресурс]. URL: https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=WO2008048660&_cid=P20-L2A7QV-26853-4.

39. Human capital value metering method and device. Advanced Training Center of State Grid Corporation of China. Request number 201911101591.0. Publication date 15.05.2020. [Электронный ресурс]. URL: https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=CN297235211&_cid=P20-L2A7QV-26853-1.

40. System and Methods for Real-Time Detection, Correction, and Transformation of Time Series Data. Request number 20140032506. Publication date 30.01.2014. [Электронный ресурс]. URL: https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=US95820469&_cid=P20-L2A79G-19441-5.

41. Method and system for forecasting using an online analytical processing database. International Business Machines Corporation. Request number 20080243660. Publication date 25.07.2017. [Электронный ресурс]. URL: https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=US42297416&_cid=P20-L2A79G-19441-5.

42. Система прогнозирования временных рядов на основе нелинейной авторегрессионной нейронной сети и векторной авторегрессии. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Номер свидетельства: RU 2018614286. Номер заявки: 2017663079. Дата регистрации: 04.04.2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39293689>.

43. Программная система прогнозирования наркотизации населения на основе сценария развития демографической ситуации в регионе. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Номер свидетельства: RU 2015613640. Номер заявки: 2015610353. Дата регистрации: 28.01.2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39329539>.

44. Информационно-аналитическая система прогнозирования социально-экономического развития Воронежской области. Номер свидетельства: RU 2017621457. Номер заявки: 2017621154. Дата регистрации: 17.10.2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39373526>.

45. Система прогнозирования временных рядов макроэкономических процессов посредством взвешивания набора регрессионных моделей. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Номер свиде-

тельства: RU 2018610163. Номер заявки: 2017619774. Дата регистрации: 09.01.2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39278969>.

46. Способ и система для прогнозирования значений временного ряда с использованием искусственной нейронной сети. Патент на изобретение. Номер свидетельства: RU 2744041 С1. Номер заявки: 2019128366. Дата регистрации: 10.09.2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45806074>.

47. Кетова К.В., Русяк И.Г., Вавилова Д.Д. Математическое моделирование и нейросетевое прогнозирование структуры и динамики человеческого капитала Российской Федерации // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2020. – № 53 (4). – С.13-24. DOI:10.17223/19988605/53/2.

48. Кетова К.В., Вавилова Д.Д. Оценка тенденций изменения человеческого капитала социально-экономической системы на основе применения алгоритма нейросетевого прогнозирования // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2020. – Т. 13. – № 6. – С.126-142. DOI:10.15838/esc.2020.6.72.

49. Ketova K.V., Rusyak I.G., Saburova E.A., Vavilova D.D. Regional socio-economic parameters modeling and system analysis by means of programming and computing suite // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. – № 862. – 052044. DOI:10.1088/1757-899X/862/5/052044.

50. Ketova K.V., Vavilova D.D. Modelling a human capital of an economic system with neural networks // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – № 1703. – 012035. DOI:10.1088/1742-6596/1703/1/012035.

51. Ketova K.V., Kasatkina E.V., Vavilova D.D. Development of an effective adaptive forecasting system based on the combination of neural network and genetic algorithm // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – № 1889(3). – 032029. DOI:10.1088/1742-6596/1889/3/032029.

52. Кетова К.В., Касаткина Е.В., Насридинова Д.Д. Прогнозирование по-

казателей социально-экономического развития региона // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2013. – № 4. – С.104-120.

53. Касаткина Е.В., Вавилова Д.Д. Информационно-аналитическая система прогнозирования обобщающих показателей социально-экономического развития региона // Проблемы управления. – 2015. – № 4. – С. 25-34.

54. Вавилова Д.Д., Кетова К.В. Прогнозирование показателей социально-экономического развития региона и сценарий экономического роста // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2015. Т. 194. – С. 429-440.

55. Вавилова Д.Д., Кетова К.В. Нейросетевая модель прогнозирования человеческого капитала // Интеллектуальные системы в производстве. – 2020. – Т. 18. – № 1. – С. 26-35. DOI:10.22213/2410-9304-2020-1-26-35.

56. Кетова К.В., Вавилова Д.Д. Построение математических оценок культурной составляющей человеческого капитала // Интеллектуальные системы в производстве. – 2021. – Т. 19. – № 1. – С. 100-111. DOI: 10.22213/2410-9304-2021-1-100-111.

57. Кетова К.В., Вавилова Д.Д. Структурно-динамический анализ составляющей здоровья человеческого капитала социально-экономической системы // Статистика и Экономика. – 2021. – Т. 18. – № 1. – С. 54-66. DOI: 10.21686/2500-3925-2021-1-54-66.

58. Кетова К.В., Касаткина Е.В., Вавилова Д.Д. Application of Genetic Algorithm for Adjusting the Structure of Multilayered Neural Network for Prediction of Investment Processes // Материалы VIII Международной конференции «Технические университеты: интеграция с европейскими и мировыми системами образования», Ижевск, 2019. – Т.1. – С. 223-233.

59. Вавилова Д.Д., Кетова К.В. Практика применения нейросетевого моделирования для прогнозирования социально-экономических процессов // Сборник научных статей IV Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения». – Тольятти, 2020. – С.213-217.

60. Вавилова Д.Д. Культурная составляющая человеческого капитала: со-

циально-экономическое исследование на примере Удмуртской Республики // Скиф. Вопросы студенческой науки. – 2021. – № 2 (54). – С. 76-85.

61. Кетова К.В., Русяк И.Г., Вавилова Д.Д. К вопросу о применении нейронных сетей для решения задачи кластеризации социума // Бюллетень науки и практики. – 2020. – Т.6. – № 8. – С.19-33.

62. Кетова К.В., Вавилова Д.Д., Кузьмин М.С. Анализ структуры населения по уровню образования // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2020. – № 6-2 (45). – С. 27-34.

63. Кетова К.В., Вавилова Д.Д. Индекс здоровья населения экономической системы: региональный аспект // Studnet. – 2021. – Т. 4. – № 1. – С. 125.

64. Вавилова Д.Д. Оптимизация структуры нейронной сети с использованием генетического алгоритма // Сборник статей II Всероссийской научной конференции с международным участием «Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения». – 2019. – С. 97-101.

65. Кетова К.В., Касаткина Е.В., Вавилова Д.Д. Экономико-математическое моделирование макроэкономических показателей региона с использованием программно-вычислительного комплекса // Евразийское Научное Объединение. 2020. – № 3-3 (61). – С. 176-180.

66. Насридинова Д.Д., Касаткина Е.В., Кетова К.В. Программа структурной оптимизации прогнозных нейросетевых моделей // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2014618038. Заявка №2014615568 от 10.06.2014.

67. Вавилова Д.Д. Программа нейросетевого моделирования и прогнозирования инвестиционных процессов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2019667497. Заявка № 2019666706 от 16.12.2019.

68. Вавилова Д.Д., Кетова К.В. Информационно-аналитическая система «Моделирование и прогнозирование показателей социально-экономических процессов региона» // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022619947. Заявка № 2022619240 от 19.05.2022.

69. Кетова К.В., Романовский Ю.М., Русяк И.Г. Математическое моделирование динамики человеческого капитала // Компьютерные исследования и

моделирование. – 2019. – Т. 11. № 2. – С. 329-342. DOI: 10.20537/2076-7633-2019-11-2-329-342.

70. Айвазян С.А., Афанасьев М.Ю. Модели оценки человеческого капитала компании, основанные на концепции стохастической границы // Экономика и математические методы. – 2012. – Т. 48. – №3. – С. 45-63.

71. The Yearbook of the United Nations / United Nations [Электронный ресурс]. URL: <https://unyearbook.un.org>.

72. Liu G. Measuring the Stock Human Capital for Comparative Analysis: An Application of the Lifetime Income Approach to Selected Countries. – 2001.

73. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная распоряжением Правительства РФ от 28.07.2017г. №1632-р / Правительство Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>.

74. Сценарии роста Российской экономики с учетом вклада человеческого капитала // Доклад НИУ ВШЭ. – Москва, 2019 [Электронный ресурс]. URL: https://www.hse.ru/data/2019/04/12/1178004658/1%20Сценарии_роста.pdf.

75. Горелов С.И. Математические методы в прогнозировании. – М., 1993.

76. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 1005 с.

77. Бережная Е.В., Бережной В.И. Математические методы моделирования экономических систем. – М., 2001. – 368 с.

78. Крук Д.М., Мосин Д.М. Основы экономического и социального прогнозирования. – М.: Высшая школа, 2005. – 200 с.

79. Багриновский К.А., Тренев Н.Н. Моделирование процессов адаптации экономических систем // Экономика и математические методы. – 1999. – Т. 35. – № 2. – С. 138-150.

80. Венсель В. Адаптивные статистические модели и их применение. – Таллин: Таллинский политехнический институт, 2004. – 104 с.

81. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. – М.: Дело, 2005. – 576 с.

82. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. – М.: Финансы и статистика, 2010. – 416 с.
83. Суфиянов В.Г. Разработка адаптивных статистических моделей классификации и прогнозирования: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Ижевск, 2004. – 142 с.
84. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 382 с.
85. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. – М.: Финансы и статистика. – 2004. – 176 с.
86. Бурковский В.Л., Гусев К.Ю. Нейросетевая модель прогнозирования динамики экономических показателей // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – №4. – С. 80-83.
87. Гусев К.Ю., Бурковский В.Л. Нейросетевая модель прогнозирования интегральных экономических показателей // Системы управления и информационные технологии. – 2012. – №2 (48). – С. 132-135.
88. Митинская А.Н. Исследование проблемы прогнозирования с использованием нейронных сетей // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т.3. №7-2. – С.30-31.
89. Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: An overview // Neural Networks, 2015. DOI: 10.1016/j.neunet.2014.09.003.
90. Ghanbarzadeh M., Aminghafari M. A novel wavelet artificial neural networks method to predict non-stationary time series // Communications in statistics-theory and methods, 2018. – №4. DOI: 10.1080/03610926.2018.1549259.
91. Круг П.Г. Нейронные сети и нейрокомпьютеры. – М.: Изд-во Московского энергетического института, 2007. – 176 с.
92. Кузнецов А.С., Семенов Е.Ю., Матросова Л.Д. Кластеризация изображений при использовании предобученных нейронных сетей // International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – № 7. – С.42-47.
93. Козадаев А.С. Принципы реализации искусственной нейронной сети // Вестник российских университетов. – 2007. – Т.12. – №1. – С. 108-110.

94. Wang Z., Liu K., Li J., Zhu Y., Zhang Y. Various Frameworks and Libraries of Machine Learning and Deep Learning: A Survey // Archives of Computational Methods in Engineering, 2019. DOI:10.1007/s11831-018-09312-w.
95. McCulloch W.S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity // Bull. Math. Biophys., 1943. №5. – Pp.115-133.
96. Hebb D.O. The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory. – Wiley, 1949. – 335 p.
97. Rosenblatt F. Principles of Neurodynamics: perceptrons and the theory of brain mechanisms. – Washington, D.C., 1962. – 480 p.
98. Grossberg S. Competitive learning: From interactive activation to adaptive resonance // Cognitive Science. – 1987. – № 1. – Pp. 23-63.
99. Werbos P.J. Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. – Harvard University, Cambridge, 1974.
100. Minsky M.L., Papert S. Perceptrons: an introduction to computational geometry. – Cambridge, Mass., 1969. – 112 p.
101. Hopfield J.J., Tank D.W. Neural computation of decisions in optimization problems // Biological Cybernetics, 1985. – № 3. – Pp. 141-152.
102. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. – United States, 1998. – 842 p.
103. Hecht-Nielsen R. Confabulation Theory. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. – 116 p.
104. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия, 2006. – 452 с.
105. Effati S., Nazemi A. Neural network models and its application for solving linear and quadratic programming problems // Applied Mathematics and Computation, 2006. – №1. – Pp. 305-331.
106. Ясницкий Л.Н. Интеллектуальные системы. – М.: Лаборатория знаний, 2016. – 221 с.
107. Горбачевская Е.Н. Обучение искусственной нейронной сети для задач прогнозирования // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. –

2012. – №1. – С.15-20.

108. Юнусова Л.Р., Магсумова А.Р. Алгоритмы обучения искусственных нейронных сетей // Проблемы науки. – 2019. – С.21-25.

109. Cavarretta F., Naldi G. Mathematical study of a nonlinear neuron model with active dendrites // Aims Mathematics, 2019. – № 3. – Pp. 831-846.

110. Ho K.L., Hsu Y.Y., Yang C.C. Short term load forecasting using a multi-layer neural network with an adaptive learning algorithm // IEEE Transactions on Power Systems, 2009. – №7. – Pp. 141-149.

111. Nguyen N., Cripps A. Predicting Housing Value: A comparison of multiple regression analysis and artificial neural networks // JRER, 2005. №3. – Pp. 314-336.

112. Xu B. Prediction of sports performance based on genetic algorithm and artificial neural network // International Journal of Digital Content Technology and its Applications, 2012. – №6(22). DOI:10.4156/jdcta.vol6.issue22.14.

113. Nti I.K., Adekoya A.F., Weyori B.A. A novel multi-source information-fusion predictive framework based on deep neural networks for accuracy enhancement in stock market prediction // Journal of Big Data, 2021. – № 8(1). DOI:10.1186/s40537-020-00400-y.

114. Кетова К.В. Оптимальное распределение капиталовложений с учетом демографического прогноза: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова. – Ижевск, 2004. – 151 с.

115. Русяк И.Г., Ушаков В.М. Внутрикамерные гетерогенные процессы в ствольных системах. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. – 269 с.

116. Сабурова Е.А. Математическая модель оптимального управления экономическим развитием региона: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Санкт-Петербургский государственный университет. Санкт-Петербург, 2015. – 133 с.

117. Борисов В.А. Демография. – М.: NOTA BENE, 2003. – 344 с.

118. Алтунина В.В. Роль образования в экономическом развитии страны // Креативная экономика, 2019. Т.13. DOI:10.18334/ce.13.11.41367.

119. Всероссийская перепись населения 2002 года / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.perepis2002.ru/index.html?id=15>.

120. Всероссийская перепись населения 2010 года / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm.

121. Микрперепись населения 2015 года / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: https://gks.ru/free_doc/new_site/population/demo/micro-perepis/finish/micro-perepis.html.

122. Переписи и обследования по Удмуртской Республике / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по УР [Электронный ресурс]. URL: <https://udmstat.gks.ru/folder/38533>.

123. Статистический сборник Высшей школы экономики–2020 / Институт статистических исследований и экономики знаний [Электронный ресурс]. URL: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/352549981.pdf>.

124. Информационно-аналитические материалы Министерства здравоохранения УР / Республиканский медицинский информационно-аналитический центр Министерства здравоохранения Удмуртской Республики [Электронный ресурс]. URL: http://rmiac.udmmed.ru/inform-analit_materialy.

125. Погодина В.А., Бабенко А.И., Гусельникова Н.А. Динамика заболеваемости у населения различных возрастных групп в Российской Федерации // Вестник Уральской медицинской академической науки. – 2016. – № 2 (57). – С. 170-179. DOI:10.22138/2500-0918-2016-14-2-170-179.

126. Федеральный закон «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» от 21.11.2011 №323-ФЗ / Консультант Плюс [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_121895.

127. Сведения об инвалидах в Удмуртской Республике / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Удмуртской Республике [Электронный ресурс]. URL: <https://udmstat.gks.ru/folder/51931>.

128. Численность инвалидов в Российской Федерации, федеральных окру-

гах и субъектах РФ / Пенсионный Фонд Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://sfri.ru/analitika/chislennost>.

129. Минздрав Российской Федерации: 45% россиян имеют хронические заболевания / Аргументы и факты [Электронный ресурс]. URL: <https://aif.ru/society/healthcare/1414177>.

130. Официальная статистика о населении Удмуртской Республики / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по УР [Электронный ресурс]. URL: <https://udmstat.gks.ru/folder/51924>.

131. Заболеваемость населения России / Институт демографии НИУ «Высшая школа экономики» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2019/0807/barom01.php>.

132. Пикина Т.В., Тараканов И.А. Категоризация осужденных к наказаниям, связанным с изоляцией от общества, и ее влияние на правовой статус осужденного // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. – 2019. – Т.5. – № 2. – С. 192-196.

133. Регионы РФ. Основные характеристики субъектов Российской Федерации / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gks.ru/folder/210/document/13205>.

134. Портал правовой статистики Российской Федерации / Генеральная прокуратура РФ [Электронный ресурс]. URL: <http://crimestat.ru/analytics>.

135. Статистические данные Управления Федеральной службы исполнения наказаний по Удмуртской Республике / УФСИН России по Удмуртской Республике [Электронный ресурс]. URL: <http://18.xn--h1akkl.xn--p1ai/stat/index.php>.

136. Усеев Р.З., Илюхин С.Е. Оптимизация численности осужденных в исправительных учреждениях в системе профилактики правонарушений // Вестник Самарского юридического института. – 2019. – № 1 (32). – С. 97-104.

137. Статистика и аналитика / Министерство внутренних дел РФ [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--b1aew.xn--p1ai/dejatelnost/statistics>.

138. 18,2% россиян имеют судимость / Коммерсант [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/1029331>.

139. Русяк И.Г., Кетова К.В. Идентификация и прогнозирование обобщающих показателей развития региональной экономической системы // Прикладная эконометрика. – 2009. – № 3 (15). – С. 56-71.

140. Айвазян С.А., Афанасьев М.Ю., Кудров А.В. Индикаторы основных направлений социально-экономического развития и их агрегаты в пространстве характеристик региональной дифференциации // Прикладная эконометрика. – 2019. – №2. – С. 51-62. DOI:10.24411/1993-7601-2019-10003.

141. Якимович Б.А., Тененев В.А. Методы анализа и моделирования систем. – Ижевск, 2001. – 152 с.

142. Консолидированные бюджеты субъектов РФ и бюджетов территориальных государственных внебюджетных фондов / Федеральное казначейство [Электронный ресурс]. URL: <http://www.roskazna.ru/ispolnenie-byudzhetrov/konsolidirovannye-byudzhety-subektov>.

143. Годовой отчет об исполнении федеральных бюджетных средств / Федеральное казначейство [Электронный ресурс]. URL: <http://udmurtia.roskazna.ru/ispolnenie-byudzhetrov/federalnyy-byudzhety/godovoy-otchet-ob-ispolnenii-byudzheta>.

144. Доходы, расходы и потребление домашних хозяйств / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gks.ru/compendium/document/13271>.

145. Уровень жизни / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по УР [Электронный ресурс]. URL: <https://udmstat.gks.ru/folder/51930>.

146. Национальные счета. Индексы / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/accounts>.

147. Федеральные статистические наблюдения социально-демографических проблем/Федеральная служба госстатистики [Электронный ресурс]. URL: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/inspection/itog_inspect1.htm.

Акт о внедрении результатов диссертационного исследования в учебный процесс

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный университет имени М.Т. Калашникова»

О.И. Варфоломеева

05 2022 г.

Акт о внедрении (использовании) результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук Вавиловой Дайаны Дамировны

Комиссия в составе: председатель – Русяк Иван Григорьевич, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, заведующий кафедрой «Прикладная математика и информационные технологии» (ПМиИТ); члены комиссии – Суфиянов Вадим Гарайханович, д.т.н., доцент, профессор кафедры ПМиИТ; Нефедов Денис Геннадьевич, к.т.н., доцент кафедры ПМиИТ составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы старшего преподавателя кафедры «Прикладная математика и информационные технологии» Вавиловой Д.Д., а именно

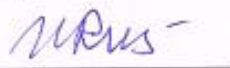
1. математическая модель оценки человеческого капитала, учитывающая количественную и качественную структуру населения, а также временно-возрастное распределение капиталовложений в образование, здоровье и культуру;
2. вычислительный нейросетевой алгоритм прогнозирования показателей социально-экономических процессов;
3. методика решения задач анализа и прогноза величины и динамики человеческого капитала, построенная с применением современных технологий математического моделирования, методов машинного обучения и вычислительного эксперимента;
4. структурированная база данных статистических показателей социально-экономических процессов Удмуртской Республики за период 2000-2020 годы;
5. результаты решения задачи анализа и прогноза динамики человеческого капитала на примере Удмуртской Республики, а также результаты комплексного параметрического исследования ряда сопутствующих социально-экономических показатели региона

используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Ижевский государственный университет имени М.Т. Калашникова» при обучении бакалавров и магистрантов направления «Прикладная математика» при выполнении практических и лабораторных работ по дисциплинам: «Математическое моделирование»; «Эконометрика»; «Методы оптимизации и теория оптимального управления»; «Проектирование программного обеспечения»; а также при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ.

Использование указанных в диссертации результатов позволяет обучающимся освоить профессиональные компетенции:

- получить теоретические знания математического моделирования и прогнозирования сложных и взаимосвязанных социально-экономических процессов;
- овладеть практическими навыками применения методов машинного обучения и разработки современных программных средств для решения задач анализа и прогноза различных показателей.

Председатель комиссии
зав. каф. ПМиИТ, д.т.н.



И.Г. Русяк

Члены комиссии:
профессор каф. ПМиИТ, д.т.н.



В.Г. Суфиянов

доцент каф. ПМиИТ, к.т.н.



Д.Г. Нефедов

Приложение Б

Справка об использовании результатов диссертационного исследования в научном процессе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«ИЖЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.Т. КАЛАШНИКОВА»**

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной
и инновационной деятельности
к.т.н., доцент Копысов А.Н.
« 4 » _____ 2022 г.

СПРАВКА

об использовании результатов диссертационной работы
на соискание ученой степени кандидата наук
Вавиловой Дайаны Дамировны



Научно-технический совет ИжГТУ имени М.Т. Калашникова в протоколе № 4 от 04.05.2022 г. подтверждает, что результаты диссертационной работы Вавиловой Д.Д. “Методика, модели и алгоритмы программного обеспечения для анализа и прогноза динамики человеческого капитала” использованы при выполнении гранта ФГБОУ ВО “ИжГТУ имени М.Т. Калашникова” № 01.04.04/18ККВ от 29.12.2018 г. по теме исследования: “Анализ демографических процессов и исследование динамики человеческого капитала региона (на примере Удмуртской Республики)”. Научный руководитель гранта – Кетова К.В., профессор, д.ф.-м.н., профессор кафедры “Прикладная математика и информационные технологии”.

В состав заключительного отчета по теме гранта вошли следующие результаты, полученные лично Вавиловой Д.Д.:

- моделирование количественных и качественных составляющих человеческого капитала (глава 2);
- моделирование и прогнозирование человеческого капитала с использованием нейросетевого алгоритма (глава 3);
- анализ результатов численных исследований на примере Удмуртской Республики (глава 4).

Секретарь НТС,
д.т.н., профессор

А. П. Тюрин

Акт о внедрении результатов диссертационного исследования в рабочий процесс



АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ «ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ»

426004, Российская Федерация, Удмуртская Республика, Ижевск, ул. Ленина, 21
ОГРН 1201800010565, ИНН 1831198633, КПП 183101001

АКТ О ВНЕДРЕНИИ результатов диссертационной работы ВАВИЛОВОЙ ДАЙАНЫ ДАМИРОВНЫ

г. Ижевск

4 апреля 2022 г.

Настоящий акт подтверждает, что результаты диссертационной работы Д.Д. Вавиловой использованы в деятельности АНО «Цифровая экономика Удмуртской Республики» при реализации национальных проектов цифровой трансформации.

Сотрудниками АНО «Цифровая экономика Удмуртской Республики» тщательно изучены теоретические и практические разработки диссертационного исследования Д.Д. Вавиловой, в т. ч. математические модели оценки структуры населения региональной системы по качественным признакам, математическая модель расчета величины человеческого капитала и информационно-аналитическая система моделирования и прогнозирования показателей социально-экономических процессов в региональной системе.

Результаты моделирования и прогнозирования основных показателей социально-экономических процессов в Удмуртской Республике, представленные в диссертационной работе Вавиловой Д.Д., а именно: прогноз плотности населения, рождаемости, смертности, естественного прироста, миграции населения; функция взаимосвязи производственных ресурсов и конечного выпуска продукции; подход имитационного сценарного моделирования для расчета перспективной динамики человеческого капитала в зависимости от объема инвестиций; нейросетевой алгоритм прогнозирования использованы АНО «Цифровая экономика Удмуртской Республики» при реализации национальных проектов «Цифровая экономика».

Разработанная автором ИАС используется для анализа статистических данных и расчета основных демографических и социально-экономических показателей региона, а также для информационно-справочного обслуживания сотрудников АНО «Цифровая экономика Удмуртской Республики». Существенным преимуществом разработанного ПО является построение прогнозов социально-экономических процессов в регионе с учетом новой поступающей статистической информации и их высокая точность (средняя относительная ошибка прогнозирования показателей составляет 3-5 %).

Наша компания выражает признательность Дайане Дамировне за предоставленную возможность практического применения результатов ее диссертационного исследования и надеется на плодотворное сотрудничество в дальнейшем.

Генеральный директор
АНО «Цифровая экономика
Удмуртской Республики»



Русинов Александр Сергеевич

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2014618038

**Программа структурной оптимизации прогнозных
нейросетевых моделей**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» (RU)*

Авторы: *Насридинова Дайана Дамировна (RU), Касаткина Екатерина Васильевна (RU), Кетова Каролина Вячеславовна (RU)*

Заявка № **2014615568**
Дата поступления **10 июня 2014 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **08 августа 2014 г.**



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*


Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019667497

Программа нейросетевого моделирования и
прогнозирования инвестиционных процессов

Правообладатель: *Вавилова Дайана Дамировна (RU)*Автор: *Вавилова Дайана Дамировна (RU)*

Заявка № 2019666706

Дата поступления 16 декабря 2019 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 24 декабря 2019 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU

2022619947

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

Номер регистрации (свидетельства): <u>2022619947</u>	Авторы: Вавилова Дайана Дамировна (RU), Кетова Каролина Вячеславовна (RU)
Дата регистрации: 27.05.2022	Правообладатели: Вавилова Дайана Дамировна (RU) Кетова Каролина Вячеславовна (RU)
Номер и дата поступления заявки: 2022619240 19.05.2022	
Дата публикации: <u>27.05.2022</u>	

Название программы для ЭВМ:

Информационно-аналитическая система «Моделирование и прогнозирование показателей социально-экономических процессов региона»

Реферат:

Программа предназначена для совместного решения задач моделирования, прогнозирования и параметрических исследований показателей социально-экономических процессов. Информационно-аналитическая система содержит статистическую информацию по Удмуртской Республике и по регионам Приволжского федерального округа, а также математические модели и алгоритмы моделирования и прогнозирования показателей социально-экономических процессов на среднесрочную перспективу. Информационно-аналитическая система включает четыре модуля: 1 - модуль моделирования и прогнозирования демографических процессов; 2 - модуль моделирования и прогнозирования инвестиций в производственный и человеческий капиталы (факторы производства региональной экономики); 3 - модуль моделирования и прогнозирования факторов производства; 4 - модуль моделирования и прогнозирования валового регионального продукта на основе построенной производственной функции. Прогнозирование показателей выполняется нейросетевым алгоритмом с учетом динамики факторов внешней среды региональной социально-экономической системы. Результаты вычислений выводятся пользователю на экран. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК; ОС: Windows 10.

Язык программирования: C#

Объем программы для ЭВМ: 1027 КБ

Интерфейс и модули ИАС «Моделирование и прогнозирование показателей социально-экономических процессов региона»

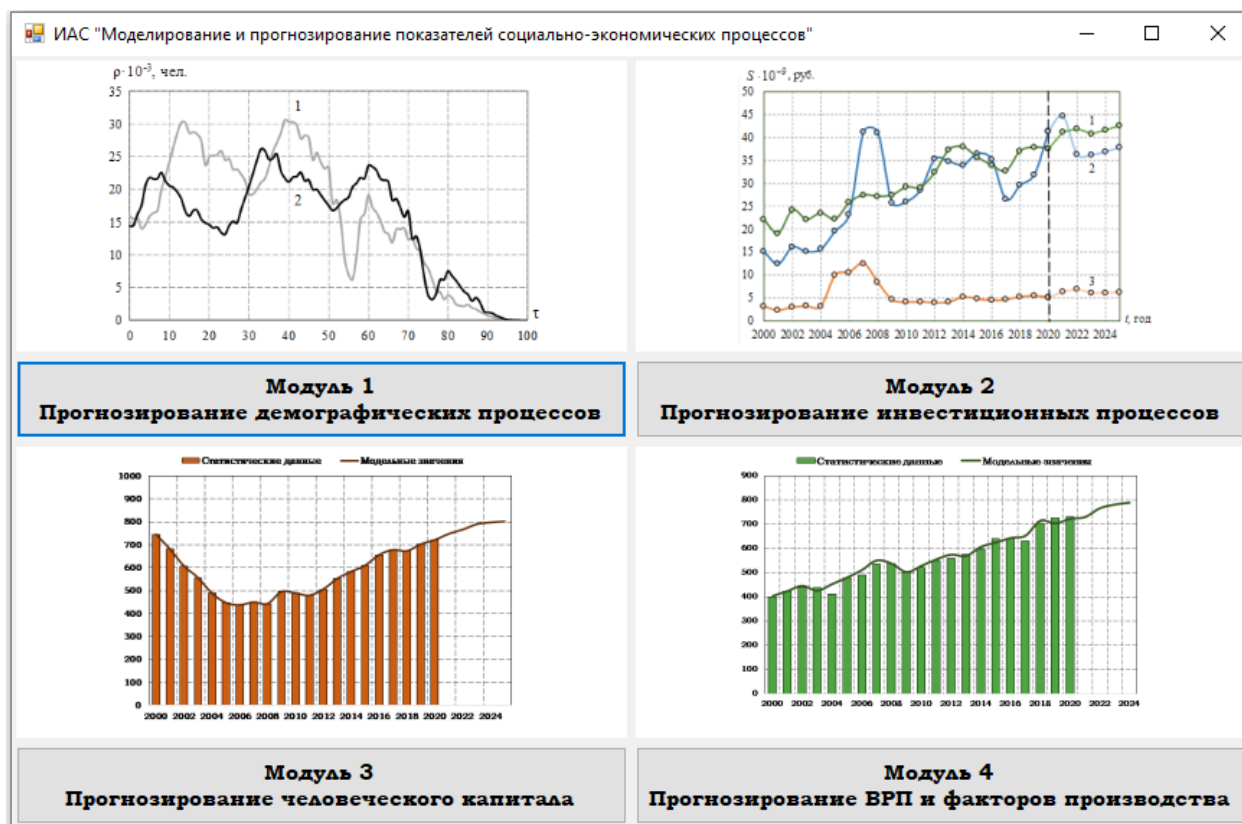


Рисунок Д.1 – Интерфейс информационно-аналитической системы

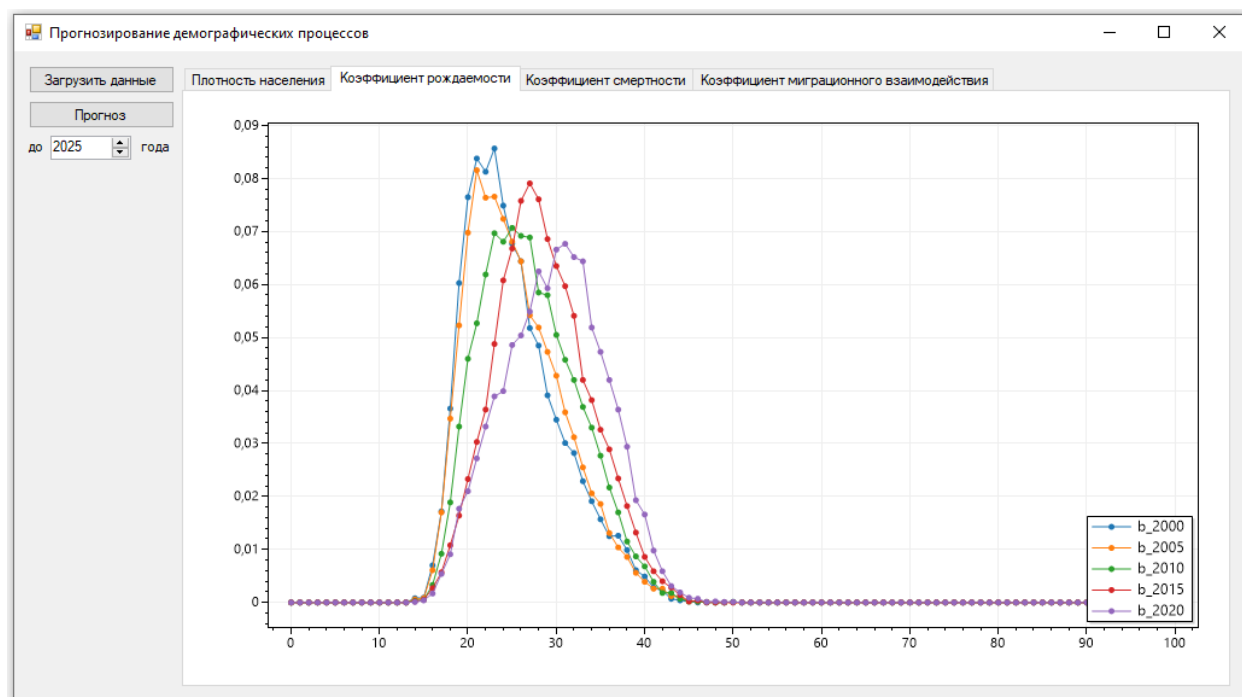


Рисунок Д.2 – Модуль 1 «Прогнозирование демографических процессов»

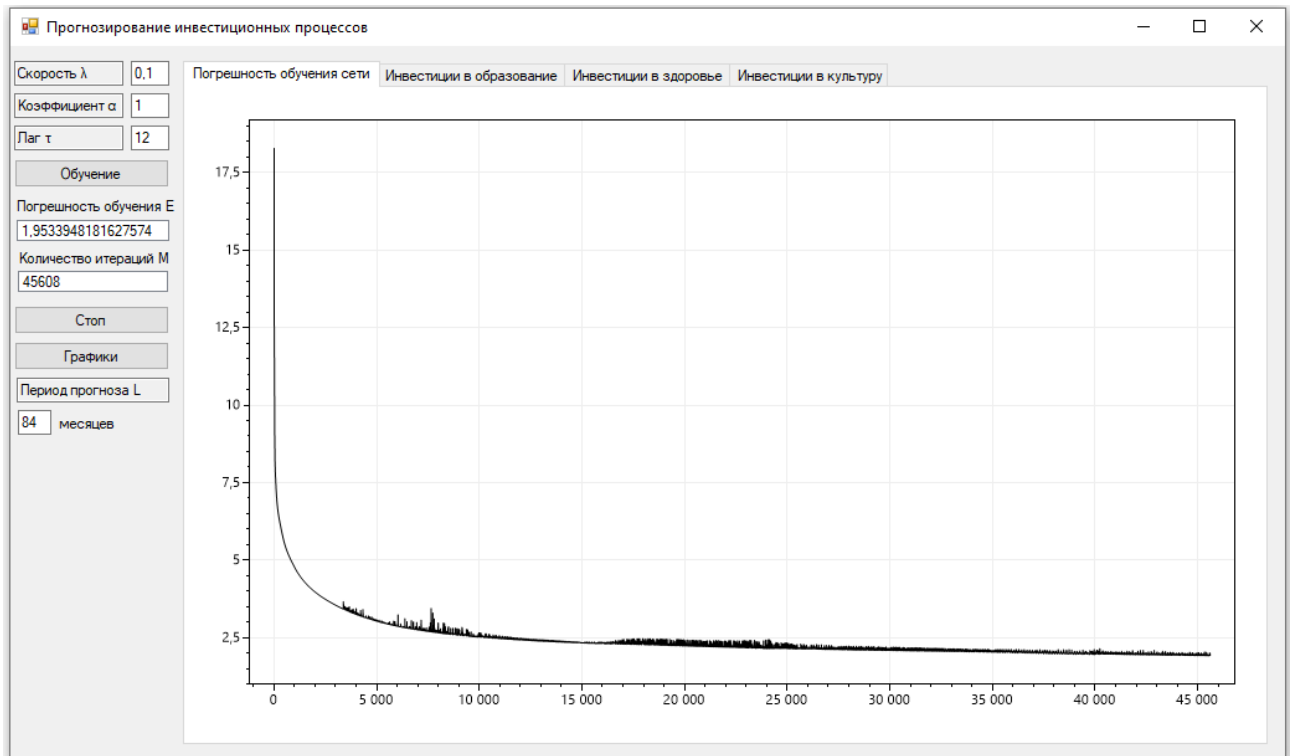


Рисунок Д.3 – Модуль 2 «Прогнозирование инвестиционных процессов»

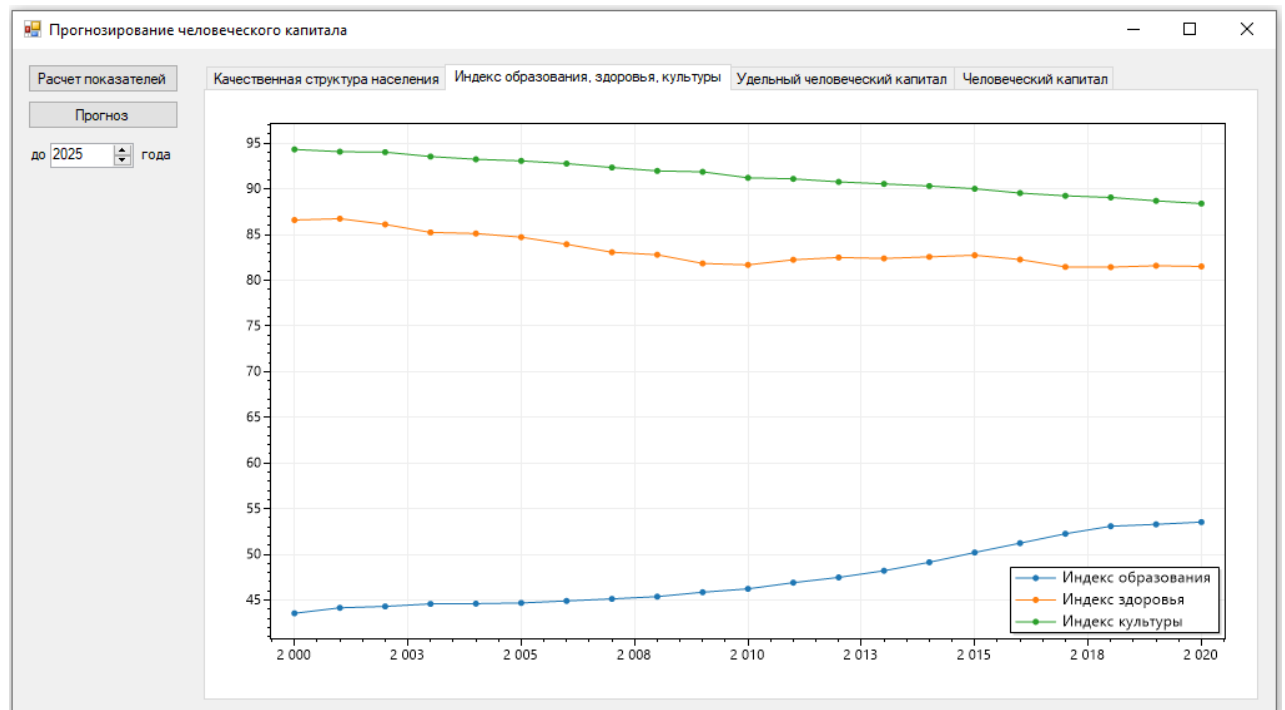


Рисунок Д.4 – Модуль 3 «Прогнозирование человеческого капитала»